

СПРАВОЧНИК ПО ЧУГУННОМУ ЛИТЬЮ

Издание 3-е,
переработанное и дополненное

Под редакцией
доктора технических наук профессора Н. Г. ГИРШОВИЧА

X 4 X
909422
БИБЛИОТЕКА
ЗАВНОМА
КамаЗа



ЛЕНИНГРАД
«МАШИНОСТРОЕНИЕ»
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
1978

ББК 34.61

С74

УДК 621.74 (0.31)

Справочник по чугунному литью./Под ред. д-ра техн. наук Н. Г. Гиршовича.—3-е изд., перераб. и доп.—Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1978.— 758 с., ил.

В пер.: 3 р. 40 к.

В справочнике приведены данные по основным вопросам современной технологии литья: составу чугуна для отливок различного назначения, разработке технологических процессов изготовления отливок и литейных форм, свойствам формовочных материалов и смесей, специальным способам литья, термической обработке отливок, дефектам в отливках и способам борьбы с ними.

Предыдущее издание (2-е изд. 1960 г.) получило положительную оценку в печати (см. журнал «Литейное производство» № 8 за 1962 г.). В новом издании шире рассмотрены характеристики всех типов чугуна, процессы изготовления форм и стержней, литье в керамические формы, индукционная плавка.

Справочник предназначен для инженерно-технических работников, технологов и мастеров литейного производства.

С 31204 — 073
038(01) — 78 73 — 78

ББК 34.61
6ПЗ.1 + 6П4.1

ПРЕДИСЛОВИЕ

Решениями XXV съезда КПСС в десятой пятилетке предусмотрено резкое повышение эффективности производства и качества работы во всех отраслях народного хозяйства. В литейном производстве решение этих задач связано с повышением точности размеров отливок и максимальным приближением к размерам детали, что позволяет повысить эффективность производства в механикообрабатывающих цехах, а также с получением оптимальных показателей по структуре, механическим свойствам, износостойкости, герметичности и другим служебным свойствам, способствующим повышению работоспособности и эксплуатационной надежности литых деталей и машин.

Особенно важно повышение качества чугунных отливок, так как их выпуск составляет 73% общего выпуска литья, и он непрерывно возрастает: в 1970 г. в нашей стране было выпущено 15,4 млн. т, в 1975 г. — 17,4 млн. т, а в 1980 г. запланированы еще более высокие показатели, что превышает уровень наиболее развитых промышленных стран (например, в 1975 г. в США произведено чугуна литья около 12 млн. т, в Японии — около 5 млн. т, в ФРГ — около 4 млн. т).

Задачи, поставленные десятым пятилетним планом, требуют постоянного поиска новых резервов повышения эффективности работы: увеличения производительности труда и снижения трудоемкости на всех переделах литейного производства; повышения качества отливок, т. е. увеличения их геометрической точности и снижения припусков путем улучшения качества литейной оснастки и формовочно-стержневых смесей и повышения качества металла за счет совершенствования методов плавки и обработки; увеличения выпуска отливок из чугунов высоких марок, в том числе высокопрочных чугунов с шаровидным графитом, легированных чугунов и т. п.

Решению поставленных задач должен способствовать предлагаемый Справочник. Отдельные его разделы посвящены свойствам металлов и их плавке и модифицированию, формовочным смесям и их составам, методам контроля и конструкциям применяемого оборудования, разработке различных методов изготовления и заливки форм, всесторонней характеристике видов литья и методам их обработки, а также образованию дефектов в чугунном литье и методам борьбы с ними.

В настоящем издании Справочника значительно обновлено содержание всех глав, освещены вопросы чугунолитейного производства, получившие развитие за 18 лет, прошедших со времени выхода предыдущего издания. Приведены данные по чугуну новых типов (синтетическому, с вермикулярным графитом, конструкционному алюминиевому и др.); изложены новые методы получения

высокопрочного чугуна с шаровидным графитом *; рассмотрена плавка чугуна в газовых вагранках, в индукционных печах, с применением дуплекс-процессов; освещены формообразование в оснастке (нагреваемой и без нагрева), по газифицированным моделям, вакуумная формовка, литье в облицованные кокилы и в магнитные формы. Впервые дана характеристика производства основных видов литья. Кроме того, в приложениях рассмотрены новые методы расчета продолжительности затвердевания отливок, статистической обработки производственных данных и применение ЭВМ в чугунолитейном производстве.

Все это потребовало привлечения к составлению Справочника большого числа ведущих советских специалистов. Авторы, участвовавшие в создании книги, указаны в оглавлении.

Выражаю глубокую благодарность М. И. Дунаевскому, оказавшему мне большую помощь в редактировании и подготовке Справочника к производству, а также А. В. Кузину за переработку и редактирование некоторых разделов Справочника.

Н. Г. Гиршович

* Высокопрочный чугун с шаровидным графитом в данной книге обозначается ВЧШГ в противоположность принятому ГОСТ 7233—70 обозначению ВЧ, так как высокая прочность чугуна может быть обеспечена не только при шаровидном графите, но и при других формах графита.

ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

A_n, a_n — ударная вязкость	W_n — объем усадочной пористости
a — коэффициент объемной усадки ($a = 3\alpha$)	α — коэффициент линейного расширения
b — ширина	β — коэффициент объемного расширения
B — магнитная индукция	γ — плотность
B_r — остаточная индукция (намагничивание)	δ — толщина, мм; удлинение, %
C_2 — углеродный эквивалент	ε — усадка линейная
c — удельная теплоемкость	$\varepsilon_{лит}$ — усадка литейная
E — модуль упругости	$\varepsilon_{св}$ — усадка свободная
f_{300}, f_{600} — прогиб при расстоянии между опорами 300, 600 мм	$\varepsilon_{д. п}$ — усадка доперлитная
G — модуль касательной упругости	$\varepsilon_{п. п}$ — усадка послеперлитная
H_c — коэрцитивная сила	$\varepsilon_{\gamma \rightarrow \alpha}$ — усадка при превращении $\gamma \rightarrow \alpha$
HB , твердость по Бринеллю,	ε_p — усадка полная
HRB, HRC , Роквеллу (шкалам В и С),	ε_w — усадка объемная
HSh, HV Шору, Виккерсу	$\varepsilon_{wз}$ — усадка объемная при затвердевании
$Q_{пл}$ — теплота плавления	$\varepsilon_{wж}$ — усадка объемная жидкого металла
$R_{пр} = W/S$ — приведенная толщина (для плоской стенки $h/2$, для цилиндра $r/2$, для шара $r/3$)	$\varepsilon_{рас}$ — предусадочное расширение
S — поверхность, площадь	η — вязкость динамическая
S_2 — эвтектичность	λ — теплопроводность
ΔT — переохлаждение	$\lambda_{ж}$ — жидкотекучесть
ΔT_{max} — максимальное переохлаждение	μ, μ_{max} — магнитная проницаемость, максимальная магнитная проницаемость
$t_{зал}$ — температура заливки	μ_p — коэффициент Пуассона = $(E/2G) - 1$
$t_{л}$ — температура ликвидуса	ν — вязкость кинематическая
$t_{ме}$ — температура металла	ξ — толщина затвердевшего слоя
$t_{пл}$ — температура плавления	ρ — удельное электрическое сопротивление.
t_c — температура солидуса	$\sigma_{в}, \sigma_{н}, \sigma_{с}$ — пределы прочности при растяжении, изгибе, сжатии
$\Delta t_{инт}$ — интервал кристаллизации	$\sigma_{л}$ — напряжение литейное
$\Delta t_{пер}$ — перегрев над ликвидусом	$\sigma_{т}$ — напряжение термическое
$\Delta t_{зал}$ — перегрев над ликвидусом при заливке	$\sigma_{у}$ — напряжение усадочное
$W_{\bullet}$ — объем	$\sigma_{ф}$ — напряжение фазовое
W_p — объем усадочных раковин (пустот)	
$W_{p.к}$ — объем усадочных раковин концентрированных	

$\sigma_{ост}$ — напряжение остаточное
 $\sigma_{0.2}$ — условный предел текучести
 $\sigma_{-1p}, \sigma_{-1}$ — пределы выносливости при растяжении и изгибе
 $\sigma_{пл}$ — скорость ползучести
 τ — время (продолжительность)
 $\tau_{зал}$ — время заливки
 $\tau_{кр}$ — время кристаллизации

τ_{-1} — предел выносливости при кручении
 τ_B — предел прочности при кручении
 $\tau_{B, ср}$ — предел прочности при срезе
 φ — циклическая вязкость
 ψ — относительная осадка при сжатии

Принятые сокращения

А — аустенит
 АЧ — аустенитный чугун
 Б — бейнит
 БЧ — белый чугун
 ВГ — вермикулярный графит
 ВЧШГ — высокопрочный чугун с шаровидным графитом
 ДП — дулекс-процесс
 ДЭП — дуговая электропечь
 ИП — индукционная печь
 ИЧТ — индукционная чугуноплавильная тигельная печь
 ИЧТМ — индукционная чугуноплавильная тигельная печь для миксерования
 ИЧКМ — индукционная чугуноплавильная канальная печь для миксерования
 КЧ — ковкий чугун
 Л — ледебурит
 М — мартенсит
 МГ — междендритный графит

П — перлит
 ПГ — пластинчатый графит
 ПЧ — перлитный чугун
 ПКЧ — перлитный ковкий чугун
 ПФЕКЧ — перлитно-ферритный ковкий чугун
 РЗМ — редкоземельные металлы
 СК — силикокальций
 СЧ — серый чугун
 ТО — термическая обработка
 Фе — феррит
 ФеКЧ — ферритный ковкий чугун
 ФМи — ферромарганец
 ФС — ферросилиций
 ФЭ — фосфидная эвтектика
 ХГ — хлопьевидный графит
 Ц — цементит
 ЧВГ, — чугуны с вермикулярным, пластинчатым и шаровидным графитом
 ЧПГ, — шаровидный графит
 ШГ — шаровидный графит
 Э — эвтектика

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ЧУГУНА, ЕГО СТРУКТУРА, СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ

1. ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ Fe—C-СПЛАВОВ

Компоненты чугуна (приложение 1) и, соответственно, диаграммы состояния весьма разнообразны. Наибольший интерес представляют двойная и основные тройные диаграммы состояния.

Двойная диаграмма

Основными составляющими чугуна являются железо и углерод. Железо — элемент VIII группы системы Менделеева, принадлежащий к группе переходных металлов с недостроенной 3d-оболочкой с распределением электронов по энергетическим уровням: $1S^2 2S^2 2P^6 3S^2 3P^4 3d^6 4S^2$ *. Энергетические уровни 3d и 4S очень близки, и между ними может легко осуществляться переход электронов, чем и обусловлены переменная валентность и полиморфизм железа. Углерод — элемент IV группы системы Менделеева с распределением электронов $1S^2 2S^2 2P^2$ в нормальном состоянии и $1S^2 2S^2 2P^3$ — в возбужденном (при этом наблюдается SP^3 -гибридизация). Свойства железа и графита, который является наиболее характерной формой углерода в чугуне, приведены в табл. I.1.

Диаграмма равновесия Fe—C-сплавов (рис. I.1 и табл. I.2) представляется обычно в двух вариантах: метастабильном и стабильном, причем второй располагается выше и правее первого**. Так как к чугунам относятся только эвтектические сплавы, то им на рис. I.1, а соответствуют составы правее точек E и E'. Поэтому кристаллизация железа в чугуне приводит только к модификации Fe_γ, которая имеет гранецентрированную кубическую решетку (ГЦК) с параметром 3,63 Å. Ниже 910° С становится устойчивой модификация Fe_α с объемноцентрированной кубической решеткой (ОЦК), которая ниже 768° С (точки Кюри) становится ферромагнитной. Параметр решетки Fe_α при комнатной температуре равен 2,86 Å, а атомный диаметр 2,48 Å. При превращении γ → α плотность железа уменьшается примерно на 1%. Графит (обычно α-графит) имеет слоистую гексагональную решетку с прочной связью между атомами внутри базисных слоев (расстояние между этими атомами 1,42 Å) и со слабыми связями между слоями (расстояние между слоями 3,4 Å). Углерод (графит) растворяется как в ОЦК, так и в ГЦК-модификациях Fe, образуя твердые растворы внедрения. Аналогичные растворы образуют азот и водород. Элементы с более высоким порядковым номером (не считая кислорода, растворимость которого в твердом железе очень мала) образуют растворы замещения. Кроме того, C и Fe образуют несколько различных карбидов (Fe₃C, Fe₇C₃ и др.); основной из них — Fe₃C (цементит). Все они в обычных условиях метастабильны; наиболее устойчивые из них Fe₃C и Fe₇C₃.

* Цифрами перед буквами обозначается главное квантовое число, т. е. номер оболочки, которую занимает электрон; буквы показывают значения орбитального квантового числа; индексами у букв указывается число электронов на данном энергетическом уровне.

** Линия P'K' и PK на рис. I.1, а не дифференцированы, но вторая расположена правее первой.

Таблица 1.1

Основные свойства железа и графита

Материал	γ_{20} , г/см ³	α_{20} , 1/°C	ρ_{20} , мкОм·см	λ_{25} , кал/см·с·°C (4,2 Дж/см·с·°C)	c_{25} , кал/г·°C (4,2 Дж/г·°C)
Железо	7,874	$11,7 \cdot 10^{-6}$	9,71	0,177	0,153
Графит	2,230	$3,5 \cdot 10^{-6}$	4200 *	0,0766	170

Материал	$\sigma_{в'}$, кгс/мм ² (10^7 Па)	$\sigma_{0,2'}$, кгс/мм ² (10^7 Па)	E , кгс/мм ² (10^7 Па)	δ , %	ψ , %	НВ
Железо	17—21	4,2—5,6	$(19 \div 21) 10^3$	>40	>90	49
Графит	0,3—0,7	—	—	Нет	Нет	1 **

* Соответствует направлению, перпендикулярному базисным слоям; в направлении, параллельном базису, составляет около 30 мкОм·см.
 ** По минералогической шкале.

Таблица 1.2

Положение критических точек на двойной диаграмме Fe—C-сплавов

Точки (рис. 1.1)	Темпера- тура, °C	Концентрация углерода, %		Точки (рис. 1.1)	Темпера- тура, °C	Концентрация углерода, %	
		Массовая доля	Атомная доля			Массовая доля	Атомная доля

Стабильная и метастабильная системы							
A	1539	0,0	0,0	H	1499	0,11	0,46
B	1499	0,53	2,42	N	1400	0,00	0,00
I	1499	0,16	0,74	G	910	0,00	0,00

Метастабильная система							
C	1147	4,30	17,29	P	727	0,033	0,15
D	~1260	6,67	25,00	S	727	0,80	3,62
E	1147	2,14	9,26	K	727	~6,67	~25,0
F	1147	~6,20	~23,5				

Стабильная система							
C'	1153	4,23	17,08	P'	738	0,030	0,14
D'	~4000	~100	~100	S'	738	0,69	3,14
E'	1153	2,11	9,13	K'	738	~100	~100
F'	1153	~100	~100				

а с повышением давления они могут превратиться даже в полностью стабильные фазы. Цементит имеет орторомбическую кристаллическую решетку, в которой каждый ион С окружен шестью ионами Fe, находящимися на одинаковом расстоянии от иона С. Использование сверхвысоких скоростей нагрева, препятствующих

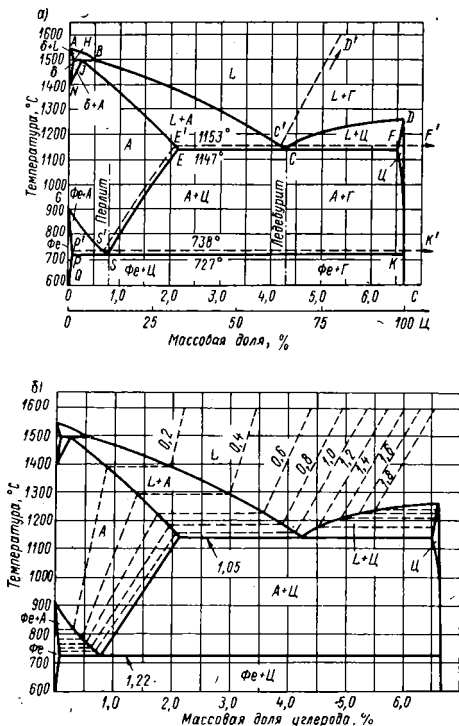


Рис. 1.1. Структурные равновесные диаграммы Fe—C-сплавов: а — метастабильного (сплошные линии) и стабильного (пунктирные линии) равновесия; б — с линиями изоактивности углерода

распаду цементита, позволило приближенно определить его температуру плавления ($t_{пл} = 1250 \div 1260^\circ \text{C}$), что близко к данным термодинамических расчетов ($t_{пл} = 1207 \div 1270^\circ \text{C}$). В процессе распада цементита происходит образование твердого раствора углерода в железе (аустенита или феррита) и графита, который может выделяться также непосредственно из пересыщенных жидких или твердых растворов С в Fe. Растворимость С в Fe (в %) хорошо описывается нижеприведенными уравнениями.

Стабильная система

Для расплава $C'_ж = 1,35 + 2,50 \cdot 10^{-3}t$;
 для аустенита $C'_A = -0,435 + 0,355 \cdot 10^{-3}t + 1,610 \cdot 10^{-8}t^2$;
 для феррита $C'_{Fe} = 2,46 \cdot 10^3 \exp [-11\,460/(273 + t)]$.

Метастабильная система

Для расплава $C_ж = 4,34 + 0,1874(t - 1150) - 200 \ln(t/1150)$;
 для аустенита $C_A = -0,628 + 1,222 \cdot 10^{-3}t + 1,045 \cdot 10^{-8}t^2$;
 для феррита $C_{Fe} = 1,80 \cdot 10^3 \exp [-10\,908/(273 + t)]$.

В ряде случаев имеет значение величина активности C (a_C) в растворах (рис. 1.1, б). За стандартное состояние C здесь принят графит, т. е. $a_C^G = 1$, вследствие чего активность C во всех насыщенных по отношению к графиту растворах также равна единице.

Тройные диаграммы

Диаграмма Fe—C—Si является наиболее важной для характеристики чугуна. Разрез диаграммы метастабильного равновесия при содержании 1,5% Si, построенный по данным [7], приведен на рис. 1.2, а; а диаграммы стабильного равновесия при содержании 1,5; 3 и 6% Si — на рис. 1.2, б, в, г*. В метастабильной системе существуют три плоскости четырехфазных равновесий: эвтектондно-перитектоидное $Fe + A + \Gamma + CK_d$ (CK_d — силикокарбид, содержащий от 7 до 14% Si) при 780 °C; эвтектическое $A + \Gamma + L + CK_d$ при 1030 °C; равновесное $Fe + A + CK_d + L$, температуру которого еще не установили. В высокоуглеродистых чугунах (3,5—3,7% C) уже при содержании около 2% Si происходит эвтектондно-перитектоидное превращение по двум реакциям: эвтектондной $A + CK_d \rightarrow Fe + \Gamma + CK_d$ и перитектоидной $A + \Gamma + CK_d \rightarrow Fe + \Gamma$. При содержании менее 2% Si превращение A происходит по обычной эвтектондной реакции, температура которой тем выше, чем больше кремния в металле. В малоуглеродистых чугунах при 2,3—2,5% Si превращение A происходит по обычной схеме, а при содержании более 2,5% Si оно приобретает эвтектондно-перитектоидный характер. В высокотемпературной области диаграммы при небольших концентрациях кремния фазовое равновесие соответствует обычной схеме, но при высоком содержании углерода уже может происходить эвтектическая реакция $L \rightarrow A + \Gamma + CK_d$.

В стабильной системе область $Fe + A + \Gamma$ под влиянием Si интенсивно расширяется и температура ее повышается. Область эвтектического равновесия $A + L + \Gamma$ при содержании до 6% Si** остается очень узкой (ее ширина вблизи точки эвтектики составляет всего несколько градусов), причем температура ее существенно увеличивается (примерно до 1160 °C при 5% Si). При более высокой температуре (около 1165 °C) в системе наступает четырехфазное равновесие $Fe + A + L + \Gamma$. В стабильной системе кремний целиком растворяется в аустените и феррите; в метастабильной, при повышенном содержании Si (более 2%), он частично растворяется и в карбидах, образуя силикокарбид (CK_d) [7].

Диаграмма Fe—C—Al исследована практически только в условиях метастабильного равновесия. Алюминий хорошо растворяется в феррите, несколько хуже в аустените и очень плохо в цементите, но вместе с железом образует комплексный карбид Fe_3AlC_x (γ' -фазу) с содержанием около 14% Al и 4—5,7% C. Это соединение представляет собой фазу внедрения с решеткой ГЦК ($a = 3,740 \div 3,780$ кХ)*** и является хрупким и твердым.

* Для метастабильной системы приведен разрез диаграммы только при содержании 1,5% Si, так как разрезы при содержании 3 и 6% Si не представляют практического интереса.

** При более высоком содержании Si, особенно при 15—18% (так называемые ферросилиды), диаграммы состояния мало изучены.

*** кХ = 1,002 02 Å. Эта единица введена в 1947 г. после того, как была выявлена погрешность предыдущих измерений.

Алюминий в определенных концентрациях (около 4 и 24%) служит очень сильным ферритизатором и, подобно Si, понижает температуру эвтектического превращения в метастабильной системе и повышает ее в стабильной системе.

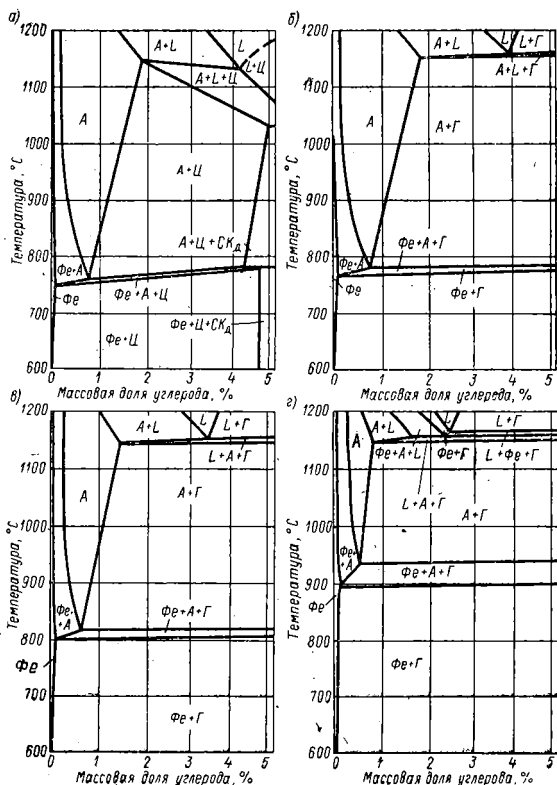


Рис. 1.2. Разрезы диаграммы равновесия Fe—C—Si: а — метастабильная диаграмма при 1,5% Si; б — стабильная при 1,5% Si; в — стабильная при 3% Si; г — стабильная при 6% Si

В области 10—20% и выше 26% он является антиграфитизатором, причем в последнем случае образует собственный карбид Al_4C_3 .

* Подробно об этом см. ниже (рис. 1.55).

Диаграмма Fe—C—Mn в условиях метастабильного равновесия *, уточненная с помощью термодинамического анализа, представлена на рис. 1.3 [46]. Марганец понижает температуру эвтектондного превращения А, увеличивает его интервал и уменьшает содержание углерода в эвтектоиде и в эвтектике (1%

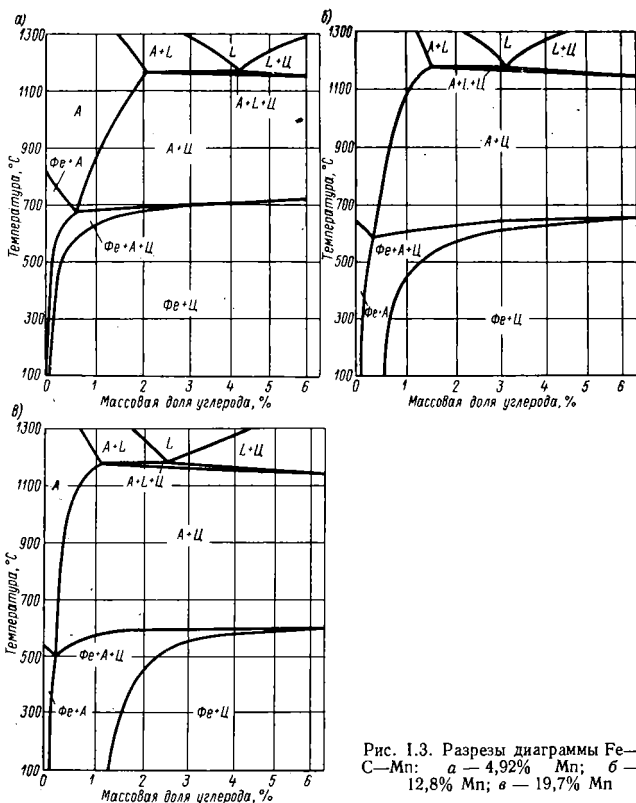


Рис. 1.3. Разрезы диаграммы Fe—C—Mn: а — 4,92% Mn; б — 12,8% Mn; в — 19,7% Mn

Mn — примерно на 0,06—0,07% C), но повышает температуру эвтектического превращения (1% Mn — примерно на 3° C). Это приводит к изменению в соотно-

* В литературе отсутствуют данные по стабильным системам Fe—C—Mn, Fe—C—Cr и другим системам с карбидообразующими элементами, так как при небольшом содержании этих элементов диаграммы таких систем почти не отличаются от двойной стабильной системы Fe—C, а при большом содержании образуются только метастабильные системы.

шении фаз и морфологии эвтектики. Количество цементита в эвтектике высокомарганцовых чугунов оказывается недостаточным для образования сплошной матрицы, и эвтектика получает возможность расти в виде конгломерата фаз. При этом цементит кристаллизуется в виде пластин большой протяженности или в виде крупных взаимосвязанных включений, что ведет к повышению хрупкости отливок.

Растворяясь в Fe—C-сплавах, Mn распределяется между аустенитом, ферритом и цементитом (преимущественно в последнем) и образует карбид (Fe, Mn)₃C; но в высокомарганцовых сплавах (более 20% Mn), по-видимому, могут образоваться и комплексные карбиды (Mn, Fe)₃C₃ и (Mn, Fe)₂₃C₆. Распределение марганца между фазами в чугуне при низком его содержании приведено ниже (%):

В чугуне	В цементите эвтектики	В цементите перлита	В феррите	В аустените при 750 °С	В аустените при 1070 °С
0,26 0,75	0,36 0,94	0,52 1,40	0,17 0,49	0,22 0,62	0,25 0,72

Диаграмма Fe—C—Cr в метастабильном варианте представлена на рис. 1.4. Cr расширяет и повышает интервал температур эвтектического равновесия и уменьшает содержание углерода в эвтектике. В системе обнаружено несколько карбидных фаз: легированный цементит (Fe, Cr)₃C, кубический карбид K₁ состава (Cr, Fe)₂₃C₆, тригональный карбид K₂ состава (Cr, Fe)₃C₃. Система имеет три области эвтектически-перитектического равновесия: Fe + A + K₁ + L при 1275°С, A + K₁ + K₂ + L при 1225°С и A + Ц + K₂ + L при 1175°С и две области эвтектоидно-перитектоидного равновесия: Fe + A + K₁ + K₂ при 795°С и Fe + A + Ц + K₂ при 760°С.

Диаграмма Fe—C—Ni недостаточно исследована из-за трудности достижения равновесия вследствие медленности диффузионных процессов*. Термодинамический анализ по методике [46] показал, что никель повышает температуру эвтектического равновесия в стабильной системе (1% Ni — примерно на 4°С) и снижает в метастабильной системе (1% Ni — примерно на 6°С). Никель понижает температуру эвтектоидного равновесия, уменьшает активность углерода и стабилизирует перлит. В области A + Ц никель оказывает обратное влияние: повышает активность углерода, снижает устойчивость цементита и способствует графитизации чугуна.

Диаграмма Fe—C—Cu тоже сравнительно мало изучена. В жидких сплавах образуется область несмешиваемости. В сплавах с низким содержанием углерода и меди возможна перитектическая реакция Fe (δ) + L → A, при высокой же концентрации меди возможна ее ликвидация с выделением ε-фазы, содержащей около 100% меди. При концентрации меди меньше предела несмешиваемости в жидком состоянии в системе протекает эвтектическая реакция L → A + Ц. В твердом состоянии возможна эвтектоидная реакция A → Fe + Ц + ε. Медь повышает температуру эвтектического равновесия в стабильной системе (3% Cu — примерно на 14°С) и снижает ее в метастабильной (6,4% Cu — примерно на 15°С) [43].

Диаграмма Fe—C—Mo также разработана только в метастабильном варианте. В системе имеется несколько карбидных фаз: легированный цементит, в котором растворяется до 2% Mo, три двойных карбида (Mo, Fe)₂₃C₆, (Mo, Fe)₆C и (Mo, Fe)₆C₆ (формула последнего точно не установлена) и карбиды MoC и Mo₂C. Молибден уменьшает растворимость углерода в α-фазе.

Диаграмма Fe—C—W характеризуется наличием следующих карбидных фаз: цементита (в котором растворяется до 1% W), двойных карбидов (W, Fe)₂₃C₆ и (W, Fe)₆C и карбидов вольфрама WC и W₂C.

* Имеются достоверные диаграммы только метастабильного характера, но они не имеют, по существу, практического значения и поэтому не приведены.

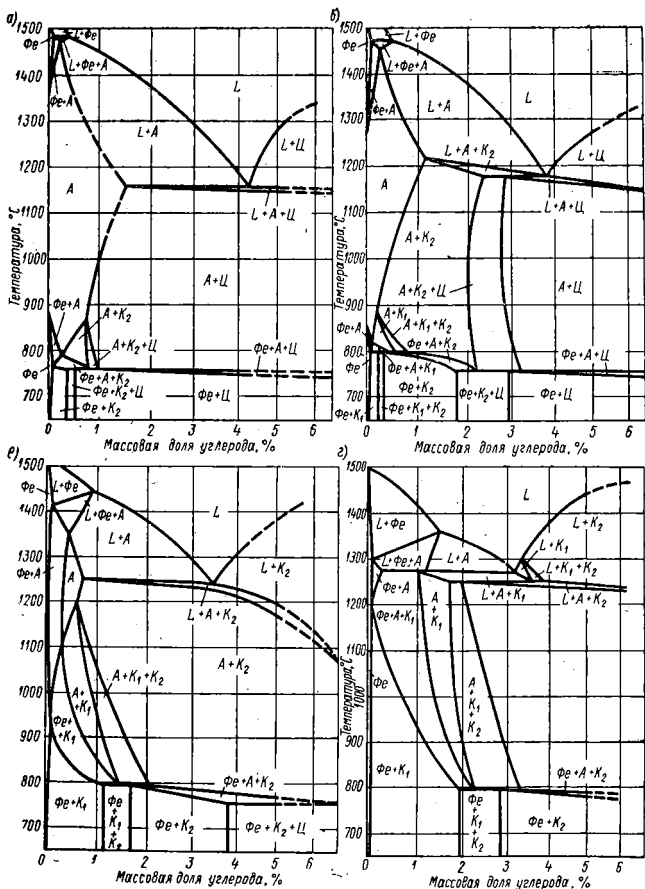


Рис. 1.4. Разрезы диаграммы Fe—C—Cr: а — 2% Cr; б — 8% Cr; в — 17% Cr; г — 24% Cr

Диаграмма Fe—C—Ti характеризуется образованием собственного карбида TiC; двойные же карбиды Ti и Fe не обнаружены. Диаграммы состояния Fe—C—Ti и Fe—C—Si—Ti стабильной (графитной) системы практически не изучены, но можно пользоваться следующим приближенным методом расчета: вычитать из $C_{\text{общ}}$ то количество углерода, которое связано в TiC (0,25% C на 1%

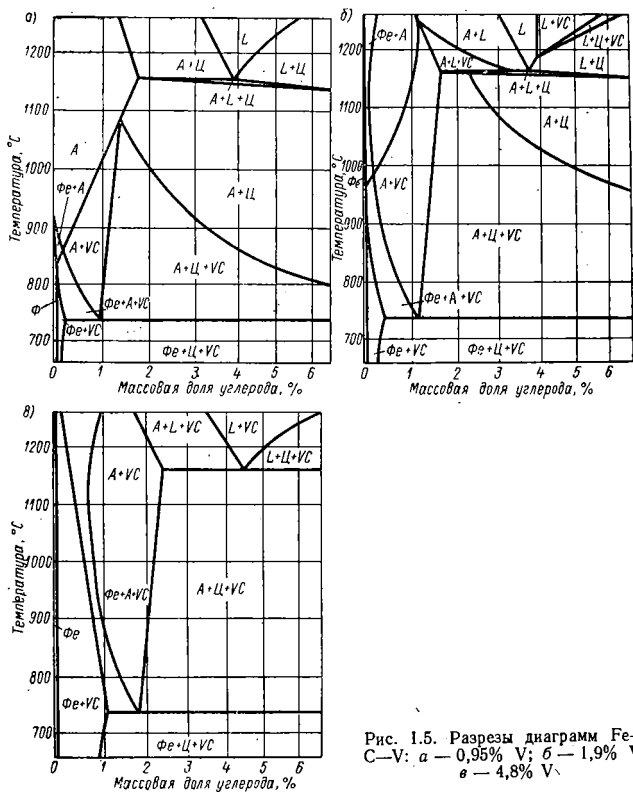


Рис. 1.5. Разрезы диаграмм Fe—C—V: а — 0,95% V; б — 1,9% V; в — 4,8% V.

Ti), и затем пользоваться диаграммами Fe—графит или Fe—Si—графит. В стабильной системе Ti почти не влияет на положение критических точек. Влияние малых количеств Ti на графитизацию положительное, так как карбид TiC служит подкладкой для зародышей графита.

Диаграмма Fe—C—V, уточненная с помощью термодинамического анализа [47], приведена на рис. 1.5. Ванадий повышает температуры эвтектического (ледебуритного) и эвтектонидного (перлитного) равновесий. До 2% V может

растворяется в аустените и до 5% — в цементите. При комнатной температуре уже при 0,2—0,4% V в структуре малоуглеродистых чугунов обнаруживается карбид VC. В системе имеются две области четырехфазных равновесий: эвтектидно-перитектоидного $Fe + A + C + VC$ примерно при 735° С и эвтектически-перитектического $A + L + C + VC$ примерно при 1160° С. Последнее возможно, если в системе содержится более 1,5% V. При наличии в малоуглеродистом чугуне около 5% V в его структуре при кристаллизации образуется двойная эвктика $A + VC$, расположение фаз которой обеспечивает соответствие принципу Шарпи, а также высокие механические свойства и износостойкость сплава.

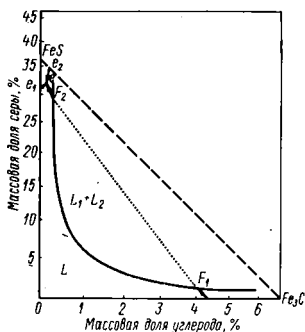


Рис. 1.6. Часть поверхности ликвидус диаграммы Fe—C—S с обозначением области расслоения расплава на две жидкости и линий эвтектик (CF_1F_2 , e_1e и e_2e)

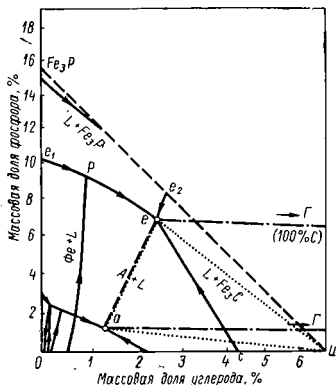


Рис. 1.7. Поверхность ликвидус диаграммы Fe—C—P с обозначением линий эвтектик (Se , e_1e и e_2e)

Диаграмма Fe—C—S характерна наличием области несмешиваемости в жидком состоянии. В твердом состоянии сера образует сульфид FeS и в небольшом количестве может растворяться в цементите. В аустените и феррите сера растворяется еще меньше. Поэтому политемические разрезы диаграммы Fe—C—S при содержании серы порядка 0,1% практически не отличаются от диаграмм Fe—C. Сера сильно ликвует и в белых чугунах образует тройную эвтектику $Fe-Fe_3C-FeS$, сильно обогащенную серой (около 32% S) и очень обедненную углеродом.

На рис. 1.6 показана часть линий ликвидус тройной диаграммы Fe—C—S в метастабильном варианте* и, в частности, гиперболическая граница области расслоения расплава на две жидкости L_1 и L_2 (одна из них обогащена углеродом, другая — серой), а также представлен ход изменения состава эвтектики в процессе эвтектической микроликвации (CF_1F_2e). Участок диаграммы, отмеченный пунктирной линией, соответствует сосуществованию в эвтектике двух жидкостей. Точка e_1 (двойная эвтектика Fe—FeS в малоуглеродистых сернистых сталях) располагается по температуре немного выше, чем точка тройной эвтектики (985 и 975° С соответственно).

В чугунах, содержащих Mn, вместо легкоплавких эвтектик с FeS образуются значительно более тугоплавкие сульфиды типа (Mn, Fe) S.

Диаграмма Fe—C—P, представленная на рис. 1.7, показывает положение линий и поверхностей ликвидус. В ограниченном количестве фосфор растворяется

* Поскольку сера сильно отбеливает чугун, стабильный вариант диаграммы практически не изучен.

в аустените и феррите, уменьшая в них содержание углерода, и вступает в химическое взаимодействие с железом, образуя фосфид Fe_3P . Линии двойных эвтектик Ce (ледебурита L), e_{1e} ($\text{Fe} + \text{Fe}_3\text{P}$) и e_{2e} (карбид $+ \text{Fe}_3\text{P}$) сходятся в точке e тройной фосфидной эвтектики ($t \approx 950^\circ \text{C}$).

Кристаллизация чугуна, содержащего фосфор, может завершиться лишь в точке тройной эвтектики. «Двойная» фосфидная эвтектика (ФЭ) по ГОСТ 3443—77 на самом деле представляет собой тройную ФЭ ($\text{A} + \text{Fe}_3\text{P} + \text{Г}$), закристаллизовавшуюся таким образом, что графит выделяется на близлежащих ранее образовавшихся его включениях. Линии и поверхности диаграммы стабильной системы проходят очень близко от линий и поверхностей диаграммы метастабильной системы. Поэтому сторона ae у конодных треугольников $aeЦ$ ($\text{A} + \text{L} + \text{Ц}$) и $aeГ$ ($\text{A} + \text{L} + \text{Г}$) представлена на рис. 1.7 общей.

Общая характеристика влияния элементов

Элементы, растворяясь в жидкой и твердых фазах чугуна, изменяют положение критических точек, как это показано в табл. 1.3 [43]. В результате этого они расширяют или сужают область аустенита и являются аустенитообразующими или ферритообразующими. В некоторой мере с этим связано также и графитизирующее влияние элементов, хотя основное значение в этом отношении имеет сила связи между Fe и C . Чем сильнее эта связь, тем легче образуются карбиды как комплексные, например $(\text{Fe}, \text{Mn})_3\text{C}$, Fe_3AlC_x , $(\text{Fe}, \text{Mo})_6\text{C}$, так и собственные, например Cr_7C_3 , Cr_{23}C_6 , VC .

Классификация элементов по их влиянию на температуры стабильного ($t_{\text{ст}}$) и метастабильного ($t_{\text{мет}}$) превращений приведена на рис. 1.8 [24]. Некоторые элементы (рис. 1.8, а) являются сильными графитизаторами (например, Si , Ni , Cu); они повышают $t_{\text{ст}}$ и снижают $t_{\text{мет}}$. В связи с этим уже при небольшой концентрации легирующего элемента интервал между $t_{\text{ст}}$ и $t_{\text{мет}}$ резко увеличивается;

909422

Таблица 1.3

Влияние 1% основных элементов на температуры критических точек диаграмм состояния $\text{Fe}-\text{C}$ -сплавов (+ повышение, — снижение)

Элементы	Изменение температур критических точек, $^\circ\text{C}$					
	E	E'	C	C'	S	S'
Si	—(10÷15)	+2,5	—(15÷20)	+4	+8	+(20÷30)
Al	—14	+8	—15	+8	+10	+10
Mn	+3,2	—2	+3	—2	—9,5	—35
Cr	+7,3	—	+7	—	+15	+8
Ni	—4,8	+4	—6	+4	—20	—30
Cu	—2	+5,2	—2,3	+5	—	—10
V	+(6÷8)	—	+(6÷8)	—	+15	+
W	—	—	—	—	+	+
Mo	—	—	—	—	+	+
P	—180	—180	—37	—30	+	+6
S	—	—	—	—	—	—

Примечания:

1. Ввиду того что в ряде случаев влияние элементов на температуры критических точек диаграмм состояния $\text{Fe}-\text{C}$ -сплавов зависит от их концентрации и содержания C , это влияние иногда дается в виде предела.

2. Для W , Mo , S указано только качественное влияние элементов.

при этом склонность сплава к графитизации возрастает. Другие элементы (рис. 1.8, б) являются слабыми графитизаторами (например, Р). Возможно, что к этому типу относятся и ряд его аналогов из элементов V и VI групп таблицы Менделеева (например, As). Сильные антиграфитизаторы (Cr, V, Mn) понижают $t_{ст}$ и повышают $t_{мет}$ (рис. 1.8, в). Поэтому точка R пересечения линий $t_{ст}$ и $t_{мет}$ лежит не только в области реальных сплавов (в отличие от первых двух случаев), но и близко к оси ординат. В связи с этим уже при сравнительно небольшом легировании такими элементами происходит стабилизация белого чугуна. К типу, представленному на рис. 1.8, г, относятся слабые стабилизаторы отбеленной структуры (Mo и W). Эти элементы понижают как $t_{ст}$, так и $t_{мет}$. Следует,

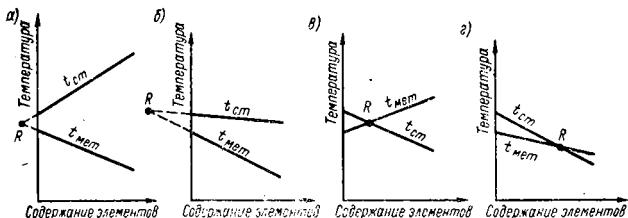


Рис. 1.8. Классификация легирующих элементов по их влиянию на температуры эвтектических равновесий ($t_{ст}$ и $t_{мет}$)

однако, отметить, что представленная на рис. 1.8 классификация является приближенной. Зависимость $t_{ст}$ и $t_{мет}$ от концентрации легирующего элемента может принимать очень сложный характер. Например, в системе Fe—C—Al эта зависимость характеризуется двойным или даже тройным пересечением кривых $t_{ст}$ и $t_{мет}$, и она не является исключением. Близкие эффекты наблюдаются и в системе Fe—C—Si при повышенных (вследствие образования СКД) и высоких (вследствие образования SiC) концентрациях Si.

2. СТРОЕНИЕ И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЧУГУНА В ЖИДКОМ СОСТОЯНИИ

Переход чугуна в жидкое состояние представляет собой один из видов фазовых переходов I-го рода, характеризующихся в общем виде разрывным изменением объема и энтропии, причем изменение термодинамических параметров и, в частности, удельного объема связано с формой состояния С и поэтому различно для белого (БЧ) и серого (СЧ) чугунов (рис. 1.9).

Исследований строения жидкого чугуна сравнительно мало [11, 66]; но по имеющимся данным все же можно считать, что чугун в жидком состоянии должен быть отнесен к особому сложному виду дисперсных систем, в которых одновременно, в неравновесном состоянии, сосуществуют макроскопические, микроскопические ($10^{-3} \div 10^{-6}$ см) и ультрамикроскопические ($10^{-8} \div 10^{-9}$ и даже 10^{-13} см) частицы, в том числе газовые и неметаллические включения. Таким образом, расплавленный чугун представляет собой одновременно грубо-, коллоидно- и молекулярно- или ионодисперсную систему, в которой неравновесно сосуществуют частицы различной химической природы. При этом от других металлических расплавов чугун отличается значительно большей гетерогенностью и большим (на несколько порядков) количеством частиц дисперсной фазы разного размера, что приводит к развитию большой удельной поверхности раздела фаз. Так, если принять в среднем размер частиц в ультрамикрогетерогенных системах 10^{-6} см (100 Å), то этому соответствует (для шаровых частиц) удельная поверхность, равная примерно 10^7 см²/см³. Наряду с корпускулярными-частицами

(малыми по всем измерениям), в расплаве содержатся фибриллярные (волокнистые, малые по двум измерениям) и ламинарные (пленочные, малые по одному измерению) частицы. При этом имеют место различные виды молекулярного взаимодействия между частицами: например, интенсивное взаимодействие частиц с дисперсионной средой и, значит, образование развитых сольватных слоев с повышенной устойчивостью против коагуляции, с одной стороны, и наличие частиц, не взаимодействующих с дисперсионной средой, но вступающих во взаимодействие друг с другом вследствие наличия разных электрических зарядов, с другой стороны. Таким образом, в зависимости от состава чугуна, условий его выплавки, степени гетерогенности и многих других факторов он может быть в той или иной степени седиментационно и агрегативно-устойчивым или неустойчивым.

Согласно несколько иной интерпретации, чугун в расплавленном состоянии характеризуется развитой субмикрогетерогенностью (усиленной замутненностью поверхностно-активными примесями) и представляет собой квазиколлоиды со стабильной мицелярной структурой. От классических коллоидных систем такая система отличается отсутствием термодинамического стимула к коагуляции. Вместе с тем, в жидком чугуне отсутствуют графитные блоки, отделяющиеся от расплава межфазной поверхностью и отличающиеся наличием поверхностной энергии, прерывистостью состава и свойств. Поэтому такой сложный расплав не может быть во всех случаях, независимо от состава, температуры и термовременной обработки, описан только по одной какой-то вполне определенной схеме. Однако несомненно, что это состояние чугуна в значительной мере определяет склонность к кристаллизации по той или иной схеме (стабильной или метастабильной) и количество зародышей при кристаллизации [16, 32].

Вязкость — одно из важнейших структурно-чувствительных свойств расплавленного чугуна, зависящее от его состава, природы, характера обработки в жидком состоянии (перегрева, модифицирования, вакуумирования, наличия группировок и включений, физических методов воздействия и т. д.). *Динамическая вязкость* η измеряется в пуазах (П), т. е. в г/(см·с), что равно 0,1 Па·с; *кинематическая вязкость* $\nu = \eta : \rho$ — в стоксах (Ст), т. е. в см²/с. Наиболее надежным методом определения вязкости является метод крутильных колебаний. С повышением температуры вследствие уменьшения размеров группировок и доли разупорядоченных зон понижается общая гетерогенность расплава и уменьшается динамическая вязкость η . При изменении η , как и других структурно-чувствительных свойств расплавов, в процессе нагрева и охлаждения часто наблюдается явление гистерезиса или ветвления кривых, характеризующих производимые измерения: кривая температурной зависимости η чугуна при охлаждении расплава располагается ниже, чем при нагреве, т. е. отмечается гистерезис вязкости (положительный или отрицательный), когда вязкость при охлаждении больше или меньше, чем при нагреве. В большинстве случаев при небольшом перегреве над ликвидусом ($\Delta t_{\text{пер}}$) отмечается отрицательный гистерезис; это может быть связано с разрушением и переходом в раствор взвешенных частиц, с изменением характера межчастичного взаимодействия в расплаве, процессом сольватации и др.

Как показали результаты исследований, представленные на рис. 1.10 [42], большое влияние на вязкость чугуна оказывают углерод и температура испытания (вернее, углеродный эквивалент C_3 и перегрев над ликвидусом $\Delta t_{\text{пер}}$), с повышением которых вязкость понижается. Аналогично влияет и увеличение числа микрогруппировок графита. Так же благоприятно влияет кремний, который повышает C_3 и термодинамическую активность углерода. Наименьшей вязкостью характеризуется чугун эвтектического состава. При идентичном химическом

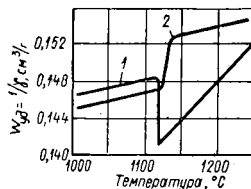


Рис. 1.9. Изменение удельного объема ($W_{\text{уд}}$) чугуна при плавлении:

1 — СЧ; 2 — БЧ

составе вязкость БЧ вплоть до 1450°C намного ниже, чем у СЧ, вследствие меньшего содержания группировок и включений графита, причем длительная выдержка БЧ и СЧ при $\Delta t_{\text{пер}} = 50 \div 100^{\circ}\text{C}$ практически не выравнивает значений их вязкости.

Наряду с температурой существенное влияние на вязкость оказывает природа шихтовых материалов (рис. I.11), а также содержание газов и неметаллических включений; при этом гистерезис η , независимо от C_3 и типа плавильного агрегата, различен. Следует также указать, что динамическая вязкость чугуна зависит и от способа введения в металл тех или иных компонентов, так как при этом меняется жидкое состояние чугуна. Поэтому исследования, например [33], показали, что при введении кремния в жидкий металл вязкость получится выше, чем при его введении в шихту.

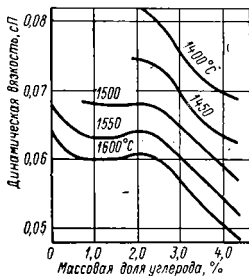


Рис. I.10. Влияние температуры и содержания углерода на динамическую вязкость чугуна

Вязкость оказывает значительное влияние на свойства чугуна: низкая вязкость η повышает жидкотекучесть, облегчает удаление газов и включений из металла, а также облегчает образование шаровидного графита.

Поверхностное натяжение σ , дин/см (10^{-5} Н/см), характеризует работу образования 1 см^2 поверхности жидкости на границе с ее насыщенным паром. Эта работа обусловлена тем, что вблизи поверхностей раздела свойства фазы отличаются от таковых вдали от раздела, в частности вследствие явлений адсорбции и различия в координационных числах на границе и в середине фаз. С поверхностным натяжением связано образование поверхностных и, в частности, адсорбционных слоев, которые обладают особыми свойствами, резко отличными от свойств того тела, на котором они адсорбируются. Адсорбционные слои могут значительно влиять на процессы перехода вещества из одной фазы в другую и, в частности, на процессы растворения и кристаллизации. Для образования таких слоев используются имеющие или специально вводимые в сплав поверхностно-активные вещества, которые даже при очень малых добавках резко изменяют свойства системы, вследствие чего может увеличиваться переохлаждение (ΔT) при кристаллизации и уменьшаться критический размер зародыша. Таким образом, σ является основной термодинамической характеристикой на границе раздела фаз. Поверхностно-активные элементы, например углерод и кремний, а значит и C_3 , понижают σ (рис. I.12), причем при повышении температуры оно сначала увеличивается (примерно до 1500°C), а затем понижается. Влияние кремния заметно проявляется при относительно низких температурах

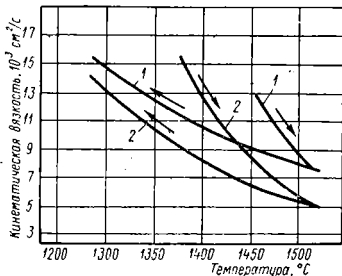


Рис. I.11. Температурная зависимость кинематической вязкости чугуна ($\text{C}_3 = 4,4\%$), выплавленного с применением разной шихты (стрелками показано направление процесса измерения: вверх — при нагреве, вниз — при охлаждении):

1 — плавка на ЛК2; 2 — плавка на передельном чугуне МЗ

и постепенно слабеет с повышением температуры до 1600°C . При более высоких температурах это влияние отсутствует. Марганец не оказывает существенного воздействия на значение σ . Большой поверхностной активностью характери-

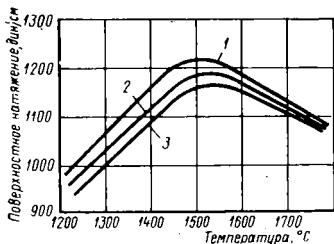


Рис. 1.12. Политермы поверхностного натяжения чугуна с различным значением углеродного эквивалента:

1 — $C_3 = 3,4\%$; 2 — $C_3 = 4,0\%$; 3 — $C_3 = 4,4\%$

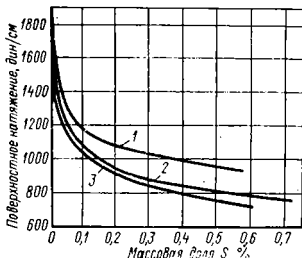


Рис. 1.13. Изотермы поверхностного натяжения расплавов при 1550°C и разном содержании S и C:

1 — $C < 0,002\%$; 2 — $C = 2,13\%$; 3 — $C = 3,05\%$

зуется сера (рис. 1.13) [42], влияние которой особенно заметно при малых концентрациях. В отличие от серы фосфор в широком интервале концентраций (0,038—2,4%) относительно инактивен: изменение σ составляет около 30 дин/см ($3 \cdot 10^{-4}$ Н/см) на 1% Р.

Исследование влияния некоторых легирующих элементов показало, что Сг и Си незначительно снижают, а Ni и Zr повышают σ ; Ti, V и Mo инактивны. Сильными поверхностно-активными элементами в чугуне являются O, N, Bi, Pb. По степени усиления поверхностной активности в чугуне обычного состава элементы могут быть расположены так: C, Si, Mn, N, S, O. Примесные цветные металлы соответственно располагаются следующим образом: Cu, Al, Sn, As, Sb, Pb, Bi. Однако интенсивность влияния того или иного элемента на σ не является постоянной и зависит от эвтектичности чугуна (S_3), температуры и наличия в нем других поверхностно-активных примесей. Например, Се является обычно поверхностно-активным, а в чугуне с 0,5% Ti для изменения σ требуется уже более 0,3% Се. Значение σ существенно зависит и от температуры. Например, для синтетического чугуна, независимо от значения C_3 , эта зависимость характеризуется максимумом около 1500°C . Значения σ при этом совпадают как при нагреве, так и при охлаждении. В то же время для обычных чугунов (доменных, ваграночных и др.) наблюдаются различные максимумы (от 1500 до 1680°C и более). При этом значения σ для одних и тех же температур при нагреве и охлаждении не совпадают. Это явление гистерезиса имеет место даже при нагреве расплава до 1800°C (рис. 1.14).

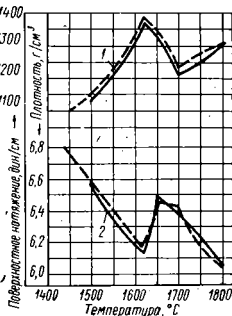


Рис. 1.14. Изменение поверхностного натяжения и плотности доменного литейного чугуна с $C_3 = 4,54$ при нагреве (—) и охлаждении (---):

1 — поверхностное натяжение; 2 — плотность

Плотность γ жидкого чугуна в определенной степени отражает его строение. Измерение γ различных по составу и строению чугунов, произведенное параллельно с измерением σ , показало наличие связи между этими величинами. Обычно максимуму σ на политермах соответствует минимум γ . Такой ход кривых (рис. 1.14) сохраняется до очень высоких температур (порядка 1800° С) и свидетельствует об определенном соответствии между объемными и поверхностными свойствами жидкого чугуна. Плотность чугунов при C_3 , одинаковом по значению, но разном по составу, измеренная при равных температурах, может существенно различаться. По усредненным данным можно считать, что повышение температуры на 100° С соответствует уменьшению γ на 0,15 г/см³. Вместе с тем следует подчеркнуть, что показатели γ являются строго индивидуальными чрезвычайно чувствительными характеристиками расплава, на которые влияют жидкое состояние чугуна, в том числе наличие в нем газов и неметаллических включений*.

Растворимость N зависит также от химического состава металла. Элементы Ti, V, Ni, Cr, Mn, Mo, W увеличивают его растворимость в чугунах, а Al, Cu, Zn, S, As, Ni, Si, P, O, C, Mg — уменьшают. Равновесная растворимость N в жидком чугуне в зависимости от содержания основных элементов и температуры может быть рассчитана по формуле

$$\lg [\% N] = 1000/(t + 273) - 0,86 - 0,06 [\% Si + \% S] - 0,15 [\% P] - \\ - 0,24 [\% C] + 0,015 [\% Mn] + 0,030 [\% Cr].$$

Однако в промышленных чугунах содержание N обычно не соответствует равновесному. В частности, в СЧ, выплавляемом в вагранках на холодном дутье, содержание N удовлетворительно описывается уравнением

$$[\% N] = 0,089e^{-0,728C_3}.$$

Чугун электродуговой плавки содержит азота больше, а индукционной — меньше. В зависимости от формы состояния N оказывает на структуру и свойства чугуна различное влияние. Так, при образовании фаз внедрения он увеличивает прочность σ_b и твердость HB и повышает стабильность карбидов; нитридные же его формы могут служить центрами графитизации, и их влияние на графитизацию прямо противоположно. Современная техника анализа позволяет выявлять как общее содержание азота в чугуне, так и отдельно количество азота, содержащегося в стойких нитридах. Термическая обработка чугуна (например, отжиг ковкого чугуна) может привести к переходу одной формы N в другую. Степень графитизации СЧ с понижением в нем содержания N, входящего в твердый раствор, увеличивается. Нитридообразующие элементы оказывают разное влияние на графитизацию: например, Ti и V в количестве, соответствующем образованию нитридов, способствуют графитизации; при большей концентрации возможно образование карбидов с обратным эффектом. Несколько иначе влияет V, 0,1—0,2% которого резко уменьшают содержание N в твердом растворе (до 0,001%) в результате образования VN. Повышение же количества V сверх указанного приводит к увеличению N в растворе, что связано с усилением влияния V на повышение растворимости N в чугуне, которое превалирует над влиянием VN. В высокопрочном чугуне с шаровидным графитом (ВЧШГ), который модифицируется магнием, азот на форму графита непосредственного воздействия не оказывает. В этом случае его влияние может проявиться только в большей или меньшей ферритизации матрицы.

Избыток N в чугуне сверх равновесного при медленном охлаждении может привести к образованию в отливках характерной азотистой пористости. Вместе с тем в чугуне при быстром охлаждении может быть зафиксировано без нарушения сплошности матрицы содержание N, намного превышающее равновесное. Изучение кривых охлаждения показало, что в доэвтектическом СЧ азот повышает равновесные температуры и, в частности, температуру солидуса и уменьшает C_3 , который характеризуется уравнением [32]

$$C_3 = [\% C] + 0,3 [\% Si] + 0,27 [\% P] - k [\% N],$$

где k — коэффициент, который в зависимости от различных факторов может изменяться в заметных пределах; в частности, при $N = 0,015 \div 0,025\%$ $k = 4,7 \div 6,6$.

В доменных литейных и передельных чугунах в зависимости от условий выплавки содержание N колеблется в пределах от следов до 0,01% и более, что в определенной мере предопределяет различные «наследственные» свойства доменных чугунов.

В сером и легированных чугунах N может быть использован в качестве элемента, оказывающего значительное влияние на улучшение их структуры и свойств. В ковком чугуне с повышением % N заметно увеличивается продолжительность первой и второй стадий графитизации (второй в большей степени, чем первой).

Растворимость водорода в жидком железе подчиняется закону квадратного корня Сиверта. При 1535—2450°С она изменяется в пределах от 0,0024 до 0,0036% или от 26,7 до 40,5 см³/100 г. Растворимость водорода в железе

повышают Ti, Nb, Zr, Ce, La, Nd; слабо влияют на растворимость водорода Mn, Cu, Co, Sn, Ni, Mo; заметно понижают его растворимость C, Si, Al, B, O. В Fe—C-сплавах минимальная растворимость Н соответствует составам, близким к эвтектическим. Как в чистом Fe, так и в Fe—C-сплавах растворимость Н с повышением температуры увеличивается (например, при 3,8% С и $t = 1275 \div 1420^\circ \text{C}$ растворимость Н увеличивается на $0,5 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ на каждые 100°C). Для чистого Fe температурный коэффициент растворимости равен $3,3 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ на 100°C . В жидком состоянии СЧ может поглощать Н в количествах $20\text{—}30 \text{ см}^3/100 \text{ г}$. В условиях, обеспечивающих экстракцию Н из чугуна, он был обнаружен в экстрагированной фазе в виде H_2 , CH_4 , H_2O . В твердом чугуне Н, по-видимому, может находиться в форме протонов, молекул и в связанном состоянии.

В зависимости от состава и структуры чугуна, условий его выплавки и последующего хранения соотношение между различными формами Н в чугуне может существенно изменяться.

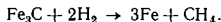
Таблица 1.4

Влияние эвтектичности на количество и форму состояния водорода в чугуне

Эвтектич-ность S_3	Количество водорода, $\text{см}^3/100 \text{ г}$		
	Диффу-зионно-подвижная форма	Форма, выделя-ющаяся только при вакуум-плавлении	Общее количест-во
0,77	11,01	2,98	13,99
0,98	8,75	2,34	11,09
1,09	6,42	1,95	8,37

гунах после отжига $0,6\text{—}12 \text{ см}^3/100 \text{ г}$. Различные по составу, структуре и металлургическому происхождению чугуны характеризуются разной склонностью к поглощению и выделению Н. Представление о состоянии различных форм Н в чугуне дают данные табл. 1.4.

Как видно из табл. 1.4, наибольшее количество Н в чугуне (около 79%) приходится на его диффузионно-подвижную форму. В зависимости от концентрации и формы состояния Н может оказывать различное влияние на свойства чугуна в жидком или твердом состоянии: уменьшать скорость образования графитной эвтектики; способствовать выделению грубых форм графита; увеличивать стабильность карбидов; способствовать увеличению дисперсности перлита; вызывать образование в отливках внутренних «белых» пятен, состоящих из карбидов; увеличивать склонность чугуна к отбеливанию; при наличии примесей Al, Ti, Mg и Mn вызывать образование пористости и понижать жидкотекучесть ($\lambda_{\text{ж}}$). В твердом чугуне, при контакте его с атмосферой водорода, может иметь место заметное обезуглероживание за счет взаимодействия по реакции

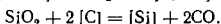
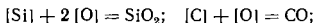


Обработка чугуна в жидком состоянии природным или другим газообразным углеводородом в определенных случаях может дать эффект, подобный модифицированию.

Кислород как в твердом, так и жидком чугуне может находиться в разных состояниях: в адсорбированном виде на различных поверхностях (отливки, раздела фаз и др.), в молекулярном или химически связанном состоянии; в виде шлаковых и других экзогенных включений; в виде простых или сложных оксидных включений эндогенного происхождения; в растворе. Две первые формы иногда называют «поверхностным кислородом», две последние — «внутренним».

Формы состояния О в чугуне предопределяются его химическим составом, металлургическим происхождением, условиями внепечной обработки, заливки и т. п. Так, например, модифицирование ферросилицием (ФС) и другими подобными модификаторами, как правило, приводит к увеличению содержания О в чугуне. В то же время введение в чугун Mg, Ca и десульфурация его кальцинированной содой или обработка газами, не содержащими О, всегда понижают его содержание. Во время медленной заливки, при турбулентном движении струи содержание О в чугуне может достигнуть 0,2%. В твердом чугуне содержание О не остается постоянным, так как О окружающей среды не только вызывает обычную коррозию отливок, но и диффундирует в их толщу. Кинетика этого процесса, в основном, предопределяется характером и количеством включений графита, выходящих на контактную с внешней средой поверхность отливки. Растворенный в расплавленном чугуне О может способствовать дезактивации части центров графитизации. Наряду с этим, увеличение числа и дисперсности оксидных включений сопровождается развитием процесса графитизации и измельчением графита. Формы состояния О в чугуне могут быть в наиболее общем виде выявлены сравнением содержания его в оксидах, определяемых при анализе неметаллических включений, с содержанием, которое выявляется при определении количества газов методом вакуумного восстановительного плавления. Так, например, в оксидах массовая доля О составляет (%): в доменных чугунах — 0,0016—0,0025, в ваграночных чугунах до модифицирования — 0,0060, после модифицирования — 0,0077; при выявлении методом вакуумного плавления содержание О в доменных чугунах — 0,009—0,010, а в ваграночных чугунах до и после модифицирования — соответственно 0,0016 и 0,0010.

Содержание и формы состояния О в жидком чугуне предопределяются, в основном, термодинамическими условиями протекания реакций:



Чем выше температура, тем легче протекают вторая и третья реакции. Равновесное содержание О в жидком чугуне с повышением температуры увеличивается, причем в реальных условиях концентрация О заметно превышает равновесное, и поэтому при высокотемпературных выдержках она может за счет реакций раскисления снижаться.

4. КЛАССИФИКАЦИЯ И СТРУКТУРА ЧУГУНА

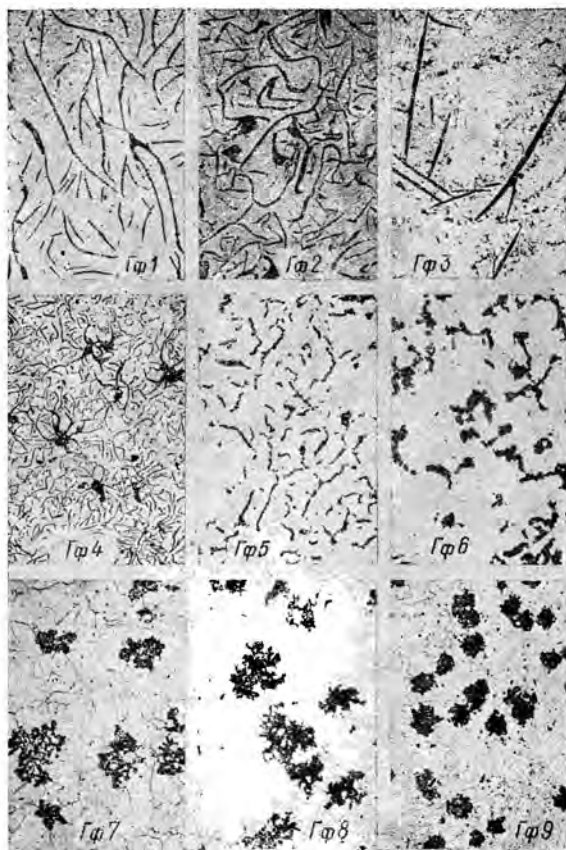
В зависимости от того, в каком виде формируется высокоуглеродистая фаза при кристаллизации или термической обработке, чугуны делятся на графитизированные (СЧ, ЧВГ, КЧ, ВЧШГ), белые (БЧ), половинчатые, отбеленные (ОЧ). В последнем случае снаружи отливки имеют структуру белого чугуна (БЧ), а в центре — серого. Формы графита в чугунах весьма разнообразны: пластинчатые (ПГ), вермикулярные* (ВГ), хлопьевидные (ХГ) и шаровидные (ШГ). Эти формы графита определяют основные типы чугуна: СЧ, ЧВГ, КЧ, ВЧШГ. При этом структура матрицы может быть различной — от ферритной до аустенитной.

Основные структурные составляющие чугуна

Оценка структуры производится по ГОСТ 3443—77, при взаимных поставках по кооперированию между странами — членами СЭВ пользуются рекомендацией по стандартизации РС 3572. В капиталистических странах применяется международный стандарт ИСО 945—75 «Чугун. Условное обозначение структуры графита».

ГОСТ 3443—77 и РС 3572 классифицируют структуру чугуна как по форме графита, так и по матрице. При оценке графита определяются: форма, распределение, количество и размеры включений; при оценке матрицы определяются:

* Термин «вермикулярный» означает «червеобразный».



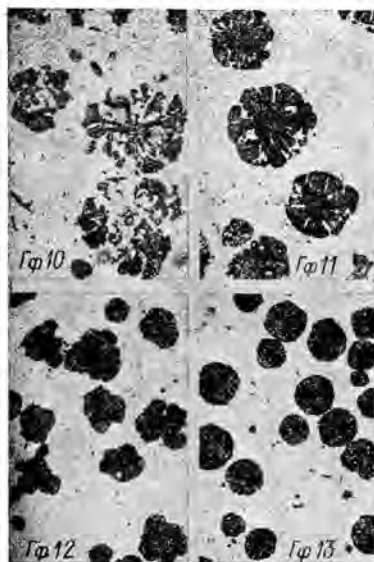


Рис. 1.15. Классификация графита по форме (X100):

Гф1 — пластинчатая прямолинейная; Гф2 — пластинчатая завиточная; Гф3 — пластинчатая игольчатая; Гф4 — гнездообразная; Гф5 — вермикулярная извилистая; Гф6 — вермикулярная утолщенная; Гф7 — нитевидная; Гф8 — хлопьевидная; Гф9 — компактная плотная; Гф10 — шаровидная разорванная; Гф11 — шаровидная звездчатая; Гф12 — шаровидная неправильная; Гф13 — шаровидная правильная

тип структуры, количество перлита (П) и феррита (Фе), дисперсность П; строение, распределение, размер ячеек сетки и отдельных включений фосфидной эвтектики (ФЭ); количество и размер включений цементита (Ц) или ледебурита (Л).

При оценке формы графита в структуре чугуна следует учитывать, что графит часто присутствует не в одной определенной, но и в разных переходных формах. Поэтому в ГОСТ 3443—77 разработана единая шкала эталонов для оценки основных форм графита, встречающихся в чугунах различного типа. По этому признаку структура чугуна оценивается тринадцатью баллами (рис. 1.15). Графит типа Гф1 и Гф2 характерен для СЧ, близкого к доэвтекктическому и эвтекктическому составам, а Гф3 и Гф4 — для чугуна заэвтекктического состава, Гф7, Гф8 и Гф9 типичны для КЧ, однако сходные формы графита встречаются также в чугунах, модифицированных редкоземельными металлами (РЗМ) или лигатурами на их основе; Гф10—Гф13 образуются, в основном, в ВЧШГ. При этом, если в структуре чугуна имеется графит различных форм, следует визуально оценивать процентную долю каждой формы и указывать ее при обозначении структуры.

Оценка размеров включений графита (рис. 1.16) производится по длине l или диаметру D :

Тип	Граф15	Граф25
l или D , мкм	До 15	15—30
Тип	Граф45	Граф90
l или D , мкм	30—60	60—120
Тип	Граф180	Граф360
l или D , мкм	120—250	250—500
Тип	Граф750	Граф1000
l , мкм	500—1000	>1000

Пластинчатый графит оценивается всеми восемью баллами, а шаровидный

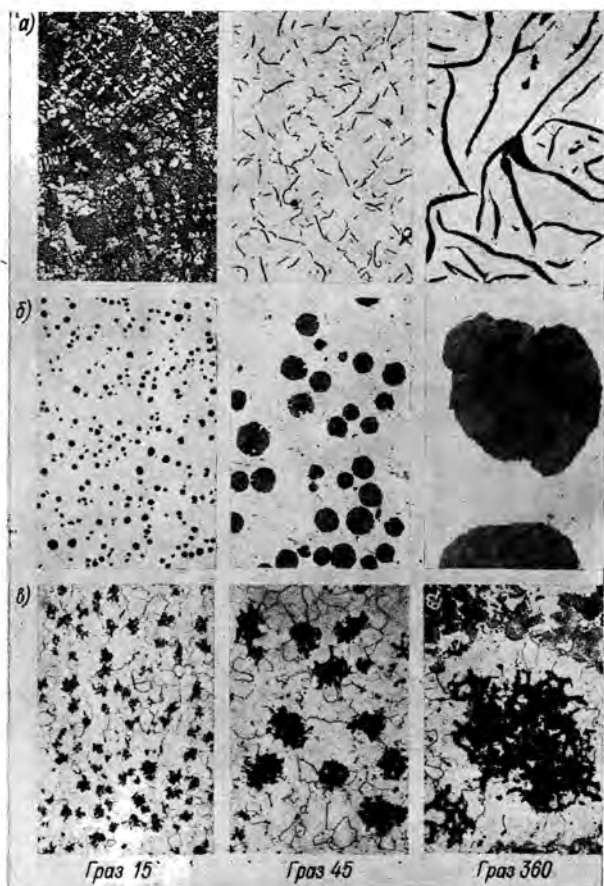


Рис. 1.16. Примеры эталонов для оценки графита по размерам ($\times 100$):
 а — пластинчатый (ПГ); б — шаровидный (ШГ); в — компактный

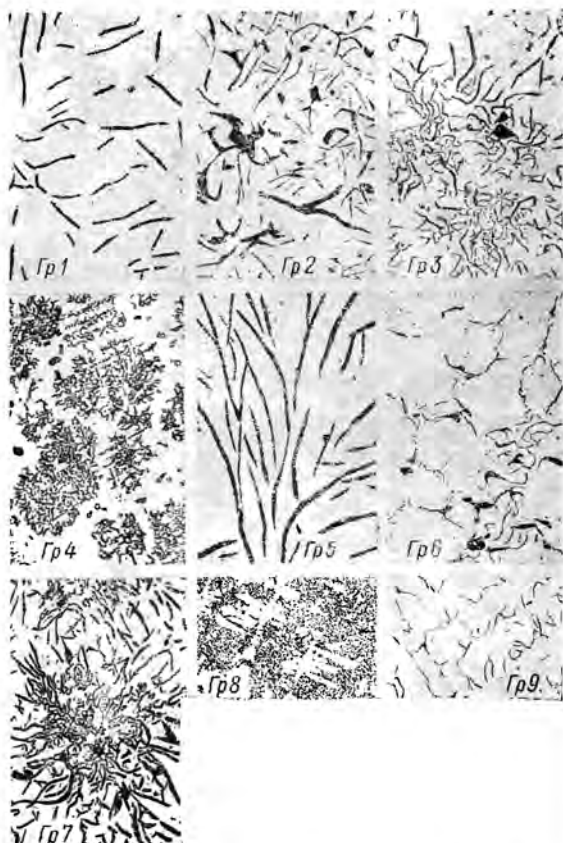


Рис. 1.17. Классификация графита по распределению (X100):

Гр1 — равномерное; Гр2 — неравномерное; Гр3 — колонии пластинчатого графита; Гр4 — колонии междендритного графита; Гр5 — веточное; Гр6 — сетчатое; Гр7 — розеточное; Гр8 и Гр9 — междендритное

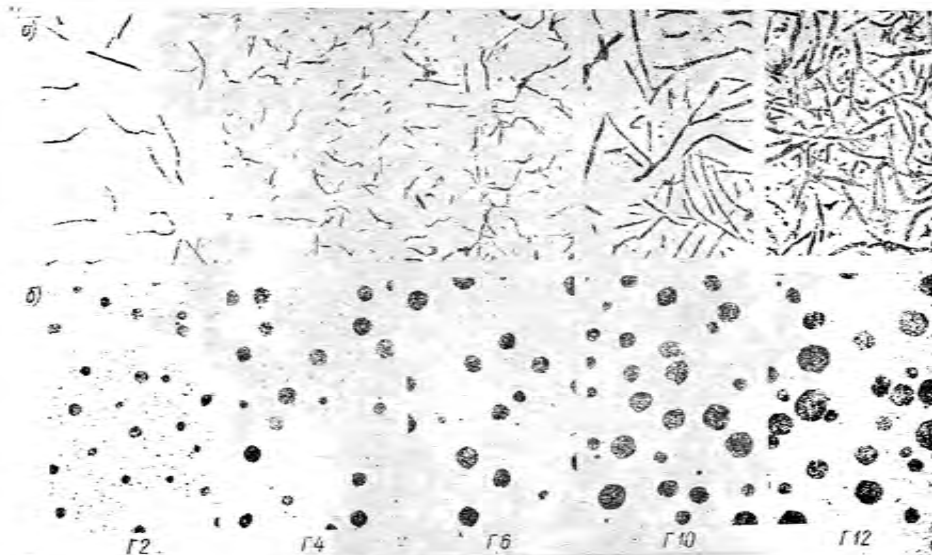


Рис. 1.18. Классификация графита по количеству: а — чугун с пластинчатым графитом; б — чугун с шаровидным графитом. Относительная площадь, занятая графитом:

Г2 — до 3%; Г4 — 3–5%; Г6 — 5–8%; Г10 — 8–12%; Г12 — >12%

и компактный — только первыми шестью баллами. Оценка производится по средним значениям длины или диаметра трех наибольших включений графита, видимых в поле зрения шлифа и измеренных не менее, чем в трех местах шлифа. Если в структуре чугуна имеется графит разных форм, то величина включений определяется для каждой из них.

Оценка характера распределения ПГ производится по рис. I.17. Распределения типов Гр1 и Гр2 являются характерными для чугуна средних и крупных

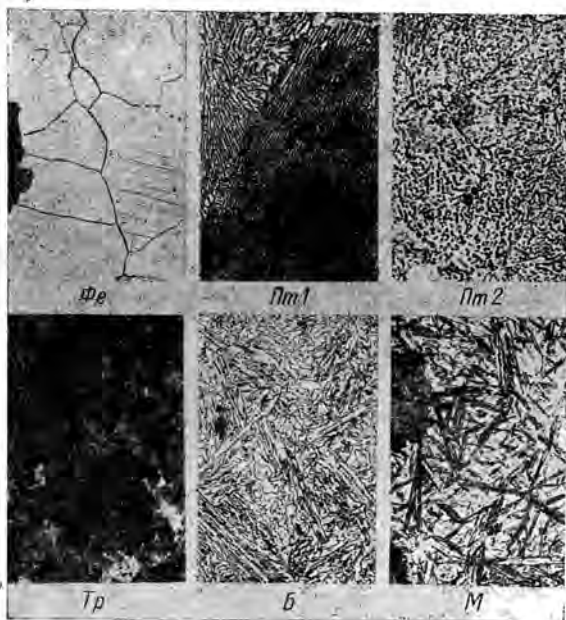


Рис. I.19. Основные типы металлической основы (×500):

Фе — феррит; Пт1 — перлит пластинчатый; Пт2 — перлит зернистый; Тр — троостит; Б — бейнит; М — мартенсит

отливок с толщиной стенки 30—100 мм. При толщине более 100 мм (например, в изложницах) образуется, в основном, веточное распределение графита (Гр5), а сетчатое (Гр6) получается преимущественно в отливках, залитых немодифицированным СЧ (особенно синтетическим). Графит типов Гр5, Гр6, Гр7 кристаллизуется в быстроохлаждающихся отливках или при заливке форм перегретым чугуном. Если в структуре чугуна имеется графит двух или более различных распределений, то следует визуально оценивать процентную долю каждого распределения и указывать ее при обозначении структуры.

Оценка графита по количеству производится по рис. I.18.

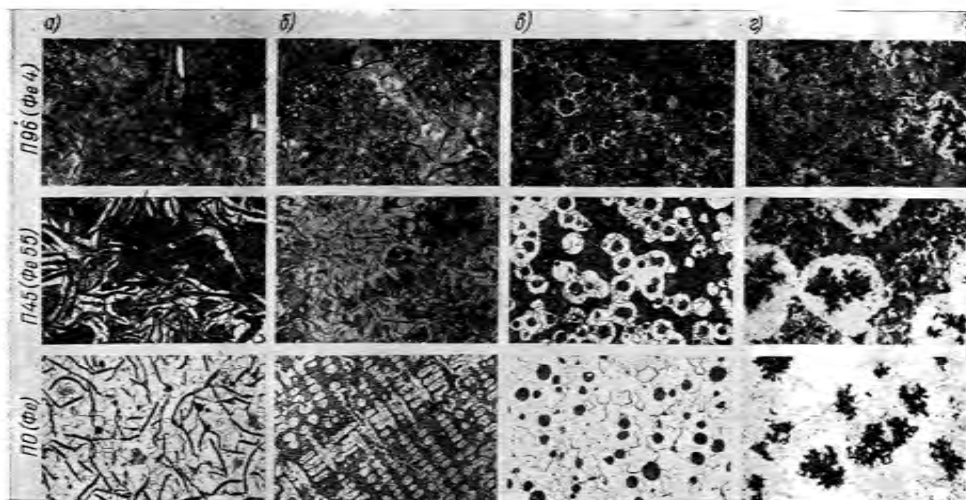


Рис. 1.20. Примеры некоторых эталонов для оценки количества Π и Фв в чугунах ($\times 100$): а — СЧ с замедленной скоростью охлаждения; б — СЧ с повышенной скоростью охлаждения; в — ВЧШГ; г — КЧ

Оценка типа матрицы по ГОСТ 3443—77 производится шестью баллами по рис. 1.19. Необходимость оценки структур троостита, бейнита, мартенсита оговаривается в заказе. Если в структуре чугуна имеется металлическая основа различных типов, то следует визуально оценивать процентную долю каждого типа и указывать ее при обозначении структуры.



Рис. 1.21. Классификация перлита по дисперсности ($\times 500$).

Расстояние (мкм) между пластинками Ц равно: для Пд0,3 — до 0,3; для Пд0,5 — 0,3 — 0,8; для Пд1,0 — 0,8 — 1,3; для Пд1,4 — 1,3 — 1,6; для Пд1,6 — свыше 1,6

Оценка количества П и Fe в чугуна производится по средней площади (в %), занятой этими фазами на микрошлифе, определенной не менее чем в трех местах шлифа. Эта характеристика оценивается девятью баллами:

По перлиту	П	П96	П92	П85	П70
По ферриту	FeO	Fe4	Fe8	Fe15	Fe30
Площадь П, %	>98	94—98	90—94	80—90	60—80
Площадь Fe, %	<2	6—2	10—6	20—10	40—20

По перлиту	П45	П20	П6	П0
По ферриту	Fe55	Fe80	Fe94	Fe100
Площадь П, %	30—60	10—30	2—10	<2
Площадь Fe, %	70—40	90—70	98—90	>98

На рис. 1.20 даны для примера некоторые эталоны для оценки количества П и Fe.

Оценка дисперсности П производится пятью баллами (рис. 1.21) путем определения расстояния между соседними пластинками Ц при поперечном их разрезе. Измерение этого расстояния производится в зернах перлита наибольшей дисперсности, где пластины расположены перпендикулярно к плоскости шлифа. При

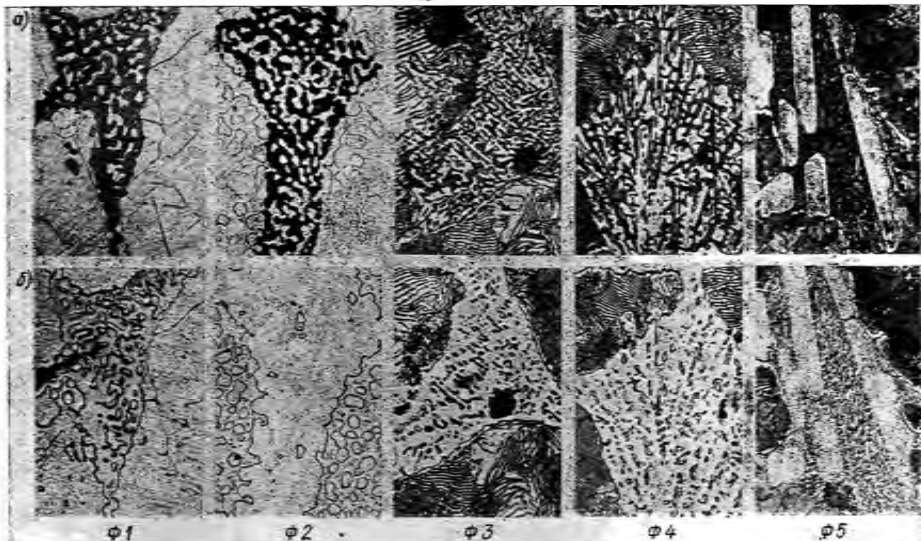


Рис. 1.22. Классификация фосфидной эвтектики по строению ($\times 500$): а — травление нагретым до 70—80°С реактивом Мураками с последующим травлением 4%-м спиртовым раствором HNO_3 ; б — травление 4%-м спиртовым раствором HNO_3 :

Ф1 — псевдодвойная (феррит и фосфид); Ф2 — псевдодвойная (феррит и цементит); Ф3 — тройная мелкозернистая; Ф4 — тройная игольчатая; Ф5 — тройная с пластинами цементита



Рис. 1.23. Классификация фосфидной эвтектики по распределению ($\times 20$):

Fr1 — равномерное распределение; Fr2 — разорванная сетка; Fr3 — сплошная сетка

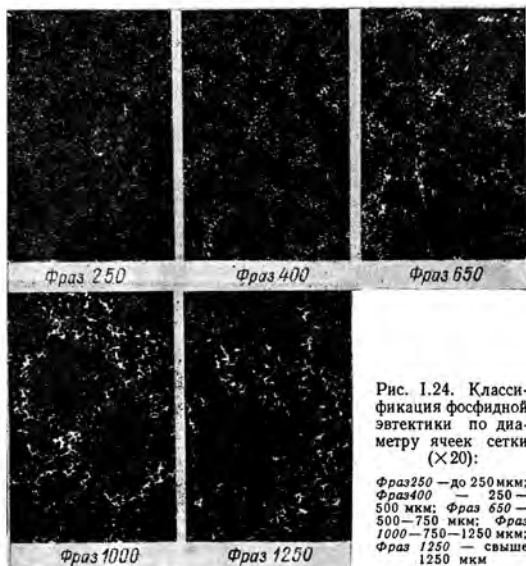


Рис. 1.24. Классификация фосфидной эвтектики по диаметру ячеек сетки ($\times 20$):

Фраз250 — до 250 мкм;
Фраз400 — 250 — 500 мкм; Фраз 650 — 500—750 мкм; Фраз 1000—750—1250 мкм; Фраз 1250 — свыше 1250 мкм

необходимости более точного определения дисперсности перлита следует пользоваться следующим методом оценки [45]. В плоскости шлифа под микроскопом с помощью окулярмикрометра на произвольной прямой длиной 1000 мкм подсчитывают количество l пересекаемых ею под произвольными углами пластин цементита. Затем определяют действительное среднее межпластинчатое расстояние $\Delta_0 = 1000/2l$ мкм.

Оценка включений ЦФ производится по четырем основным параметрам: строению (рис. 1.22), характеру распределения (рис. 1.23), диаметру ячеек сетки (рис. 1.24), зависящему от скорости охлаждения, и средней площади трех наибольших включений:

Обозначения	Фп2000	Фп6000	Фп13000	Фп20000	Фп25000
Площадь наибольших включений, мкм ²	<2000	2000—10 000	10 000—16 000	16 000—25 000	>25 000

Оценка включений Ц производится по ГОСТ 3443—77 двумя параметрами: общим количеством Ц, оцениваемым средним процентом площади, занимаемой этими включениями на микрошлифе и определенной не менее чем в трех местах

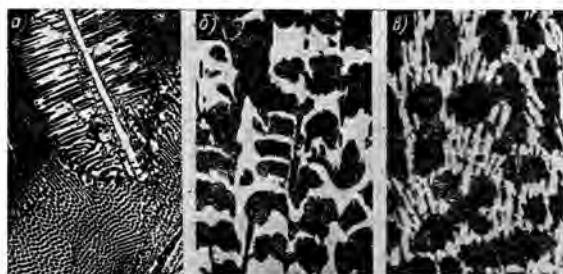


Рис. 1.25. Строение ледебурита ($\times 100$): а — поперечное и продольное сечения колонии сотового ледебурита в чугунах при содержании 0,4% Si ($\times 500$); б — грубый конгломерат ледебурита в валковом чугуне с повышенным содержанием Р ($\times 200$); в — пластинчатый ледебурит в доэвтекктическом чугуне ($\times 200$)

шлифа, и величиной отдельных включений Ц (обозначение Цп), определяемой средней площадью трех наибольших включений (табл. 1.5).

Таблица 1.5

Классификация цементита

Обозначение	Общая площадь, занятая Ц, %	Обозначение	Площадь отдельных включений Ц, мкм ²
Ц2	До 2	Цп 2 000	До 2 000
Ц4	Св. 2 до 5	Цп 6 000	Св. 2 000 до 10 000
Ц10	» 5 » 15	Цп 13 000	» 10 000 » 16 000
Ц25	» 15 » 40	Цп 20 000	» 16 000 » 25 000
Ц40	» 40	Цп 25 000	» 25 000

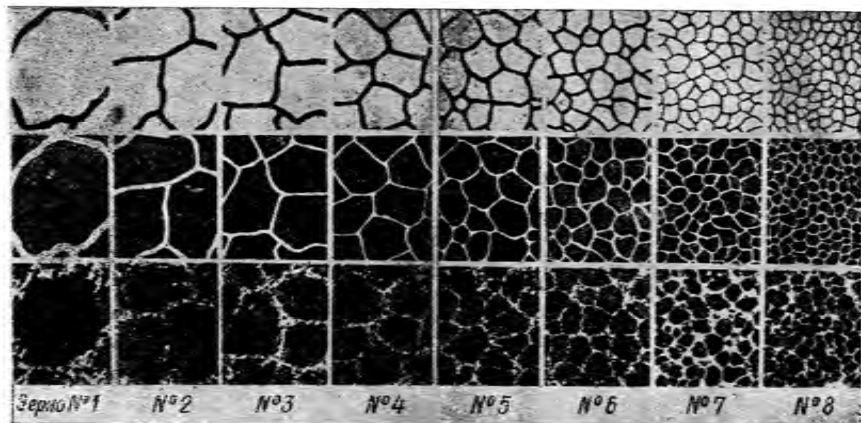


Рис. 1.26. Шкала для оценки величины эвтектического зерна



Рис. 1.27. Неметаллические включения в чугунах: а — сульфиды и оксиды ($\times 1000$); б — эндогенное сложное оксидное включение ($\times 500$); в — тот же образец, что и в, но в полярном свете; д — оксидные и сульфидные включения, содержащие магний сульфиды, содержащие РЗМ ($\times 500$); ж, з — карбонитриды титана ($\times 500$); и — оксидная пленка на ВЧШГ, образовавшаяся после 100 ч ($\times 500$); к — оксидная пленка на SiC , образовавшаяся при 700°C , ($\times 500$); л — оксидная пленка на ВЧШГ, образовавшаяся после 100 ч ($\times 500$), с пометками: Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , FeO .



($\times 200$); б — сульфиды то же в подяризован- ний ($\times 100$); е — окси- ($\times 500$); и, к — вклю- ся при 700°C , выдер- выдержка 100 ч ($\times 500$)

Оценку других параметров включений Ц и Л ГОСТ 3443—77 не предусматривает, хотя вследствие большого влияния на эти характеристики состава и условий кристаллизации строение Ц и особенно Л бывает различным [7] и играет важную роль. Характерные типы этих структур представлены на рис. 1.25.

Описание структур производится словами или приведенными индексами. Примеры словесного описания: структура чугуна с равномерно распределенным ПГ прямолинейной формы длиной 60—120 мкм; П пластинчатый в количестве от 30 до 60% с межпластинчатым расстоянием 0,5 мкм; ФЭ тройная, игольчатого строения, в виде отдельных включений площадью более 2000 до 10 000 мкм². Примеры описания структуры индексами: Гф1; Гр1; Граз90; Пт1; П45; Пд0,5; Ф3; Фр1, Фп6000.

Размер эвтектического зерна (рис. 1.26) наряду с размерами и формой графита и составляющих матрицы также имеет большое значение. Границы зерен в чугуне определяются расположением включений ФЭ по границам эвтектических колоний, которые легко выявить обычным травлением раствором азотной кислоты или другими методами. При этом границы эвтектических колоний выявляются в виде светлой сетки на темном поле перлита в результате слабой травимости ФЭ и прилегающих к ней участков перлита, обогащенных Р. При отсутствии или низком содержании Р в чугуне, когда выявить ФЭ практически не удается, границы эвтектических колоний выявляются при травлении на ливкацию Si. В этом случае границы колоний, концентрация Si в которых ниже, будут светлыми, а центральные участки колонии — темными.

В перлитном чугуне (ПЧ) эвтектическое зерно выявляется сеткой Ц или Л. Размер эвтектических зерен можно определить по ГОСТ 3443—77 (см. рис. 1.23) или по рис. 1.25 [55].

Неметаллические включения

Неметаллические включения в чугуне являются чаще всего эндогенными. Содержание их в обычном СЧ с учетом графита может достигать 5—6%. Таковы сульфиды, оксиды, к которым относятся включения системы FeO—MnO—SiO₂ различного состава, Fe—Mn—Ca-силикаты сложного состава, шпинели типа (FeO·MnO) Al₂O₃, форстерит Mg₂SiO₄, энстатит — MgSiO₃, алюминаты, алюмосиликаты, карбиды, нитриды, карбонитриды, силициды, фосфиды и др., а также продукты разрушения футеровки и формы. В легированных чугунах и в чугунах, содержащих примеси цветных металлов в заметных количествах, могут присутствовать самые разнообразные включения, представляющие соединения этих металлов с кислородом и другими элементами. Многие включения содержатся в виде чрезвычайно тонких образований коллоидного размера. Точно оценить их природу и количество современными аналитическими средствами не удается. Электролитическим методом и количественной метал-

лографией было установлено, что в 1 см^3 обычного СЧ может находиться приблизительно: до 5 млн. устойчивых оксидных включений, в числе которых содержится около 70% включений размером от 0,2 до 1 мкм; около 43 млн. сульфидов; около 5 млн. карбонитридов. Таким образом, в 1 см^3 чугуна, помимо включений графита, можно обнаружить более 50 млн. неметаллических включений микро- и макроскопического размера. Все эти эндогенные включения, существующие в жидком чугуне и образующиеся во время кристаллизации, могут оказывать заметное, а часто и решающее, влияние на физические свойства металла, процессы структурообразования чугуна и его свойства в отливках, причем в тем большей степени, чем выше эти свойства.

Сульфиды обычно встречаются в виде серо-голубоватых частиц разнообразной формы по границам дендритов и эвтектических колоний (рис. 1.27, а, б). С увеличением содержания Мп форма сульфидов становится более кристаллической, окраска меняется и зависит от содержания Fe и Мп. Оксидные включения представляют собой окислы металлов или частицы футеровки, литейной формы и невосстановленных окислов шихтовых материалов — включения кварца, корунда, а также смеси этих окислов (рис. 1.27, а, в, г). В чугунах, модифицированных Mg, образуются сложные окислы и сульфиды, содержащие Mg. Они располагаются по границам эвтектических колоний в виде черных нероглифов и мелких серых включений. При сухой полировке шлифов (на алмазной пасте) включения окислов имеют темно-серый цвет, под воздействием воды и реактивов быстро разлагаются (рис. 1.27, д). В чугунах, модифицированных лигатурами с редкоземельными металлами (РЗМ), обнаруживаются скопления очень мелких оксисульфидов, содержащих Y, Ce и другие РЗМ (рис. 1.27, е). В связи с очень высокой химической активностью РЗМ включения, имеющие вначале светло-серую окраску, на воздухе быстро окисляются. Уже через несколько минут после приготовления шлифа на серых включениях образуются радужные пленки. С течением времени включения окисляются еще больше, и после травления наблюдаются только темные включения, не имеющие характерной структуры (рис. 1.27, е).

В некоторых сортах чугуна, особенно в выплавленном на рудах, содержащих Ti, встречаются единичные желтовато-розовые включения карбонитридов Ti в форме хорошо выраженных кристаллов кубической системы. При добавках Ti свыше 0,2% включения кристаллизуются чаще в виде скоплений мелких кристаллов правильной формы (рис. 1.27, ж, з). В чугунах с бором его оксиды кристаллизуются в виде серых мелких включений округлой формы, но при $B > 0,17\%$ иногда выявляются серые крестообразные включения с красным отсветом (рис. 1.27, и, к).

При нагреве и длительных выдержках при высоких температурах на поверхности отливки образуется окалина, которая состоит из трех окислов: вюстита (FeO), ближайшего к металлу окисла; магнетита (Fe_3O_4), промежуточного слоя, и гематита (Fe_2O_3), образующегося на поверхности раздела окисел—газ (рис. 1.27, л). FeO имеет темно-серый цвет с коричневым оттенком, присутствует только в сильно окисленном железе с малым содержанием элементов, связывающих O (Si, Мп, Al, Сг и др.). В отсутствие же этих элементов образуется Fe_3O_4 коричневатого-серого цвета, светлее, чем FeO ; Fe_2O_3 — самый тонкий окисел, светло-розового цвета. В чугуне с ПГ окалинообразование ускоряется и наблюдается еще внутреннее окисление вокруг графита (рис. 1.27, м). Для выявления составляющих окалины рекомендуется обычное химическое травление 4%-ным спиртовым раствором азотной или пикриновой кислоты. Наличие магнитной фазы Me_3O_4 и слабомагнитных фаз MeO и Me_2O_3 можно определить, в первом приближении, применением магнитной металлографии.

Методы количественного анализа фаз

Наиболее простым, но недостаточно точным методом количественного анализа является метод определения размера и количества фаз путем сравнения с фотографиями стандартной шкалы. Такой метод используется, главным образом, при массовых контрольных оценках. Для более точного анализа пользуются другими

методами, которые, как правило, являются статистическими; поэтому точность измерений зависит от их числа.

Точечный метод Глаголева заключается в том, что в поле микрошлифа распределяют в любом порядке большое число точек и подсчитывают число точек, попавших на разные фазы. Относительное число точек, попавших на данную фазу, пропорционально площади фазы на шлифе и объему данной фазы. Для определения количества графита внутри окуляра $7\times$ помещают окулярмикрометр (стеклянную пластинку с нанесенной на ней сеткой); при сфокусированном изображении сетка окулярмикрометра накладывается на видимое изображение структуры (рис. 1.28). Подсчитывают число точек n , попавших на графит. Точки, расположенные на включении графита (n_r), считаются единицами, а точки, касающиеся включений ($n_{кас}$), — принадлежащими поровну обеим фазам, и их число делят пополам. Общее число перекрестий, попавших на графит: $n = n_r + \frac{1}{2}n_{кас}$. Остальные ($N_{общ} - n$) перекрестия заняты другой фазой ($N_{общ}$ — общее число точек перекрестий).

Число точек следует подсчитывать в нескольких полях зрения; при этом общее число включений в этих полях должно быть около 200. При увеличении $\times 100$ обычно достаточно трех полей зрения. Усредняя n по всем полям зрения, получают $n_{ср}$. Объемная доля графита (W_r , %) рассчитывается по формуле

$$W_r = \frac{n_{ср}}{N_{общ}} 100.$$

Для расчета массового количества графита (m_r , %) необходимо учесть его плотность ($\sim 2,2$ г/см³) и плотность матрицы ($\sim 7,8$ г/см³):

$$m_r = \frac{2,2W_r}{2,2W_r + 7,8W_{осн}} 100,$$

где $W_{осн}$ — объемная доля матрицы, %, равная $(100 - W_r)$.

Планиметрический метод целесообразно применять при малом содержании заданной фазы в структуре (не более 5—10%). Сущность метода состоит в том, что производится индивидуальный обмер каждого сечения микрочастиц при визуальном наблюдении под микроскопом с помощью окулярмикрометра, затем подсчитываются и суммируются площади этих сечений. Возможно также непосредственное измерение площади сечений микрочастиц, производимое по фотографии или специальной зарисовке. Последний способ является более точным, чем визуальное измерение непосредственно под микроскопом, но применять его можно лишь для ограниченного числа полей зрения, на которых производится измерение, так как это связано с необходимостью изготовления значительного количества микроснимков или зарисовок. Сечения микрочастиц измеряются в двух взаимно перпендикулярных направлениях, если они неравноосны.

Если видимые в поле зрения шлифа сечения не совмещаются с линейкой окулярмикрометра, то их длина и ширина оцениваются на глаз в делениях шкалы. Затем определяют площадь каждого сечения с учетом его формы, суммарная площадь всех сечений в каждом поле зрения и во всех полях зрения и, наконец, относительная площадь, занимаемая данной фазой на шлифе. Более подробные сведения об этой методике приведены в литературе [45].

В последние годы появились вычислительные устройства, автоматически определяющие количество, площадь, длину, периметр отдельных структурных

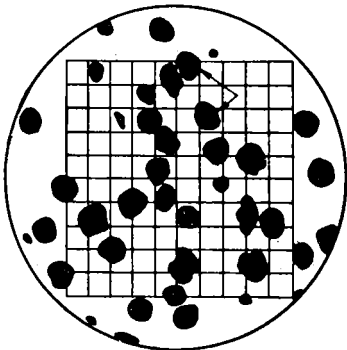


Рис. 1. 28. Структура чугуна с ШГ при наложенной сетке (стрелками показаны включения графита, занимающие половину узловой точки и занимающие ее полностью)

составляющих в поле зрения микроскопа, на снимке или на экране электронного микроскопа. Наиболее совершенными зарубежными вычислительными устройствами являются: «Квантимет 620», «Квантимет 360», «Лейтц-Клазимат».

Методы определения микро- и макроструктуры чугуна

Приготовление шлифов для металлографического анализа чугуна состоит в обработке на абразивном камне, грубой шлифовке, тонкой шлифовке и полировке. Обработка на абразивном камне зернистостью 45—60 мкм проводится для выравнивания поверхности образцов. Грубая шлифовка производится последовательно на трех шлифовальных шкурках: № 100—150, № 150—200 и № 280—320. После этого производится тонкая шлифовка последовательно на мелкозернистых шкурках: № 40, № 28 и № 20 или на алмазных пастах: АС 28/20, АС 20/14 и АС 10/7.

Для шлифовки образцов применяют водоупорные шкурки различной зернистости, прикрепленные к вращающемуся диску. Хорошие результаты получаются при обработке на дисках с частотой вращения 700—800 об/мин. Шлифовка производится всегда только в одном направлении. При переходе с одной бумаги или алмазной пасты на другую нужно поворачивать образец на 90° (перпендикулярно предыдущему направлению) и шлифовать до полного исчезновения рисок, полученных на предыдущей операции шлифования.

Полировку производят на специальном полировальном станке, диск которого обтянут сукном или электропромышленным войлоком (фетром), при частоте вращения 400—600 об/мин. Полируют на водной суспензии окислов Al, Fe или Cr до полного исчезновения рисок. Во избежание образования «хвостов» на графите шлиф в последние минуты полировки вращают вокруг оси.

При подготовке шлифов с хрупкими включениями или соединениями, разлагающимися в воде (например, оксисульфиды Mg в ВЧШГ), полировка производится на алмазной пасте АС 3/2 или АС 2/1, нанесенной на сукно; шлифы протираются смесью спирта с бензином (2 : 1).

Выявление микроструктуры чугуна производится прежде всего рассмотрением шлифа под микроскопом в нетравленном состоянии. Изучение нетравленного образца позволяет определить наличие графита и его форму, наличие пор и неметаллических включений. Дальнейшее изучение структуры проводится на «травленном» образце. Основными способами выявления микроструктуры чугуна являются: химическое травление растворами; электрохимическое травление с помощью электролита (электролитическое травление); тепловое травление (окрашивание структуры при нагреве в атмосфере воздуха); ионное травление (ионная бомбардировка металла в вакууме); магнитная металлография.

Химическое травление, используемое для выявления общей структуры чугуна, обычно производится 4—5%-ным спиртовым (чаще всего этиловым) раствором азотной кислоты (ниталем) и 4—5%-ным спиртовым раствором пикриновой кислоты. Раствор пикриновой кислоты можно рекомендовать как менее агрессивный реактив, при котором поверхность шлифа окисляется меньше, а некоторые фазы (мартенсит, троостит, бейнит) окрашиваются в различные цвета. Реактив обеспечивает тонкий рисунок структуры, а также выявляет ликвационную неоднородность некоторых элементов (например, Р). Время травления от 5 до 20 с. Для выявления распределения Si в СЧ и ВЧШГ рекомендуется горячий щелочной раствор пикрата натрия [35]. Он интенсивно окрашивает обогащенный кремнистый Fe, причем кинетика окисления и толщина, а следовательно, и цвет образующейся пленки оксидов зависят от концентрации Si в твердом растворе. Необходимым условием ясного выявления химической неоднородности Si методом травления является однофазная структура матрицы (рис. 1.29, а). Реактив дает возможность отличить в структуре Ц и Fe, так как окрашивает Ц в темный цвет, в то время как Fe в течение длительного времени не окрашивается. В тройной фосфидной эвтектике реактив окрашивает фосфид и Ц в разные цвета (фосфид окрашивается раньше в темно-коричневый цвет, а Ц — позже в более светлые тона). В легированном чугуне по интенсивности окраски можно также отличить Ц от легированного карбида.

Для приготовления этого реактива 4—5 г пикриновой кислоты растворяют в горячем 25%-ном водном растворе едкого натра. Время травления—от 5 мин до 1 ч и больше в зависимости от содержания Si в металле. Травление проводится в водяной бане.

Реактив Мураками окрашивает фосфид в тройной ФЭ в темно-коричневый цвет, а Ц и Фе не окрашивает (рис. 1.22, а). При длительном травлении начинает окрашиваться и Ц, но в более светлые тона; Фе при этом окрашивается в голубой цвет. Реактив готовится путем растворения 10 г красной кровяной соли $K_3Fe(CN)_6$ и 10 г едкого калия в 80 см³ воды. Травление производится в нагретом до 40—50° С реактиве; время травления от нескольких секунд до 10 мин в зависимости от состава чугуна. Для выявления всех трех фаз ФЭ проводится двойное

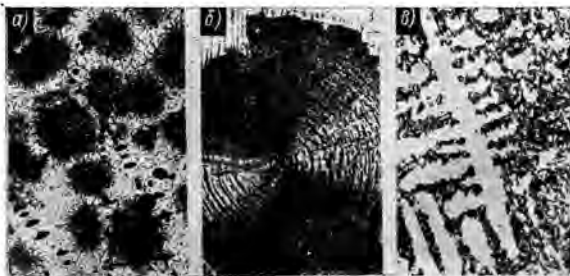


Рис. 1.29. Структуры чугуна, выявленные специальными методами: а — ликвация Si, травление пикратом натрия ($\times 100$); б — шаровидное включение графита, выявленное ионным травлением ($\times 1000$); в — узор на поверхности аустенитного чугуна, создаваемый при наложении магнитной пасты ($\times 200$)

травление: вначале травят реактивом Мураками, а затем раствором азотной или пикриновой кислоты, но можно и в обратном порядке.

Электролитическое травление используется для выявления структуры высоколегированных чугунов (хромистых, никелевых, аустенитных и др.). Для нелегированных или малолегированных чугунов электролитическое травление нецелесообразно, так как не имеет преимуществ перед химическим травлением.

Тепловое травление осуществляется путем предварительного травления хорошо отполированного шлифа 4—5%-ным раствором азотной или пикриновой кислоты с последующим нагревом шлифа, ориентированного полированной поверхностью вверх, в свинцовой ванне до 300—400° С или просто на электроплитке до появления на поверхности окисной пленки красно-фиолетового цвета. Охлаждение производится на металлической плите. При этом фосфид, цементит и феррит окрашиваются в различные цвета в зависимости от времени травления. В кремнистых чугунах цементит окрашивается, а карбид кремния остается светлым.

Ионное травление значительно расширяет возможности исследования структуры чугуна и, главным образом, тонкого строения включений графита. Поверхность образца, являющегося катодом, бомбардируется положительными ионами; в результате с траймой поверхности удаляются отдельные атомы, ионы или их комплексы. Это происходит прежде всего в участках, где атомы вещества имеют наименее прочную связь с кристаллической решеткой. Известно, что кристаллическая решетка графита обеспечивает значительную анизотропию его свойств по различным кристаллографическим направлениям. Под действием ионной бомбар-

дировки на поверхности шаровидных включений графита появляются концентрические или ломаные линии, а на пластинках графита — слонный рельеф. Направление линий показывает положение плоскости базиса графита (рис. 1.29, б).

Ионное травление проводится на установке УВР-2. Режим травления подбирается экспериментально. Оптимальные результаты получаются в течение 20—25 мин при напряжении между анодом и катодом 2,0—2,5 кВ и плотности разрядного тока 0,5—1,0 мА/см². Давление аргона в травильной камере 2×10^{-2} мм рт. ст. (2,67 Па).

Магнитно-металлографический метод применяется для выявления кристаллической и магнитной структуры по спонтанной намагниченности магнитных фаз, не прибегая к намагничиванию внешним магнитным полем. Магнитная металлография основана на проявлении поверхностных магнитных свойств металлов.

На тщательно отполированный шлиф (в случае образования поверхностного деформированного слоя — после снятия этого слоя электролитическим полированием) наносится тонким слоем магнитная активированная паста с помощью мягкого птичьего пера; через 20—30 с она смывается пузырьками специально приготовленной мыльной пены. В результате на поверхности шлифа остаются только частицы, оказавшиеся сцепленными с магнитными зарядами. Тонкий узор частиц рассматривается под микроскопом во влажном состоянии (рис. 1.29, в). Методика приготовления ферромагнитной пасты и мыльной пены описана в литературе [23].

Для выявления ливкаций фосфора и определения размера эвтектического зерна используются следующие реактивы: 1) 1 г хлористой меди, 4 г хлористого магния, 2 мл соляной кислоты, 100 мл этилового спирта; 2) 10 мл соляной кислоты, 20 г хлорного железа, 10 г хлорной меди, 100 мл этилового спирта; 3) 1 г хлорной меди, 1 г пикриновой кислоты, 2 мл соляной кислоты, 10 мл воды, 100 мл этилового спирта. Травление многократное, с переполнками. Пленка меди снимается тампоном, смоченным раствором аммиака.

Для выявления дендритной структуры и макронеоднородности используются насыщенный водный раствор пикриновой кислоты и 15—20%-ный водный раствор персульфата аммония. Для выявления скоплений S и P выполняют бромосеребряный отпечаток по Бауману с помощью бромосеребряной фотобумаги, пропитанной на свету в течение 8 мин 5%-ным водным раствором серной кислоты; пропитанную бумагу слегка просушивают между листами фильтровальной бумаги, плотно прижимают к поверхности шлифа и непрерывно в течение 3 мин протирают рукой или резиновым валиком для удаления из-под бумаги пузырьков воздуха. Сдвиг бумаги недопустим, так как он приведет к смазыванию отпечатка. Снятый отпечаток промывают в проточной воде, фиксируют и обрабатывают как обычную фотографию. Во время прижатия бумаги к шлифу в результате взаимодействия серной кислоты с сернистыми включениями и растворенным фосфором образуются сероводород и фосфористый водород. Эти газы взаимодействуют с бромистым серебром, образуя сульфид и фосфид серебра, окрашенные в коричневый цвет. Появление на бумаге коричневых пятен указывает на места скопления сульфидов и ливкацию фосфора.

5. КОНСТРУКЦИОННЫЕ ЧУГУНЫ

Для конструкционных чугунов (СЧ, ВЧШГ, ЧВГ, КЧ, низколегированный алюминиевый чугун) важными являются механические свойства, которые определяют их применение в разных областях машиностроения и металлургии. Вместе с тем, к ним часто предъявляются также требования по износостойкости, сопротивлению коррозии и другим физическим и химическим свойствам. Эти свойства в отливках в некоторых случаях (например, в производстве изложниц) обеспечиваются применением обычных нелегированных или низколегированных чугунов. Когда же требования по специальным свойствам являются доминирующими, необходимо применение средне- или высоколегированных чугунов. Кроме требований по механическим, физическим и химическим свойствам, ко всем литым сплавам предъявляются также требования по технологическим свойствам, главные из которых — литейные. Из конструкционных чугунов наилучшим

В этом отношении является серый чугун, что позволяет получать из него соответствующие отливки без прибылей или с малыми прибылями и с наибольшим выходом годного. Эти, а также другие его благоприятные особенности, в том числе простота технологии и дешевизна, являются причиной того, что серый чугун представляет собой наиболее распространенный литейный сплав. Факторами, которые влияют на свойства чугуна, являются: состав металла, жидкое состояние расплава, скорость охлаждения, термическая обработка (ТО) *.

Серый чугун

Структура серого чугуна, как и других сплавов, весьма разнообразна и является главным фактором, определяющим его свойства. При этом основное значение имеет либо графит, либо матрица, в зависимости от рассматриваемых свойств. Важнейший процесс, определяющий структуру СЧ, а значит, и его свойства, — это графитизация, от которой зависят не только количество и характер графита, но в значительной степени и структура матрицы. Сравнительная интенсивность влияния элементов на графитизацию характеризуется следующим их расположением [16, 39]:

+ Si, Al, C, Ti, Ni, Cu, P, Zr, [Nb], W, Mn, Cr, V, S, Mg, Ce, Te, B —.

Элементы, расположенные в этом ряду слева от Nb, являются графитизирующими, а справа — антиграфитизирующими. Однако в ряде случаев влияние элементов может резко различаться в разных температурных областях и зависит от их концентрации, как это примерно представлено в табл. 1.6.

Влияние элементов на графитизацию
в разных температурных областях

Таблица 1.6

Области	C, Si, Al ($< 4\%$ и при 18—24%), Ti ($< 0,1\%$)	Cr, V, Mn, Mo, W, H, N, S, Mg ($> 0,02\%$), Se, Sb, Te, Ti ($> 0,1\%$), Al (10—18%)	Ni, Cu, P, Co, Al (4—10%), Mg ($< 0,02\%$), Ce ($< 0,02\%$), Ca, Y	Zr, Nb, Ta, Sn, Pb, As, B
Заэвтектическая	+	—	+	0
Эвтектического пре- вращения	+	—	+	0
Аустенитная	+	—	+	0
Эвтектоидного пре- вращения	+	—	—	—
Ниже эвтектоидного превращения	+	—	—	—
Примечание. + положительное влияние, — отрицательное, 0 — слабое или отсутствие влияния.				

Общую количественную оценку влияния элементов можно получить из соответствующих констант графитизации K'_r и K''_r при эвтектическом и эвтектоидном превращениях [16]:

$$K'_r = C[Si - 0,2(Mn - 1,7S - 0,3) + 0,1P + 0,4Ni - 1,2Cr + 0,5Al + 0,2Cu + 0,4Ti - 0,4Mo - 2V - 8Mg];$$

* Влияние ТО на свойства чугуна и ее технология для всех чугунов, кроме ковкого, для которого этот процесс является обязательным, рассматриваются отдельно (см. главу VIII).

$$K'' = C [Si - 0,2 (Mn - 1,7S - 0,3) - 0,2P - 0,25Ni - 1,2 (Cr + Mo) - 0,8Cu - 4V - 8Sn].$$

Эти уравнения, количественно характеризующие влияние элементов, дают возможность определить необходимую компенсацию изменения графитизации при увеличении или уменьшении содержания тех или иных элементов путем соответствующего изменения содержания других для сохранения той или иной структуры чугуна. Степень графитизации чугуна (СГ) определяется согласно [16] уравнениями для I и II стадий графитизации:

$$СГ = \frac{C_{гр}}{C_{общ} - C_{п}}; \quad СГ = 2 - \frac{C_{св}}{C_{гр}},$$

где $C_{общ}$ — общее содержание углерода; $C_{гр}$ — количество графита; $C_{п}$ — содержание углерода в перлите; $C_{св}$ — количество связанного углерода.

По этим уравнениям СГ колеблется от 0 до 1 для I стадии и от 1 до 2 для II стадии.

Большое значение имеет также дисперсность структуры матрицы, на которую значительно влияет состав чугуна [65], как это видно из табл. 1.7. Однако еще большую роль в изменении дисперсности матрицы часто играют жидкое состояние расплава, модифицирование, скорость охлаждения и другие факторы.

Таблица 1.7

Влияние элементов на дисперсность матрицы чугуна

Изменяемые параметры	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	Ti	Mo	W	V
Размеры эвтекктических зерен	+	0	0	—	—	0	0	0	+	—	0	—	0
Размеры дендритов аустенита	—	—	0	0	0	0	0	—	0	0	+	+	+
Дисперсность перлита	—	—	+	0	0	+	+	+	—	+	+	+	+

Примечание.
+ укрупнение, — измельчение; 0 — отсутствие влияния.

Характеризуя структуру матрицы, следует также указать на фосфидную эвтектику, кристаллизующуюся в виде изолированных включений или сетки (см. рис. 1.21, 1.22, 1.23). Вследствие ликвации ФЭ появляется уже при концентрации фосфора, равной 0,1—0,2%, что значительно меньше предела растворимости в аустените [$P_A = (0,77 \div 0,135) C \%$]. При этом площадь, занимаемая ею в структуре, увеличивается при наличии элементов, растворяющихся преимущественно в цементите и фосфидах (Cr, Mo, Mn, V и т. п.), вследствие образования комплексных включений. Размер же включений ФЭ, определяемый по их площади, возрастает с увеличением концентрации C, P, Cr, Mo и уменьшается при повышении содержания Mn, S и скорости охлаждения отливки.

Общепризнано, что важнейшими элементами, определяющими структуру и свойства серого чугуна, являются углерод и кремний, всегда присутствующие в металле в том или ином количестве. Эти элементы определяют также положение чугуна по отношению к эвтектике, но в этом отношении влияние фосфора ана-

логично влиянию кремния, как это видно из следующих уравнений для углеродного эквивалента C_e и эвтектичности S_e (%):

$$C_e = C + 0,3 (Si + P);$$

$$S_e = C/[4,26 - 0,3 (Si + P)].$$

Приведенные уравнения характеризуют чугун как доэвтектический ($C_e < 4,26$, $S_e < 1$), эвтектический ($C_e = 4,26$, $S_e = 1$) и заэвтектический ($C_e > 4,26$, $S_e > 1$), что во многих случаях определяет важные свойства чугуна и еще раз подтверждает значения C и Si . Поэтому структурные диаграммы чаще

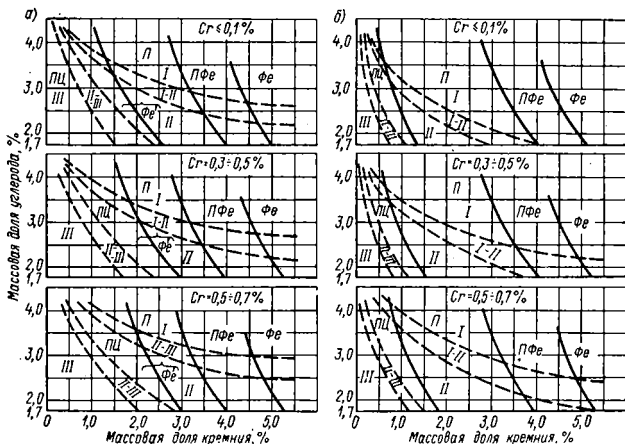


Рис. 1.30. Структурная диаграмма для чугуна при образце с приведенной толщиной $R_{пр} = 7,5$ мм:

а — обычный чугун; б — модифицированный чугун;

Сплошные линии — границы структурных областей матрицы: ПЦ — перлитно-цементитной; П — перлитной; ПФе — перлитно-ферритной; Фе — ферритной. Штриховые линии — границы областей графита: I — пластинчатый неориентированный; II — между дендритный; III — точечный; I-II и II-III — смешанный

всего строятся по этим элементам (рис. 1.30). Остальные элементы тоже влияют на структурообразование и, следовательно, на структурную диаграмму, перемещая границы областей влево при графитизирующем эффекте элементов и вправо при антиграфитизирующем*. Но при их сравнительно малых концентрациях это влияние незначительно, и поэтому практически можно пользоваться приведенными диаграммами**. Для ответственных отливок наилучшей структурой является чаще всего перлитная, сорбитная или трооститная матрица и мелкий равномерно распределенный пластинчатый графит.

Наряду с кремнием в последнее время большое значение придают алюминию как графитизирующему элементу, которым иногда частично или полностью заменяется кремний в сером чугуне. Это повышает свойства чугуна, особенно пластичность [6], что подробно рассматривается ниже (см. стр. 94).

* На рис. 1.30 это иллюстрируется влиянием Cr.

** В литературе приведено много других диаграмм, которые также могут быть использованы [16, 25, 39, 65].

Другим важным фактором, влияющим на структуру чугуна, является *жидкое состояние расплава*, которое определяется составом и природой шихтовых материалов (структурой графита, матрицы и других фаз, содержанием газов, неконтролируемых примесей, неметаллических включений и т. п.), условиями плавки и характером внепечной обработки (температурой перегрева, выдержкой, рафинированием, модифицированием и др.). При этом размер включений графита и степень графитизации увеличиваются, а количество междендритного графита (МГ) уменьшается с укрупнением графита в шихтовых материалах, уменьшением перегрева и особенно применением модифицирования. Таким образом, действие факторов жидкого состояния является сложным и часто может быть различным с точки зрения оптимизации структуры. Поэтому указание факторы необходимо сочетать в зависимости от всех условий производства. В связи с этим, повышая в определенных пределах перегрев и выдержку чугуна в печи, а также применяя модифицирование, можно получить те или иные результаты в зависимости от состава чугуна, наличия в нем зародышей графита и величины переохлаждения при кристаллизации. Чем меньше зародышей в жидком чугуне и чем больше его склонность к переохлаждению, тем эффективнее модифицирование, в отсутствие которого термовременная обработка может отрицательно повлиять на свойства чугуна.

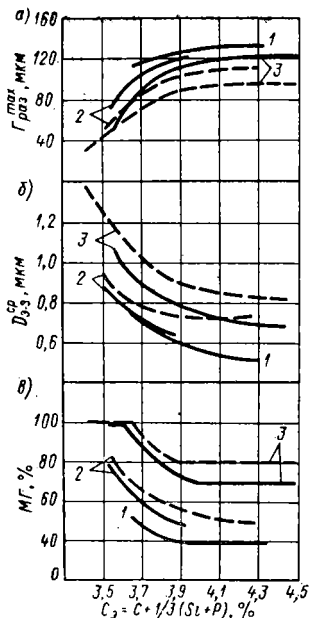


Рис. 1.31. Влияние состава (C_3) и условий плавки на структурные составляющие в отливках из серого чугуна: а — на максимальный размер графита ($\Gamma_{\max}$); б — на среднюю величину эвтектического зерна ($D_{\text{ср}}$); в — на количество междендритного графита (МГ).

Условия плавки:

1 — в вагранке; 2 — дуплекс-процесс; 3 — в дуговой электропечи;
 $t_{\text{пер}} = 1390^\circ \text{C}$; ---- — $t_{\text{пер}} = 1480^\circ \text{C}$

графит (рис. 1.32) и в связи с этим так называемая аномальная П—Ц—Фе-структура матрицы, что легко устраняется повышением содержания Си Si или, еще луч-

* На практике, кроме обычного отбела, иногда еще встречается аномальный отбел (не на поверхности стенки отливки, а в ее центре), образующийся вследствие ликвации элементов и других причин [16] и устраняемый теми же средствами: изменением состава чугуна, модифицированием, замедлением охлаждения и др.

ше, — модифицированием. При пользовании структурной диаграммой (см. рис. 1.30) влияние продолжительности кристаллизации $\tau_{кр}$ может быть учтено на основе уравнения (1.1), а влияние изменения приведенной толщины отливки $R_{пр}$ — на основе уравнения (1.2), по которым можно определить изменение содержания Si при изменении $\tau_{кр}$ или $R_{пр}$ [16]:

$$Si_{\tau'_{кр}} = Si_{\tau_{кр}} + \frac{1}{2} \lg \frac{\tau_{кр}}{\tau'_{кр}}; \quad (1.1)$$

$$Si_{R_{пр1}} = Si_{R_{пр2}} + \lg \frac{R_{пр2}}{R_{пр1}}, \quad (1.2)$$

где $\tau'_{кр}$ и $\tau_{кр}$ — продолжительность кристаллизации двух разных отливок; $Si_{R_{пр1}}$ и $Si_{R_{пр2}}$ — содержание Si (%) в отливках с приведенными толщинами $R_{пр1}$ и $R_{пр2}$.

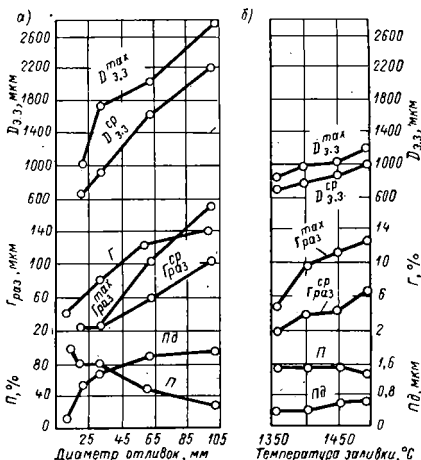


Рис. 1.32. Зависимость структуры серого чугуна: а — от толщины отливок; б — от температуры заливки;

P — площадь на шлифе, занятая перлитом; Pd — дисперсность перлита; Γ — площадь, занятая графитом

Значение поправки на содержание Si (ΔSi) в зависимости от $R_{пр}$ можно рассчитывать также графически по рис. 1.33. Кроме того, возможен и прямой расчет содержания C и Si в чугуне с учетом толщины стенок отливок при литье в песчаные формы по следующим уравнениям [16]:

для перлитно-цементитной структуры

$$C(Si + \lg R_{пр}) \leq 4,5;$$

для перлитно-графитной структуры

$$C(Si + \lg R_{пр}) = 4,5 \div 6,0;$$

для перлито-феррито-графитной структуры:

$$C(Si + \lg R_{np}) = 10 + 14;$$

для ферритной структуры:

$$C(Si + \lg R_{np}) \geq 14.$$

Наконец, следует отметить значение, которое в структурообразовании имеет модифицирование, обеспечивающее не только получение наилучшей структуры, но и одновременное повышение ее однородности по сечению (повышение квазиизотропии), позволяющее получить чугуны высших марок (подробнее см. гл. VIII). Принципиальное влияние модифицирования на структуру видно на диаграмме (рис. 1.30) при сопоставлении правой и левой частей. При этом области неориентированного графита расширяются за счет сужения областей точечного и междендритного графита, а перлитная область — за счет сужения перлито-цементитной.

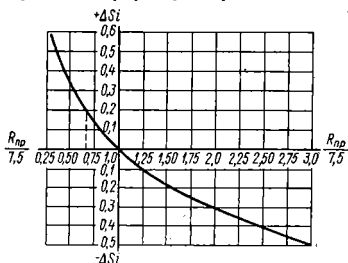


Рис. 1.33. График для определения поправки на содержание кремния (ΔSi) в зависимости от толщины стенок отливок при расчете состава по рис. 1.30

причем для чугуна марок СЧ 32-52 и выше (а также более низких марок при толщине > 50 мм) допускается вырезка образцов из специальных приливов, что должно быть предусмотрено ТУ. Для отливок толщиной ≥ 50 мм допускается также применение заготовок диаметром 50 мм.

Испытание на изгиб производят на образцах диаметром 30 мм, при расстоянии между опорами 300 или 600 мм (ГОСТ 2055—43). Технология изготовления образцов (ГОСТ 16818—71) представлена на рис. 1.34. Образцы для испытания на растяжение вытачивают из брусков, использованных для испытания на изгиб. Предел прочности на изгиб (кгс/мм^2) определяется по формуле

$$\sigma_{\text{и}} = \frac{Pl}{4W},$$

где P — разрушающая нагрузка, кгс ; l — расстояние между опорами, мм ; W — момент сопротивления образца, мм^3 .

Как видно из табл. 1.8, f_{600} больше f_{300} примерно в три раза. Однако следует иметь в виду, что общий прогиб (мм) не полностью характеризует пластичность чугуна, так как он состоит из пластической и упругой частей и, следовательно,

$$f_{\text{пл}} = f - f_{\text{упр}} = f - \frac{Wl}{12I} \frac{\sigma_{\text{и}}}{E},$$

где I — момент инерции образца, мм^4 .

* В США, ФРГ, Японии и других странах марки СЧ определяют только по $\sigma_{\text{в}}$. Стандарт США содержит девять марок со значениями $\sigma_{\text{в}}$ от 14 до 42 кгс/мм^2 ; ФРГ — семь марок с $\sigma_{\text{в}}$ от 10 до 40 кгс/мм^2 ; Япония — шесть марок с $\sigma_{\text{в}}$ от 10 до 35 кгс/мм^2 .

Кроме требований, обусловленных ГОСТ 1412—70, к чугунным отливкам часто предъявляются и другие требования по механическим свойствам в зависимости от условий их работы (табл. 1.9). Эти свойства находятся в зависимости от структуры чугуна: чем меньше графита, мельче и благоприятней по расположению его включения, дисперснее перлит, мельче эвтектическое зерно и разветвленное предэвтектический аустенит, тем выше указанные свойства. Но необходимо иметь в виду, что σ_B , σ_H , τ_{-1} , τ_B , f , Φ зависят как от графита, так и от матрицы, E — главным образом от графита, а HB — почти полностью от структуры матрицы:

Матрица	Фе	Фе—П	П	Сорбит
НВ . . .	110—140	140—200	200—260	240—300
Матрица	Троостит	Б	М	А
НВ . . .	280—320	300—350	350—550	140—160
Матрица		М—Ц	П—Ц	
НВ		550—750	380—500	

При этом HB возрастает с повышением дисперсности структуры и легированности Φ и A . Значительное влияние в этом отношении оказывают также включения $\Phi\Xi$, характеризующиеся HB 300—400, а при сочетании $\Phi\Xi$ с Ц — HB 500—700*.

Важнейшими элементами, определяющими механические свойства серого чугуна, являются те же, что определяют его структуру, и поэтому диаграммы механических свойств строятся обычно также в зависимости от содержания C и Si [16, 25, 39]. На рис. 1.35 [16] приведена одна из таких диаграмм, в которой механические свойства чугуна даны в зависимости от содержания не только C и Si , но и Cr , а также от модифицирования, что дает возможность выбрать состав чугуна в разных условиях**. Упрощенно некоторые механические свойства представляют как монотонную функцию S_g (рис. 1.36) [65]. Известны также многие аналитические зависимости такого рода для стандартного ($D = 30$ мм) бруска:

$$\sigma_B = 72,65 - 50,6S_g \pm 2,79 \text{ или } \sigma_B = 102 - 82,5S_g;$$

$$HB = 387,5 - 189,69S_g \pm 15,7 \text{ или } HB = 538 - 355S_g.$$

Большим преимуществом серого чугуна, кроме высокого значения Φ , является его малая чувствительность к надрезам, что характеризует его высокие качества как конструкционного материала и иллюстрируется следующими данными в отношении усталостной прочности при вибрации (σ_{-1}) в зависимости от σ_B [65], кгс/мм² (10^7 Па):

σ_B		14	17,5	21	25,5	30
σ_{-1} без надреза		6,5	8,4	10,5	14	16,3
σ_{-1} с надрезом		6,5	8,0	9,5	12	13

* Микротвердость цементита равна 800—1100.

** Благоприятно влияют и другие легирующие элементы (Ni , Si и др.). Большой интерес представляет, как показали в последнее время Л. И. Леви, С. А. Григорян и др., легирование азотом, для чего в качестве присадок используются специальные сплавы, богатые азотом. Кроме того, при этом полезно одновременно присаживать около 0,05% V во избежание образования феррита или 0,03—0,05% V с 0,05—0,15% Ti для предупреждения образования газовых раковин. Заслуживает внимания также способ повышения однородности структуры путем покраски толстостенных частей отливок в форме азотной краской (меламином).

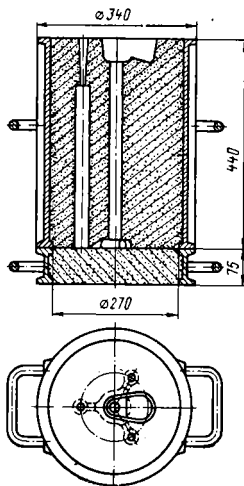


Рис. 1.34. Технология изготовления образцов для испытания на изгиб

Механические свойства и рекомендуемые составы серого чугуна (ГОСТ 1412—70)

Марка чугуна	Стрела прогиба, мм (не менее)		Твердость HB	Массовая доля элементов, %				
	f ₆₀₀	f ₃₀₀		C	Si	Mn	P	S
							не более	
СЧ 00	—	—	—	—	—	—	—	—
СЧ 12-28	6,0	2,0	143—229	—	—	—	—	—
СЧ 15-32	8,0	2,5	163—229	3,5—3,7	2,0—2,4	0,5—0,8	0,3	0,15
СЧ 18-36			170—229	3,4—3,6	1,7—2,1	0,5—0,7		
СЧ 21-40	9,0	3,0	170—241	3,3—3,5	1,4—1,7	0,6—0,9	0,3	0,12
СЧ 24-44			170—241	3,2—3,4	1,4—1,7	0,6—0,9		
СЧ 28-48			170—241	3,1—3,4	1,2—1,5	0,6—0,9		
СЧ 32-52			187—255	3,0—3,2	1,0—1,3	0,7—1,0		
СЧ 36-56			197—269	2,9—3,0	1,0—1,1	1,0—1,1		
СЧ 40-60	10	3,5	207—269	2,5—2,7	2,5—2,9	0,2—0,4	0,02	0,02
СЧ 44-64			229—289					

Примечания:
1. В обозначениях марок первое число — σ_B , второе — σ_H . Соотношение между величинами σ_H и σ_B тем меньше, чем выше прочность чугуна, и составляет: 2,2—2,4 для чугунов низких по прочности марок (до СЧ 15-32); 2,0—2,2 для чугунов средних марок (до СЧ 21-40); 1,6—1,8 для чугунов повышенных марок (до СЧ 28-48) и 1,5—1,7 для чугунов высоких марок (до СЧ 44-64).
2. Для чугунов марок СЧ 28-48 и выше дано содержание Si после введения модификатора.
3. Разрабатывается новый ГОСТ, соответствующий СЭВ РС 47—73 (СЧ 10, СЧ 15, СЧ 20, СЧ 25, СЧ 30, СЧ 35, СЧ 40, СЧ 45).

Показателем качества (ПК) отливок из серого чугуна может быть [38] соотношение между относительной прочностью (ОП) и относительной твердостью (ОТ):

$$ПК = \frac{ОП}{ОТ} = \frac{\sigma_B}{102 - 82,5S_g} \cdot \frac{HB}{538 - 355S_g} = \frac{\sigma_B}{HB} \cdot \frac{538 - 355S_g}{102 - 82,5S_g}$$

Усматривается, что чем больше ОП и меньше ОТ, тем выше качество чугуна. Относительное влияние основных легирующих элементов на изменение σ_B представлено на рис. 1.37 [65]. Наиболее эффективным является воздействие Сг, Мо, V. Однако содержание этих элементов в большинстве случаев ограничивается 0,3—0,6% вследствие опасности появления отбела, и поэтому σ_B повышается обычно только на 20—30%. Наиболее эффективным является одновременное легирование такими элементами, которые влияют на графитизацию в противоположных направлениях, например Сг и Ni. Соотношение содержания этих элементов для тонкостенных отливок рекомендуется обычно 1 : 3, для толсто-стенных — 3 : 1.

Кроме состава чугуна, на его механические свойства, как и на структуру, большое влияние оказывают факторы жидкого состояния, зависящие от метода плавки, температуры перегрева, природы шихтовых материалов, в частности

Механические свойства серого чугуна, не предусмотренные ГОСТ 1412—70

Марка чугуна	При растяжении			При сжатии			
	E , кгс/мм ²	δ , %	σ_{1p} , кгс/мм ²	σ_c , кгс/мм ²	E_c , кгс/мм ²	μ_P	ψ , %
От СЧ 12-28 до СЧ 18-36	6 000—8 000	0,2—1,0	5—7	50—80	6 500—9 000	0,28—0,29	20—40
» СЧ 21-40 » СЧ 28-48	8 500—12 000	0,4—0,7	9—11	85—95	9 300—12 500	0,28—0,29	20—30
СЧ 32-52 и СЧ 36-56	13 000—14 500	0,6—0,9	12—14	110—120	14 000—15 500	0,28—0,29	10—20
СЧ 40-60 » СЧ 44-64	16 000—17 500	0,6—1,1	15—17	120—140	17 500—19 000	0,28—0,29	10—20

Марка чугуна	При сжатии	При изгибе	При кручении		При срезе		При вибрации Φ , %, при нагрузке, равной $1/3 \sigma_{0.2}$
	σ_{-1} , кгс/мм ²	a_H , кгс·м/см ²	τ_B , кгс/мм ²	τ_{-1} , кгс/мм ²	$\tau_{B, cp}$, кгс/мм ²	G , кгс/мм ²	
От СЧ 12-28 до СЧ 18-36	7—9	0,4—0,7	24—32	6—8	15—22	4 000—4 400	30—32
» СЧ 21-40 » СЧ 28-48	12—14	0,8—1,0	28—35	10—12	25—35	4 500—5 200	25—30
СЧ 32-52 и СЧ 36-56	15—17	0,8—0,9	38—40	10—14	36—40	5 600—6 400	20—25
СЧ 40-60 » СЧ 44-64	18—20	0,8—0,9	45—48	12—14	44—48	7 000—7 500	18—22

Примечания:

1. Условный предел текучести может быть принят $\sigma_{0.2} = (0,75 \div 0,85) \sigma_B$ кгс/мм².
2. Φ — циклическая вязкость, характеризующая скорость затухания вибрации, а значит, чувствительность к надразам и другие свойства, например термостойкость.
3. Удлинение δ здесь, как и для других чугунов, рассчитывается обычно на пятикратное по отношению к диаметру расстояние и часто обозначается δ_5 .

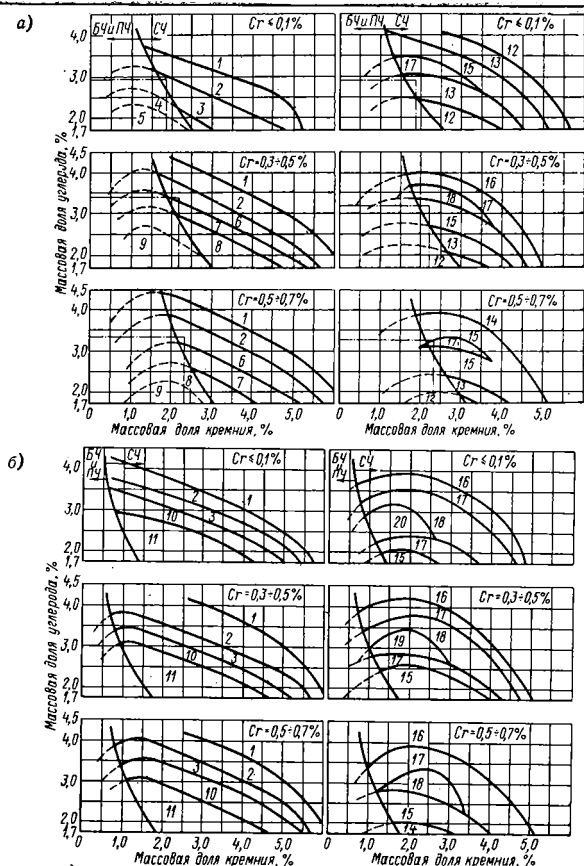


Рис. 1.35. Диаграммы механических свойств серого чугуна: а — немодифицированного; б — модифицированного:

1 — $\sigma_H \leq 24 \text{ кгс/мм}^2$, $\sigma_B \leq 10 \text{ кгс/мм}^2$; 2 — $\sigma_H = 25 \div 36 \text{ кгс/мм}^2$, $\sigma_B = 10 \div 18 \text{ кгс/мм}^2$; 3 — $\sigma_H = 37 \div 44 \text{ кгс/мм}^2$, $\sigma_B = 19 \div 24 \text{ кгс/мм}^2$; 4 — $\sigma_H = 45 \div 50 \text{ кгс/мм}^2$; 5 — $\sigma_H \geq 50 \text{ кгс/мм}^2$; 6 — $\sigma_H = 37 \div 40 \text{ кгс/мм}^2$, $\sigma_B = 19 \div 21 \text{ кгс/мм}^2$; 7 — $\sigma_H = 41 \div 44 \text{ кгс/мм}^2$, $\sigma_B = 22 \div 25 \text{ кгс/мм}^2$; 8 — $\sigma_H = 45 \div 52 \text{ кгс/мм}^2$, $\sigma_B = 26 \div 30 \text{ кгс/мм}^2$; 9 — $\sigma_H \geq 52 \text{ кгс/мм}^2$; 10 — $\sigma_H = 45 \div 56 \text{ кгс/мм}^2$; $\sigma_B = 25 \div 35 \text{ кгс/мм}^2$; 11 — $\sigma_H = 56 \div 65 \text{ кгс/мм}^2$, $\sigma_B = 35 \div 42 \text{ кгс/мм}^2$; 12 — $f < 2,0 \text{ мм}$; 13 — $f = 2 \div 2,5 \text{ мм}$; 14 — $f < 2,5 \text{ мм}$; 15 — $f = 2,5 \div 3,0 \text{ мм}$; 16 — $f < 3,0 \text{ мм}$; 17 — $f = 3,0 \div 3,5 \text{ мм}$; 18 — $f = 3,5 \div 4,0 \text{ мм}$; 19 — $f = 4,0 \div 5,0 \text{ мм}$; 20 — $f = 4,5 \div 5,5 \text{ мм}$

Зависимость σ_B , σ_H и HV серого чугуна от толщины стенок отливок
(по данным ЦНИИТмаша, приложение-1 к ГОСТ 1412—70)

Марка чугуна	Толщина стенок отливок, мм							
	10		20		30		40	
	$\sigma_B - \sigma_H$	HV	$\sigma_B - \sigma_H$	HV	$\sigma_B - \sigma_H$	HV	$\sigma_B - \sigma_H$	HV
СЧ 15-32	22—52	207—250	19—46	190—217	15—32	163—229	14—32	146—190
СЧ 18-36	26—55	207—248	23—49	194—228	18—36	191—212	16—35	183—188
СЧ 21-40	28—59	255	25—52	234	21—40	207—235	19—39	197—212
СЧ 24-44	32—61	269	28—55	248	24—44	241	22—44	197—228
СЧ 28-48	Отбел		32—58	269	28—48	269	27—48	248
СЧ 32-52	»		34—60	—	32—52	—	30—52	—
СЧ 36-56	»		Отбел		36—56	—	32—54	—

Марка чугуна	Толщина стенок отливок, мм									
	50		60		70		80		100	
	$\sigma_B - \sigma_H$	HV	$\sigma_B - \sigma_H$	HV	$\sigma_B - \sigma_H$	HV	$\sigma_B - \sigma_H$	HV	$\sigma_B - \sigma_H$	HV
СЧ 15-32	12—28	—	11—26	130—180	10—23	120—170	9—22	110—160	7—20	—
СЧ 18-36	14—32	—	13—28	156—183	12—26	—	11—24	—	9—22	—
СЧ 21-40	17—35	—	16—33	176—207	15—30	—	13—28	—	11—24	—
СЧ 24-44	20—40	—	19—37	—	18—34	—	17—32	—	15—30	—
СЧ 28-48	24—44	—	23—41	—	21—39	—	20—37	—	18—33	—
СЧ 32-52	28—48	—	26—46	—	24—43	—	22—41	—	20—38	—
СЧ 36-56	29—50	—	28—47	—	26—44	—	24—42	—	20—38	—

количества стального лома в шихте * (рис. 1.38) [13]. При этом качество чугуна возрастает с уменьшением количества и размера включений графита, газосодержания, примесей (As, Sb, Pb, Sn, Ti, Bi, V) и неметаллических включений в шихтовых материалах. Известно также, что наиболее высокие механические свойства

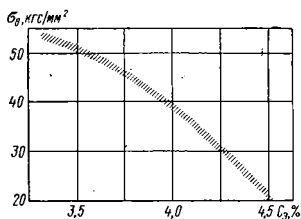


Рис. 1.36. Зависимость прочности от углеродного эквивалента чугуна

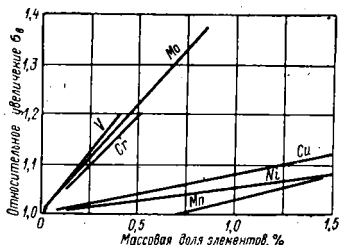


Рис. 1.37. Относительное влияние легирующих элементов на прочность серого чугуна

серого чугуна могут быть получены при плавке в электрических печах или при дулекс-процессе с проведением оптимальной термовременной обработки [17]. Из методов внепечной обработки наиболее эффективными являются модифицирование (см. рис. 1.35) и ковшовое легирование [56], что рассматривается в гл. III.

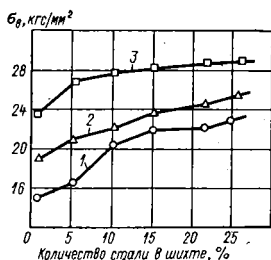


Рис. 1.38. Влияние количества стального лома в шихте и типа плавильной печи на прочность серого чугуна:

1 — при плавке в вагранке; 2 — при дулекс-процессе; 3 — при плавке в электропечи

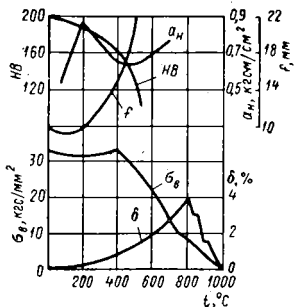


Рис. 1.39. Механические свойства серого чугуна при повышенных температурах

Большое влияние на механические и другие свойства отливок имеет скорость охлаждения, а значит, и толщина стенок отливок. Поэтому при оценке прочности отливок часто приходится изготовлять разные заготовки соответственно толщине

* Благоприятное влияние стального лома в шихте даже при одном и том же составе чугуна уже давно было отмечено Г. И. Кледкиным. Эта идея в последнее время привела к получению слякотического чугуна (см. п. 7 данной главы).

Таблица 1.11

**Состав чугуна в зависимости от толщины стенок отливок,
принятый в ПНР**

Требуемая прочность σ_B , кгс/мм ² (10 ⁷ Па)	Толщина отливки, мм	Массовая доля элементов, %					
		C	Si	Mn	P	S	Cr
					не более		
15	≤10	3,2—3,8	2,4—2,7	0,5—0,8	0,65	0,15	—
	10—20	3,2—3,8	2,3—2,6		0,65	0,15	—
	20—30	3,1—3,6	2,2—2,5		0,65	0,14	—
	>30	3,0—3,5	2,1—2,4		0,50	0,13	—
20	≤20	3,2—3,5	2,0—2,3	0,5—0,8	0,65	0,14	—
	20—30	3,1—3,4	1,9—2,2	0,5—0,8	0,65	0,14	—
	30—40	3,1—3,3	1,8—2,1	0,6—0,9	0,40	0,17	≤0,15
	>40	3,0—3,3	1,6—2,0	0,7—1,0	0,30	0,17	≤0,20
25	≤20	3,0—3,4	1,7—2,1	0,7—1,1	0,30	0,12	≤0,3
	20—30	2,9—3,3	1,4—1,9	0,7—1,2	0,25		≤0,4
	30—40	2,9—3,2	1,7—1,6	0,8—1,5	0,20		≤0,5
	>40	2,8—3,2	1,0—1,6	0,9—1,5	0,20		≤0,5
30	20—30	2,8—3,2	1,4—1,8	1,0—1,4	0,35	0,12	0,2—0,3
	30—40	2,8—3,1	1,3—1,7	1,1—1,5	0,30		0,2—0,4
	>40	2,8—3,1	1,0—1,6	1,1—1,5	0,25		0,3—0,5
35	25—30	2,8—3,1	1,3—1,7	1,0—1,4	0,30	0,12	0,2—0,3
	30—40	2,7—3,0	1,2—1,6	1,1—1,5	0,25		0,3—0,4
	>40	2,7—3,0	0,9—1,6	1,1—1,5	0,20		0,4—0,5
40	30—40	2,7—3,1	1,0—1,6	1,1—1,5	0,25	0,12	0,3—0,4
	>40	2,7—3,0	0,8—1,5		0,20		0,4—0,5

отливок и из них вырезать образцы для испытаний с тем большим диаметром, чем толще отливка:

Толщина отливки, мм	До 15	15—30	20—50	50—70
Диаметр заготовки, мм	20	30	40	50
Диаметр образцов, мм	10	15	20	25

При еще большей толщине отливок следует выполнять заготовки для образцов в виде приливов к соответствующим сечениям отливок, что должно быть предусмотрено ТУ. Чтобы оценить прочность и твердость металла отливки при разных марках чугуна, можно пользоваться табл. 1.10; если же необходимо в отливке обеспечить определенную прочность, то нужно подобрать состав чугуна тем более жесткий, чем толще отливка (табл. 1.11) [64].

Изменение температуры различно влияет на механические свойства серого чугуна (рис. 1.39). Прочность (σ_B) начинает заметно понижаться при 350—400° С как при кратковременных, так и при длительных нагрузках. Аналогично изменяется твердость HB, причем уже начиная с нормальной температуры. Пластичность δ , наоборот, сначала повышается, достигает максимума при

800° С [39], но потом начинает резко снижаться, практически до нуля при температурах, близких к солидусу, вызывая опасность образования горячих трещин. Однако характер этих изменений, особенно прочности, зависит от состава чугуна, главным образом от содержания Сг, Ni, Мо [16], которые оказывают положительное влияние, как и при нормальной температуре. При пониженных температурах свойства СЧ изменяются в значительно меньшей степени, причем при перлитной структуре прочность несколько понижается, а при ферритной — повышается; *HВ* несколько возрастает, а пластичность и ударная вязкость сильно снижаются.

Физические свойства серого чугуна (плотность, тепловые и электромагнитные свойства) приведены в табл. 1.12. Они тоже зависят от состава и структуры, а значит, и от марки чугуна. Плотность отдельных структурных составляющих приводится ниже (г/см³):

Fe	П	Ц	Г	ФЭ	А	М	MnS
7,87	7,78	7,67	2,2	7,32	7,84	7,63	4

На основе этих данных можно рассчитывать плотность чугуна по формуле

$$\gamma = 100 / \left[\frac{100 - 15C_{св} - C_{г} - 2,7S - 14,5(P - 0,1) - Po}{7,87 - 0,05Si - 0,065Al} + \frac{15C_{св}}{7,67} + \frac{C_{г}}{2,2} + \frac{2,7S}{4} + \frac{14,5(P - 0,1)}{7,32} \right],$$

где С, S, Р — массовые доли элементов, %; С_г — массовая доля графита, %; Po — объем пористости; 15 С_{св}, 2,7S, 14,5 (Р — 0,1) — количество карбидов, сульфидов Mn и ФЭ; 7,87; 7,67; 2,2; 4; 7,32 — плотности соответствующих структурных фаз.

Как видно из табл. 1.12, плотность серого чугуна возрастает с повышением его марки от 6,8 до 7,5 г/см³, так как при этом обычно уменьшается содержание углерода и графита. Точно так же на плотность влияют уменьшение толщины отливков, улучшение питания и уменьшение податливости формы при затвердевании. В жидком состоянии можно принять $\gamma = 6,7 \div 7,1$ г/см³.

Таблица 1.12

Физические свойства серого чугуна

Марка чугуна	γ_{20} , г/см ³	$\alpha_{20}^{100} \cdot 10^6$, 1/°C	λ_{20}^{100} , кал/(см·с·°C)	ϵ_{20}^{1000} , кал/(г·°C)
От СЧ 12-28 до СЧ 18-36	6,8—7,2	10—11	0,11—0,13	0,12—0,13
» СЧ 21-40 » СЧ 28-48	7,0—7,3	10—11	0,10—0,12	0,12—0,13
СЧ 32-52 и СЧ 36-56	7,2—7,4	10—11,5	0,10—0,12	0,12—0,13
СЧ 40-60 » СЧ 44-64	7,3—7,5	11,5—12	0,09—0,11	0,12—0,13

Марка чугуна	ϵ_{20}^{1000} , кал/(г·°C)	ρ_{20} , мкОм·см	$\mu_{\max}$, Гс/Э	B_r , Гс	H_c , Э
От СЧ 12-28 до СЧ 18-36	0,14—0,15	45—85	450—1000	4000—5000	5—10
» СЧ 21-40 » СЧ 28-48	0,14—0,15	65—105	350—600	4000—5000	5—10
СЧ 32-52 и СЧ 36-56	0,15—0,16	80—120	250—450	5000—6000	10—13
СЧ 40-60 » СЧ 44-64	0,15—0,16	80—120	250—450	5500—7000	10—13

Тепловые свойства серого чугуна — коэффициент линейного расширения (α), теплоемкость (c) и теплопроводность (λ) — также зависят от состава и структуры чугуна, но главным влияющим фактором является температура, с повышением которой c и α увеличиваются, а λ понижается (табл. I.13).

На c и α влияет, главным образом, состав чугуна, а на λ — степень графитизации, дисперсность структуры, неметаллические включения и т. п., хотя и в этом случае нельзя не учитывать роли состава. Элементы, увеличивающие степень графитизации и размер графита, повышают, а элементы, препятствующие графитизации и увеличивающие дисперсность П, — понижают λ [16]. Следует подчеркнуть, что сама по себе теплопроводность жидкого чугуна значительно меньше, чем твердого, но благодаря конвекции она резко увеличивается и превышает теплопроводность твердого чугуна. Теплота плавления серого чугуна возрастает по мере увеличения количества графита и равна 58—78 кал/г (240—325 Дж/г).

Электрические и магнитные свойства серого чугуна также определяются его составом и структурой. Так, электросопротивление ρ , составляющее 50—110 мкОм·см*, приближенно может быть рассчитано по уравнению [16]:

$$\rho = 10,4 + 14,4C_r + 3,2C_{sv} + (10,3 \div 15,7) Si + (5 \div 7,2) Mn + 11P.$$

Значение ρ , следовательно, возрастает главным образом с увеличением содержания С и Si, количества графита и с укрупнением последнего. В том же направлении действует Р и (в меньшей степени) Мп.

Магнитные свойства серого чугуна зависят, главным образом, от структуры матрицы (табл. I.14).

Химические свойства (сопротивление коррозии и жаростойкость) зависят как от состава и структуры чугуна, так и от внешних факторов — состава и температуры среды. По ГОСТ 2176—57 различают классы стойкости в сильно- и среднеагрессивных средах (табл. I.15).

По сопротивлению коррозии в различных средах серый чугун может быть отнесен к различным классам стойкости, как это видно из данных табл. I.16 [10, 61].

Коррозионная стойкость серого чугуна повышается по мере измельчения графита и уменьшения его количества, при однофазной структуре матрицы (например, Фе), а также при уменьшении содержания Si, S и P. Для повышения стойкости целесообразно применять модифицированный СЧ, а также легированный Си (до 1,4%), Ni (до 3%), Cr (до 1,0%) и другими элементами. Так, для работы в щелочной среде рекомендуются чугуны, содержащие 0,8—1,0% Ni и 0,6—0,8% Cr или 0,35—0,5% Ni и 0,4—0,6% Cr. Однако при воздействии на металл сильных реагентов следует применять высоколегированные чугуны.

Жаростойкость характеризует работоспособность чугуна при повышенных и высоких температурах в условиях действия малых нагрузок, когда главной причиной разрушения отливок является образование окалны или трещин. В первом случае имеет место необратимое увеличение размеров отливок, которое принято называть ростом. По ГОСТ 7769—63 жаростойкость оценивается по окалинстойкости и ростостойкости, а согласно [16] еще и по термостойкости. Классификация чугуна по жаростойкости представлена в табл. I.17.

* Меньшее значение ρ соответствует чугунам низких марок (СЧ 12-28 и СЧ 15-32) или ферритной структуре, больши́е — маркам СЧ 21-40—СЧ 28-48 при перлитной структуре и высоком содержании С и Si. При низком содержании С, Si и Р в чугунах более высоких марок (СЧ 32-52—СЧ 44-64) ρ может иметь среднее значение.

Таблица I.13

Изменение теплофизических свойств чугуна в зависимости от температуры

Температура, °С	$\alpha \cdot 10^6$, $1/^\circ\text{C}$	c , кал/(г·°С)	λ , кал/(см·с·°С)
60	10,0	0,12	0,13
160	11,0	0,125	0,12
260	13,1	0,132	0,115
360	13,7	0,140	0,11
510	15,9	0,148	—

Таблица 1.14

Влияние структуры матрицы чугуна на его магнитные свойства

Структура матрицы	Магнитная проницаемость μ_{max} , Гс/Э	Коэрцитивная сила H_c , Э	Остаточное намагничивание B_r , Гс	Насыщение $4\pi/\mu_{\text{max}}$, Гс	Гистерезис W_h , эрг/см ³ (за 1 цикл)
Перлитная	200—450	7—13	4000—7000	17 500	30 000
Ферритная	600—1500	2,5—5	3000—5500	18 000	7000—15 000

Таблица 1.15

Классы стойкости металлов

Класс	Характеристика стойкости	Потери металла при коррозии	
		г/(м ² ·ч)	мм/год
1	Вполне стойкие	<0,1	<0,12
2	Достаточно стойкие	0,1—1,0	0,12—1,2
3	Относительно стойкие	1,0—3,0	1,2—3,6
4	Малостойкие	3,0—10,0	3,6—12,0
5	Нестойкие	>10,0	>12,0

Таблица 1.16

Коррозионная стойкость серого чугуна в разных средах

Внешняя среда	Потери металла при коррозии
Атмосфера чистая	0,025 мм/год
Атмосфера загрязненная (городская)	0,125 мм/год
Атмосфера, обогащенная SO ₂	0,30—0,79 мм/год
Вода морская, спокойная	≤0,125 мм/год
Вода морская (скорость течения 6—10 м/с)	0,75—1,25 мм/год
Почва ($\rho = 200 \div 1000$ Ом·см)	0,13—0,06 мм/год
Почва ($\rho = 1000 \div 2000$ Ом·см)	0,06—0,03 мм/год
Кислота серная (3%-ная, $t = 25^\circ\text{C}$)	39,7 г/(м ² ·ч)
Кислота серная (5%-ная, $t = 50^\circ\text{C}$)	935 г/(м ² ·ч)
Кислота уксусная (5%-ная, $t = 20^\circ\text{C}$)	1,8 г/(м ² ·ч)
Кислота соляная (1%-ная, $t = 20^\circ\text{C}$)	23,3 г/(м ² ·ч)
Сульфат аммония (10%-ный раствор, $t = 20^\circ\text{C}$)	0,5 г/(м ² ·ч)
Сода (10%-ный раствор, $t = 50^\circ\text{C}$)	0,015 г/(м ² ·ч)
Сода (расплав, $t = 500^\circ\text{C}$)	0,85—5,2 г/(м ² ·ч)
Соль NaCl (3%-ный раствор, $t = 15^\circ\text{C}$)	0,07 г/(м ² ·ч)

Измельчение и уменьшение количества графита и размера эвтектического зерна, замена перлита ферритом в структуре повышают окалиностойкость и ростоустойчивость серого чугуна. Из этого следует, что повышению последних способствуют уменьшение содержания С и Si, замена обычного чугуна модифицированным и низкое легирование Cr, Ni и другими элементами. В воздухе СЧ сохраняет повышенную стойкость при температурах до 450—500°С, а в атмосфере

Классы и условная характеристика жаростойкости СЧ *

Класс	Характеристика стойкости	Критерий окислительной стойкости	Критерий ростоустойчивости	
			по данным ЛПИ	по данным ЦНИИТмаша
		Увеличение массы, г/(м ² ·ч)	уменьшение плотности после выдержки 100 ч, %	увеличение длины образца (D = 30 мм, l = 150 мм) после выдержки 150 ч, %
1	Высокая	<0,1	<1	<0,05
2	Повышенная	0,1—1	1—3	0,05—0,15
3	Средняя	1—3	3—5	0,15—0,5
4	Пониженная	3—10	5—10	0,5—1,5
5	Малая	>10	>10	>1,5

* Величины стойкости даны условно вне зависимости от определяющих ее факторов (состава чугуна и газовой фазы, температуры и пр.). Методы определения жаростойкости (образцы, аппаратура, проведение испытаний и обработка результатов) обусловлены ГОСТ 6130—71.

печных газов — лишь до 350° С. При более высоких температурах следует применять специальные легированные чугуны.

Термостойкость определяется механическими свойствами (E , σ_b , δ), теплопроводностью ($\alpha = \lambda/(c\gamma)$) и коэффициентом расширения α . Чем больше α , δ и σ_b , меньше E и α , тем выше термостойкость чугуна. Поэтому СЧ по термостойкости значительно уступает КЧ и ВЧШГ.

Технологические свойства серого чугуна (свариваемость и обрабатываемость) также определяются его составом и структурой. Свариваемость серого чугуна значительно хуже, чем углеродистой стали, так как при обычных режимах сварки возникает переходная зона, отличающаяся высокой хрупкостью, что может привести к образованию трещин. Поэтому газовая и электродуговая сварка СЧ, как и заварка дефектов на отливках, может производиться только по особой технологии (см. гл. IX).

Обрабатываемость серого чугуна связана с его твердостью $HВ$ обратной зависимостью. Наличие графита полезно, так как в его присутствии стружка получается крошащейся и давление на резец уменьшается. Влияние формы графита незначительно. Обрабатываемость оценивается стойкостью режущего инструмента, допустимыми скоростями резания, чистотой обработанной поверхности и т. п. Она улучшается по мере увеличения количества Fe в структуре, а также по мере повышения однородности структуры, т. е. при отсутствии в ней включений (FeS , карбидов), обладающих повышенной $HВ$. Оценку обрабатываемости часто производят по экономической скорости резания ($v_{ЭК}$), определяющей допустимую скорость обработки при обеспечении определенной стойкости резца. Скорость $v_{ЭК}$ зависит от режима обработки и твердости чугуна, причем с повышением твердости она, естественно, уменьшается (условно принято, что $v_{ЭК}=1,0$ при $HВ 140$):

$HВ$	140	160	180	200
$v_{ЭК}$	1,0	0,8	0,65	0,55

Однако следует указать, что повышение $v_{ЭК}$ при уменьшении $HВ$ и в особенности при увеличении размеров графита приводит к увеличению шероховатости обработанной поверхности. Поэтому нередко бывает целесообразно, несмотря на некоторое понижение $v_{ЭК}$, повышать $HВ$ отливок, в частности за счет леги-

Химический состав и условия применения анти

Марка чугуна	Массовая доля элемента, %						Пре ре
	C	Si	Mn	P	S, не более	Прочие элементы	P, кгс/см ²
АЧС-1	3,2—3,6	1,3—2,0	0,6—1,2	0,15— 0,30	0,12	Cr 0,2—0,4 Cu 1,5—2,0	20 90
АЧС-2	3,2—3,8	1,4—2,2	0,4—0,7	0,15— 0,40	0,12	Cr 0,2—0,4 Ni 0,2—0,4 Ti 0,03—0,1 Cu 0,3—0,5	90 1
АЧС-3	3,2—3,8	1,7—2,6	0,4—0,7	0,15— 0,40	0,12	Ti 0,03—0,1 Cu 0,3—0,5 Cr ≤ 0,3 Ni ≤ 0,3	60
АЧС-4	3,0—3,5	1,4—2,2	0,6—0,8	≤ 0,3	0,12— 0,20	Sb 0,25— 0,40	До 150
АЧС-5 **	3,5—6,0	2,5—3,5	7,5—12,5	≤ 0,1	0,05	Al 0,4—0,8	200 300
АЧС-6	2,2—2,8	3,0—4,0	0,2—0,4	0,5—1,0	0,12	Pb 0,5—1,0	До 90

* Разрабатывается ГОСТ на антифрикционные чугуны: СЧ (АЧС-1 ÷ АЧС-6);
 ** АЧС-5 является легированным чугуном со специальными свойствами и рассма-

фрикционного серого чугуна (по ГОСТ 1585—70) *

дельные жимы. работы		Микроструктура		Состояние вала	Примечание
v , м/с	Pv , кгс·м/ (см ² ·с)	Графит	Матрица		
5,0 0,2	100 18	Граз90— Граз360	П—П85 Пд1—Пд1,6 Фр1—Фр3	Закаленное, нормализован- ное	В структуре Ц не допускается
0,2 3	18 3	Граз90— Граз360	П—П85 Пд1—Пд1,6 Фр1—Фр3		
0,75	45	Граз90— Граз360	П85—П60 Пд1—Пд1,6 Фр1—Фр3	Сырое или термически обработанное	
До 5	До 400	Граз90— Граз360	П—П85 Пд1—Пд1,6 Фр2—Фр3	Закаленное, нормализован- ное	Необходимо руководствовать- ся специальной инструкцией, ес- ли $v = 5$ м/с. Ц в структуре не допускается
1,0 0,42	200 125	Граз15— Граз45	В сыром со- стоянии 45— 55% А и 10—25% карбидов; после заковки — 80— 90% А и 5—8% карбидов	Закаленное, нормализован- ное	При $C \geq 4,25\%$ требуется закал- ка
До 4	90	Граз90— Граз360	П—П85 Пд1—Пд1,6 Фр3	Сырое (t в узлах тре- ния до 300 °С)	Если $v = 4$ м/с, необходимо ру- ководствоваться специальной ин- струкцией

ВЧШГ (АЧВ-1, АЧВ-2); КЧ (АЧК-1, АЧК-2).

приводятся в п. 6 данной главы; здесь приведен для сопоставления.

вания элементами, стабилизирующими перлит (Cu, Ni, Mo, Cr и др.), так как в этом случае СЧ все же обладает хорошей обрабатываемостью.

Важными *служебными свойствами* СЧ являются износостойкость и герметичность.

Износостойкость характеризует долговечность деталей и самих машин, работающих в условиях трения, и определяется как скорость потери металла в г/(м²·ч) или мм/ч, мм/год и т. п. Различают износ при трении со смазкой, при сухом трении, абразивный и эрозивно-кавитационный. Износостойкость СЧ, как и других металлов, определяется условиями трения, но большое значение имеет также состав чугуна и особенно его структура, которая должна удовлетворять правилу Шарпи. Поэтому в зависимости от условий трения применяют разные чугуны. Так, в условиях трения со смазкой применяются антифрикционные чугуны (ГОСТ 1585—70), характеризующиеся коэффициентом трения $0,001 \div 0,10$ (при отсутствии смазки $\mu = 0,12 \div 0,8$). В зависимости от давления и линейной скорости движения на поверхности трения и при наличии смазки применяют чугуны по данным табл. I.18.

При отсутствии смазки износ И серого чугуна тем меньше, чем больше *НВ*; но с увеличением давления *P* износ возрастает по степенной зависимости: $I = P^n$, где $n = 1,1 \div 1,12$. Критическое давление $P_{кр}$, при котором происходит задираание на рабочей поверхности, возрастает с повышением марки чугуна. Так, для СЧ 32-52 $P_{кр} = 25$ кгс/см² ($25 \cdot 10^5$ Па), для СЧ 36-56 $P_{кр} = 30$ кгс/см² (30×10^5 Па), в то время как для ВЧШГ $P_{кр} = 35$ кгс/см² ($35 \cdot 10^5$ Па). Коэффициент трения при отсутствии смазки, по данным НИИЖТ, зависит от давления и скорости движения:

$$\mu = 0,6 \frac{16P + 100}{80P + 100} \frac{v + 100}{5v + 100}.$$

В условиях абразивного износа серый чугун имеет сравнительно низкую стойкость. В этом случае применяются легированные чугуны, обладающие высокими *НВ* и прочностью.

Герметичность, как способность противостоять фильтрации жидкости или газа под тем или иным давлением через стенки отливок, является очень важным эксплуатационным свойством серого чугуна, зависящим как от графитной, так и от усадочной пористости (см. гл. IX) и, следовательно, от состояния и свойств рабочей среды, с одной стороны, и состава, структуры и плотности отливок — с другой [18]. Важнейшей структурной составляющей при этом является графит, увеличение содержания и размеров которого приводит к увеличению графитной пористости. Усадочная же пористость существенно зависит от условий питания, которые улучшаются по мере увеличения градиента затвердевания отливок и металлоstaticеского давления, причем чем ниже эвтектичность СЧ, тем большее значение приобретают условия питания (см. гл. IX).

Литейные свойства серого чугуна значительно лучше, чем других сплавов. Это позволяет применять его для тонкостенных отливок и определяет сравнительную простоту технологических процессов и высокий коэффициент выхода годного. Прежде всего следует отметить жидкотекучесть $\lambda_{ж}$, которая определяется разными способами (рис. I.40), но чаще всего по спиральной пробе, отливаемой в соответствии с ГОСТ 16438—70 в песчаной или металлической форме; $\lambda_{ж}$ (см) возрастает с увеличением углеродного эквивалента жидкотекучести $C_{э.ж} = C + 1/4Si + 1/2P$ и температуры заливки; при литье в песчаные формы

$$\lambda_{ж} = 83C_{э.ж} + 0,425t_{зал} - 826,5. \quad (1.3)$$

Поэтому чем ниже марка СЧ и выше содержание *P*, тем больше $\lambda_{ж}$. Влияние других элементов определяется, главным образом, изменением вязкости металла; при одновременном высоком содержании *Mn* и *S* образуются сульфиды *MnS*, которые, как и нерастворившийся графит и другие тугоплавкие неметаллические включения в металле, понижают $\lambda_{ж}$. Устранение этих включений подбором шихты и соответствующей обработкой жидкого металла (десульфурацией, дегазацией, перегревом) заметно повышает $\lambda_{ж}$. С другой стороны, модифицирование СЧ графитизирующими присадками (ФС75, силкокальцием и т. п.) в большинстве слу-

чаев несколько уменьшает $\lambda_{ж}$ в связи с образованием графитной спели в расплаве (зародышевой фазы). Однако если при этом существенно уменьшается содержание газов и неметаллических включений, то $\lambda_{ж}$ может и возрасти.

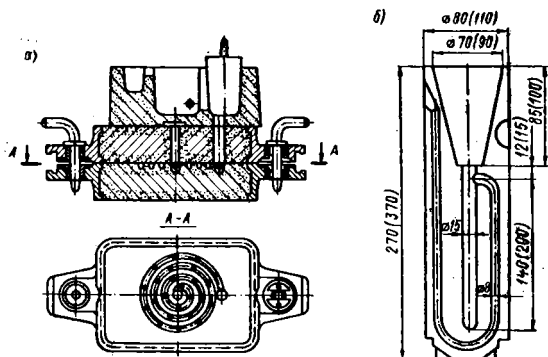


Рис. 1.40. Методы определения жидкотекучести: а — по спирали; б — по U-образной пробе (пробе Нехендзи — Самарина)

Во всех случаях высокое значение $\lambda_{ж}$ весьма полезно, так как уменьшается вероятность образования сплав, недоливов, газовых раковин, усадочной пористости и других дефектов. При этом необходимая минимальная жидкотекучесть $\lambda_{ж. мин}$ устанавливается в зависимости от толщины отливок и марки чугуна. Так,

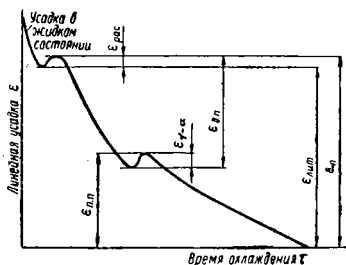


Рис. 1.41. Этапы усадки чугуна

например, для чугунов (СЧ 18-36—СЧ 28-48) при спиральной пробе с площадью сечения 50 мм² рекомендуются следующие пределы $\lambda_{ж. мин}$:

Толщина отливок, мм	3—6	6—15	15—25	>25
$\lambda_{ж. мин}$, см	50—70	40—50	30—40	20—30

Как видно из (1.3), повышение $\lambda_{ж}$ может быть достигнуто повышением $t_{зал.}$ устанавливаемой в зависимости от t_d чугуна, которая может быть рассчитана по формуле [16]:

$$t_d = 1670 - 124 (C + 0,5P + 0,25 Si).$$

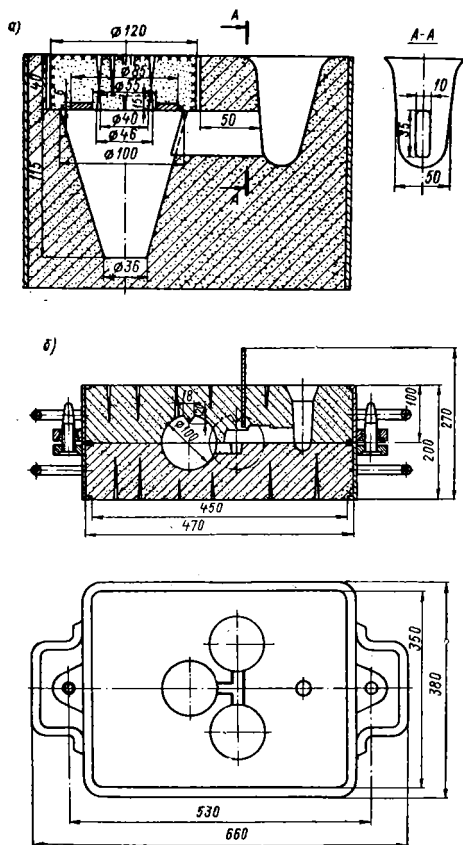


Рис. 1.42. Технологические пробы для определения объема усадочных раковин: а — коническая с направленным затвердеванием; б — шаровая

Приближенно значение t_d для разных марок СЧ может быть принято в пределах:

Чугун	От СЧ 12-28 до СЧ 18-36	От СЧ 21-40 до СЧ 28-48	СЧ 32-52 и СЧ 36-56	СЧ 40-60 и СЧ 44-64
t_d , °C	1160—1205	1200—1240	1240—1270	1260—1280

Вторым важнейшим литейным свойством является усадка — изменение объема и линейных размеров отливок в результате термического сжатия, фазовых превращений и силового взаимодействия с формой в процессе затвердевания и остывания (рис. 1.41). Понижение температуры вызывает уменьшение объема на 1,1—1,8% на каждые 100° С, а графитизация чугуна, наоборот, дает увеличение объема на 2,2% на 1% выделившегося графита. Объемная усадка жидкого металла ($\epsilon_{ж}$) тем больше, чем больше коэффициент объемной усадки жидкого металла ($\alpha_{ж} = (90 + 30 \text{ C}) 10^{-6}$ и выше температура, а объемная усадка при затвердевании ($\epsilon_{зс}$) тем больше, чем меньше C_g , т. е. чем больше интервал кристаллизации ($\Delta t_{лит}$) и чем меньше графита выделяется непосредственно из жидкого раствора. Поэтому для СЧ $\epsilon_{зс} = (-1,5) \div (+3,0)$.

Усадка в твердом состоянии определяется обычно как линейная и составляет: предусадочное расширение $\epsilon_{рас} = 0,1 \div 0,3\%$; доперлитная усадка $\epsilon_{д.п} = 0,2 \div 0,4\%$; усадка при превращении $\gamma \rightarrow \alpha$ $\epsilon_{\gamma \rightarrow \alpha} = (-0,1) \div (-0,15)\%$; послеперлитная усадка $\epsilon_{п.п} = 0,9 \div 1,05\%$; литейная усадка $\epsilon_{лит} = 0,7 \div 1,3\%$; полная усадка $\epsilon_{п} = 1,1 \div 1,4\%$. При определении размеров модельной оснастки литейную усадку для чугунов марок от СЧ 12-28 до СЧ 28-48 принимают 0,7—1,0%, а для чугунов марок от СЧ 32-52 до СЧ 44-64 — 1,0—1,3%.

Чем больше $\epsilon_{ж}$ и $\epsilon_{зс}$, тем больше объем усадочных раковин, который определяется с применением различных проб (рис. 1.42). Уменьшение $\epsilon_{рас}$ и возрастание $\epsilon_{д.п}$ увеличивает опасность образования горячих трещин, а увеличение $\epsilon_{п} = \epsilon_{д.п} + \epsilon_{\gamma \rightarrow \alpha} + \epsilon_{п.п}$ приводит к возрастанию деформаций и к опасности образования холодных трещин*.

Некоторые области применения СЧ приведены в гл. VII.

Высокопрочный чугун с шаровидным графитом**

Отличительной особенностью ВЧШГ являются его высокие механические свойства (табл. 1.19), обусловленные шаровидным графитом, который в меньшей степени, чем пластичный графит в СЧ, ослабляет рабочее сечение матрицы и, что еще важнее, не оказывает на нее сильного надрезывающего действия, вследствие чего вокруг сферондов графита в меньшей степени создаются концентрации напряжений. При этом ВЧШГ, как и другие чугуны, можно получать со всеми известными структурами матрицы, выбирая состав металла, в том числе и его надлежащее легирование, технологию производства и методы термической обработки. Все это создает возможность получения очень высоких механических свойств (табл. 1.19), недостижимых ни в одном из существующих видов чугуна. Кроме того, некоторые марки этого чугуна имеют также высокую износостойкость и хорошую коррозионную стойкость, теплотойкость, жаростойкость, хладостойкость, антифрикционные свойства и обрабатываемость и могут подвергаться сварке и автогенной резке.

Весьма важно также, что ВЧШГ имеет хорошие литейные свойства: высокую $\lambda_{ж}$, малую величину $\epsilon_{лит}$, незначительную склонность к образованию горячих трещин. Вместе с тем его склонность к образованию усадочных раковин и литейных напряжений выше, чем у серого чугуна, и находится на уровне стали или ковкого чугуна.

Наиболее важным для механических свойств ВЧШГ является получение графита правильной шаровидной формы, хотя в некоторых случаях допустим графит смешанной формы. Правильная шаровидная форма графита зависит от ряда факторов (состав металла, условия модифицирования, шихтовые материалы и

* Меры борьбы с литейными дефектами изложены в гл. IX.

** Как и в отношении СЧ, здесь приводятся данные только для конструкционного ВЧШГ, а ЧШГ со специальными свойствами рассматриваются ниже.

Механические свойства, рекомендуемые составы и термическая обработка ВЧШГ (ГОСТ 7293—70)

Марка чугуна	Механические свойства			Массовая доля элементов, %							Термическая обработка
	$\sigma_{0,2}^*$ кгс/мм ²	σ_B^* кгс·м/см ²	HB	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	
	не менее										
Ферритный чугун											
ВЧ 38-17	24	6	140—170	3,4—3,8	2,1—2,8	0,4	0,1	0,02	0,05	—	Отжиг ,
ВЧ 42-12	28	4	140—200	3,4—3,8	2,1—2,8	0,4	0,1	0,02	0,1	—	
Перлитно-ферритный чугун											
ВЧ 45-5	33	3	160—220	3,4—3,8	2,1—2,7	0,4	0,1	0,02	0,1	—	Без термообработки То же
ВЧ 50-2	38	2	180—260	3,2—3,6	1,9—2,2	0,5—0,8	0,1	0,02	0,1	—	
Перлитный чугун											
ВЧ 60-2	40	2	200—280	3,2—3,6	1,9—2,2	0,5—0,8	0,1	0,02	0,1	—	Нормализация ,
ВЧ 70-3	40	3	229—275	3,2—3,6	2,6—2,9	0,6—0,9	0,1	0,02	0,1	—	
ВЧ 80-3	50	2	220—300	3,2—3,6	2,6—2,8	0,6—0,9	0,1	0,02	0,1	—	Двойная нормализа- ция
Бейнитный чугун											
ВЧ 100-4	70	3	302—369	3,2—3,6	3,4—3,8	0,6—0,9	0,1	0,02	0,1	—	Изотермическая за- калка и отпуск
ВЧ 120-4	90	3	302—369	3,2—3,6	3,4—3,8	0,6—0,9	0,1	0,02	0,1	0,2— 0,8	

Примечания:

1. Обусловленные ГОСТом значения σ_B и δ даны в обозначении марок (первое число — σ_B , второе — δ). Значения HB и a_H являются обязательными, если они оговорены в ТУ.
2. Состав чугуна и в том числе содержание S в данной таблице указаны после модифицирования.
3. Бейнитный чугун получается путем легирования и термической обработки (закалка с отпуском).
4. Для получения перлитной структуры рекомендуются сейчас присадки 0,008—0,01% Sb или 0,05—0,10% Sn.
5. Разрабатывается новый ГОСТ, соответствующий СЭВ РС 592—66.

прочие условия плавки), но в первую очередь она связана с содержанием остаточного Mg, Se или других сфероидизаторов (см. гл. III)*. Значительное влияние на форму кристаллизующегося графита оказывает также скорость охлаждения отливок: чем больше скорость, тем правильнее шаровидная форма графита. Кроме того, при этом уменьшаются размеры графита (примерно до 100 мкм); при средней скорости охлаждения размер графита получается около 100 мкм; при малой скорости (в массивных отливках) — достигает 400—500 мкм.

Механические свойства ВЧШГ, регламентируемые ГОСТ 7293—70, и рекомендуемые для него разными авторами [10, 16, 28, 50, 51] составы представлены в табл. I.19, а механические свойства, не вошедшие в ГОСТ, — в табл. I.20**. Особенности технологии и производства ВЧШГ изложены в [10, 28, 50, 57] и в РТМ (руководящем техническом материале) «Технология плавки и выпечной обработки серого, ковкого и высокопрочного чугуна» [44]. Значительные трудности представляет получение самой высшей марки чугуна — ВЧ 120-4. В дополнение к рекомендациям табл. I.19 можно указать на целесообразность ведения плавки (и при этом преимущественно в электропечах) с применением шихты с высоким содержанием стали или выплавки чисто синтетического чугуна с добавочным легированием молибденом в количестве 0,2—0,4% и вводом при модифицировании комплексных модификаторов (КМ), как это указано в гл. III, а также изотермической закалки с температуры на 10—15°С выше A_{c1} в среде с $t \approx 350^\circ\text{C}$.

Поведение ВЧШГ при повышенных температурах, в том числе его длительная прочность и сопротивление ползучести, представлено в табл. I.21 [28, 49]. По этим данным приблизительно можно судить о поведении чугунов других марок. Значения ударной вязкости ВЧШГ в зависимости от его структуры и температуры испытания представлены на рис. I.43 [65]; особый интерес представляет значение вязкости при пониженных температурах, что определяет положение температурного порога хрупкости. Благоприятное влияние ШГ в этом отношении сказывается, главным образом, при ферритной структуре.

Состав металла является одним из основных факторов, определяющих механические свойства ВЧШГ.

Углерод в ВЧШГ, в противоположность СЧ, не надо поддерживать на низком уровне для получения высоких механических свойств. Наоборот, он обычно выдерживается для высоких марок в пределах 3,2—3,6%, что облегчает процесс получения металла в вагранках, повышает литейные свойства чугуна и в то же время не влияет отрицательно на его механические свойства, как это имеет место при пластинчатом графите.

Кремний оказывает значительное влияние как на структуру, так и на механические свойства ВЧШГ, и практически регулирование количества феррита в ВЧШГ в сыром состоянии осуществляют подбором содержания кремния в металле. При содержании 3,0—3,3% кремний способствует получению устойчивой ферритной структуры в сыром состоянии; однако пластичность чугуна при этом все-таки понижается, и при количестве кремния свыше 3,5% он способствует появлению хрупкости, даже при обычном содержании марганца и фосфора. Поэтому с точки зрения пластичности лучше следует принимать $Si = 2,0 \div 2,4\%$, а для получения чистого феррита применять термическую обработку. Содержание Si не должно превышать 2,3% во избежание отрицательного влияния его на σ_n и

* Особенно сложным является влияние разных примесей. Согласно исследованиям «Mechanite Metal Corp.» (США), оно связано с $t_{пл}$ элементов и их соединений; элементы с низкой $t_{пл}$ (ниже температуры ликвидуса чугуна) действуют на форму благоприятно, а с высокой $t_{пл}$ — отрицательно. Поэтому патент США № 318681 рекомендует поддерживать количество Cu, Sn, Ge, Pb, Bi, Mo, B, Sb, Se и As на уровне 10—75% от содержания Ti, Al и Se, соединения которых отличаются высокой $t_{пл}$. Для обеспечения такого соотношения следует добавлять Pb или Ge в виде чистых металлов или соединений.

** В стандарте стран СЭВ (ПС 592—66) предусмотрены марки: ВЧ 38-17, ВЧ 42-12, ВЧ 60-7, ВЧ 60-2, ВЧ 70-2, ВЧ 80-2, ВЧ 100-2, ВЧ 120-2. В международном стандарте ИСО предусмотрены пять марок: 38-17, 42-12, 50-7, 60-2 и 70-2, а в стандартах США (ASTM 339—55, ASTM 369—55T и ASTM 395—55T) — марки 40-15, 45-10, 45-15, 60-03, 70-03, 90-02. Таким образом, ГОСТ 7293—70 по существу включает даже более высокие марки, чем зарубежные стандарты.

Механические свойства ВЧШГ, не предусмотренные ГОСТ 7293—70

Тип чугуна	Тип растяжений		При сжатии			При изгибе	
	E , кгс/мм ² (10 ³ Па)	σ_{-1p} , кгс/мм ²	μ_p	σ_{θ} , кгс/мм ²	ψ , %	σ_H , кгс/мм ²	$f_{\text{доп}}$, мм
Ферритный	16 500—17 500	12—15	0,28—0,29	100—140	12—20	75—90	>30
Перлитный	17 500—18 500	16—20	0,28—0,29	150—200	4—8	85—120	15—30
Бейнитный	18 000—19 000	24—40	0,28—0,29	180—220	2—4	120—140	10—20
Тип чугуна	При изгибе		При кручении		При срезе		При вибрации
	σ_{-1v} , кгс/мм ²	a_H , кгс·м/см ² (о надрезе) *	τ_v	τ_{-1}	τ_v , ср	G	ϕ , % (при нагруз- ке, равной $1/3 \sigma_{0.2}$)
			кгс/мм ²				
Ферритный	20—26	1,5—2,0	40—46	13—16	32—40	6500—7500	10—14
Перлитный	24—34	0,8—2,0	50—78	18—23	40—55	7500—8000	8—10
Бейнитный	28—40	0,5—1,5	70—90	22—30	55—70	8000—8500	7—10

* a_H без надреза обусловлено ГОСТ 7293—70 (табл. 1.19).

Механические свойства ВЧ 45-5 при повышенных температурах

Температура, °C	σ_B , кгс/мм ² (10 ⁷ Па)	$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ² (10 ⁷ Па)	Длительная прочность, кгс/мм ² (10 ⁷ Па)			Предел ползучести (кгс/мм ²) при скорости ползучести, %/ч	
	при кратковременных испытаниях		1000 ч	10 000 ч	100 000 ч	0,1	0,01
20	45,9	32,3	—	—	—	—	—
370	39,1	24,8	25,3	21,0	16,8	17,6	13,3
426	34,1	24,0	16,1	11,9	8,7	8,9	6,1
482	28,1	20,4	9,1	6,4	4,5	4,2	2,7
537	20,7	16,8	4,9	3,4	2,35	1,9	1,3
593	13,3	12,2	2,75	1,82	1,23	0,94	—
650	7,6	7,3	1,54	1,0	0,65	—	—

с целью снижения порога хладноломкости, что очень важно для хладностойкости чугуна. В других случаях, как видно из табл. 1.19, допускается и большее количество кремния. Для получения наилучших свойств рекомендуется содержание С и Si в указанной на рис. 1.44 оптимальной области [65].

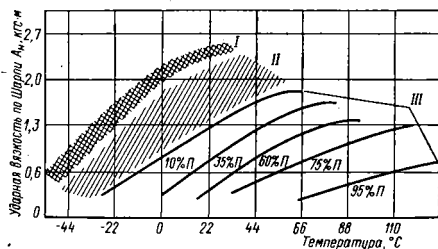


Рис. 1.43. Влияние температуры на ударную вязкость ВЧШГ в зависимости от структуры и состава металла

Марганец оказывает на структуру ВЧШГ влияние, противоположное влиянию кремния, уменьшая количество феррита и увеличивая количество перлита, в связи с чем повышается σ_B и понижается δ . Поэтому для получения высокой пластичности содержание марганца не должно превышать 0,4%, что сокращает, а иногда вовсе исключает ТО. Когда же некоторое количество перлита в литой структуре допустимо, как это имеет место в большинстве случаев на практике, количество Mn может находиться в пределах 0,4—0,8%; но для снижения порога хладноломкости следует допускать содержание марганца не выше 0,3%.

Фосфор оказывает весьма существенное влияние на структуру и свойства ВЧШГ, образуя ФЭ и понижая удлинение и ударную вязкость; поэтому его содержание не должно превосходить 0,1% и даже, если возможно, должно быть ниже, особенно в толстостенных отливках, где широко развивается его ликвация. Если же высокое удлинение в чугуне не обязательно, содержание Р может быть повышено до 0,12—0,15%.

Содержание серы в исходном жидком чугуна до модифицирования должно находиться на низком уровне (не выше 0,02% или даже ниже), так как она затрудняет процесс модифицирования и получение ШГ и понижает механические свойства ВЧШГ вследствие образования сфероидизаторами сульфидов.

Медь в количестве более 2,0% препятствует образованию ШГ, а при наличии $Ti \geq 0,04\%$ даже при 1% Cu образуется ПГ. Кроме того, Cu уже в количестве 1,0—1,5% приводит к образованию перлита, повышая прочность чугуна и понижая его пластичность.

Алюминий, подобно меди, оказывает вредное влияние на ВЧШГ, способствуя образованию ПГ уже при содержании 0,2% и особенно при 0,25—0,6% и медленном охлаждении отливок. Одновременно значительно понижается δ , несмотря на увеличение количества Fe. Однако при более совершенных методах модифицирования ШГ образуется в чугунах даже с более высоким содержанием Al (стр. 119).

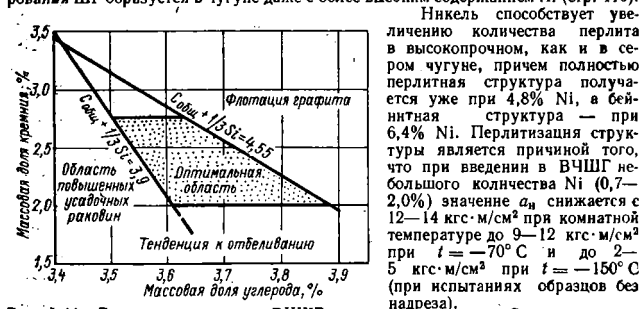


Рис. 1.44. Рекомендуемое для ВЧШГ содержание C и Si

но) способствуют образованию бейнитной и мартенситной структур в сыром состоянии.

Никель и марганец в ВЧШГ при совместном легировании (до 2 и 3,5% соответственно) позволяют получать конструкционный чугун с повышенными значениями износостойкости и кавитационной стойкости. При содержании 3% Ni и 0,7% Mn ВЧШГ после нормализации и отпуска при 350—380°С имеет следующие механические свойства: $\sigma_b = 100 \div 135$ кгс/мм², $\sigma_{0,2} = 150 \div 195$ кгс/мм² при HB 325—500 и, кроме того, хорошие износостойкость и эрозионную стойкость.

Таким образом, сравнительно небольшое легирование Mn и Ni (а также Cr, Mo и Cu) дает возможность повысить не только механические свойства конструкционного ВЧШГ, но и некоторые его специальные свойства (сопротивление износу, коррозии, эрозии, ползучести и т. п.).

Магний и церий, применяющиеся как сфероидизаторы, обычно остаются в ВЧШГ в количестве не менее 0,03 и 0,02% соответственно, в противном случае графит кристаллизуется в шаровидной форме только частично, вследствие чего механические свойства чугуна понижаются. Однако излишнее высокое остаточное содержание Mg и Ce приводит сначала к образованию цементита в сырой структуре, а затем к «перемодифицированию» (образованию пластинчатого графита). Поэтому остаточное содержание Mg и Ce не должно превосходить 0,08 и 0,05% соответственно.

Микропримеси, как уже указывалось, оказывают большое влияние на процесс модифицирования (см. также гл. III), а следовательно, и на свойства ВЧШГ [10, 28, 50]. В большинстве случаев они препятствуют образованию ШГ и понижают свойства чугуна. Поэтому их содержание должно быть ограничено (%): Pb — 0,009; Sn — 0,13; Sb — 0,026; Bi — 0,003; Ti — 0,04; As — 0,08; Al — 0,3.

Однако, как упоминалось выше, влияние этих элементов сложно и иногда введение некоторых из них бывает даже полезным (например, Рb).

Физические свойства ВЧШГ представлены в табл. 1.22 [10, 28, 50, 51].

Плотность γ ВЧШГ, вследствие наличия графита, несколько меньше, чем у углеродистой стали (примерно на 8%), и лишь немного превосходит плотность серого чугуна при одинаковых матрице и составе. При наличии в структуре цементита или ледебурита значение γ повышается и приближается к γ белого чугуна; наоборот, при повышении содержания С и Si значение γ ВЧШГ так же, как и у СЧ, понижается.

Коэффициент термического расширения α у ВЧШГ несколько выше, чем у СЧ, и поэтому уменьшение значения α при повышении температуры у ВЧШГ происходит интенсивнее, чем у СЧ.

Теплопроводность λ ВЧШГ, как видно из табл. 1.22, меньше, чем у СЧ, что объясняется большей разобщенностью включений шаровидного графита. Значение λ изменяется в зависимости от структуры матрицы и возрастает с ферритизацией.

Электросопротивление ρ ВЧШГ значительно ниже, чем у СЧ, и выше, чем у КЧ. Значение ρ возрастает с перлитизацией матрицы. С повышением температуры ρ также возрастает (как и в других Fe—C-сплавах).

Износостойкость является положительной особенностью ВЧШГ; поэтому этот чугун часто применяется для изготовления деталей, работающих в условиях абразивного износа и трения при высоких удельных давлениях и затрудненной смазке. Наиболее благоприятной в этом случае матрицей нелегированного ВЧШГ является перлитная, характеризующаяся меньшим износом и меньшим коэффициентом трения. Так, например, у перлитного чугуна (HB 270) коэффициент трения при удельном давлении 14 кгс/см² составляет 0,63, при удельном давлении 25 кгс/см² — 0,52, а при перлитно-ферритной матрице (HB 207) — соответственно 0,70 и 0,62.

В условиях сухого трения при возвратно-вращательном движении износостойкость ВЧШГ с перлитной структурой в два-три раза выше износостойкости закаленной стали. То же самое наблюдается при трении со смазкой и при абразивном изнашивании. Износостойкость можно еще больше повысить за счет легирования Mo, Ni, Cu и другими элементами, способствующими измельчению перлита или образованию бейнитной структуры.

К числу важных свойств нелегированного или слаболегированного ВЧШГ относятся, кроме высоких механических, антифрикционные свойства, проявляющиеся при работе деталей в условиях трения в подшипниках. Материал, работающий в таких условиях, помимо высокой износостойкости, должен обладать рядом других свойств, к числу которых относятся: низкий коэффициент трения, высокая теплопроводность, препятствующая повыше-

Таблица 1.22

Физические свойства ВЧШГ

Тип чугуна	$\gamma_{30}, \text{ г/см}^3$	$\alpha_{20}, 1/^\circ\text{C}$	$\lambda_{20}, \text{ ккал/(см}\cdot\text{с}\cdot^\circ\text{C)}$	$c_{20}^{100}, \text{ ккал/(г}\cdot^\circ\text{C)}$	$c_{20}^{1000}, \text{ ккал/(г}\cdot^\circ\text{C)}$	$\rho, \text{ мкОм}\cdot\text{см}$	$R_{\text{max}}, \text{ Гц/Э}$	$B_r, \text{ Гс}$	$H_c, \text{ Э}$
Ферритный	7,1—7,2	$(11,5 \pm 12,5) 10^{-6}$	0,09—0,11	0,11—0,12	0,14—0,15	40—50	1000—2000	3500—5000	1,5—3,5
Перлитный	7,2—7,3	$(10 \pm 11) 10^{-6}$	0,08—0,10	0,12—0,125	0,15—0,16	55—65	300—1000	5500—7000	4—10
Бейнитный	7,25—7,35	$(9 \pm 10) 10^{-6}$	0,07—0,09	0,125—0,135	0,15—0,16	60—75	300—600	5500—7500	10—11

нию температуры на поверхности трения, хорошая обрабатываемость, хорошая прирабатываемость, способность удерживать смазку в виде непрерывной пленки, отсутствие заедания и т. п.

ГОСТ 1585—70 на отливки из антифрикционного чугуна предусматривает ВЧШГ двух марок: АЧВ-1 — перлитный чугун с ШГ, предназначенный для работы в узлах трения с повышенными окружными скоростями в паре с термически обработанным (закаленным или нормализованным) стальным валом, и АЧВ-2 — антифрикционный чугун, предназначенный для работы в паре с валом без ТО (табл. 1.23).

Таблица 1.23

Составы антифрикционных чугунов АЧВ-1 и АЧВ-2

Марка чугуна	Массовая доля элементов, %						
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Mg, не менее
АЧВ-1	2,8—3,5	1,8—2,7	0,5—1,2	До 0,2	До 0,03	До 0,7	0,03
АЧВ-2	2,8—3,5	2,2—2,7	0,5—0,8	» 0,2	» 0,03	—	0,03

Параметры работы этих чугунов, которые одновременно являются и конструктивными, и антифрикционными, характеризуются данными, приведенными в табл. 1.24.

Таблица 1.24

Рекомендуемые условия работы чугунов АЧВ-1 и АЧВ-2

Структура матрицы	Удельное давление P , кгс/см ² (10 ⁵ Па)	Окружная скорость v , м/с	Pv , кгс·м/(см ² ·с) (10 ⁵ Па·м/с)
Перлитная (П95, П85), количество Ц до 3%	5	5	25
Перлитно-ферритная (П70, П60, П50), количество Ц до 3%	120	1	120

По герметичности ВЧШГ значительно превосходит СЧ вследствие отсутствия графитной пористости и поэтому является благоприятным материалом для отливок, работающих под большим давлением (400 кгс/см² и более). Это позволяет использовать его для производства деталей дизелей, насосов, гидравлических и газовых установок.

Коррозионная стойкость ВЧШГ весьма высока: не ниже, чем у СЧ, и значительно выше, чем у углеродистой стали. При коррозии чугуна очень быстро образуется поверхностный окисленный слой, который прочно сцеплен с матрицей и препятствует дальнейшему развитию коррозии, в отличие от стали, на поверхности которой образуется легко отслаивающийся слой, не препятствующий дальнейшему распространению коррозии. Особенно велика коррозионная стойкость ВЧШГ в атмосферных условиях, что наиболее заметно при воздействии морской атмосферы, когда ВЧШГ превосходит даже медистую сталь. При этом ВЧШГ с перлитной структурой имеет более высокую коррозионную стойкость, чем при ферритной структуре. В то же время по коррозионной стойкости в проточной пресной воде ВЧШГ не отличается от СЧ и углеродистой стали, причем чугун с ферритной структурой в этом случае имеет несколько большую стойкость, чем перлитный чугун и сталь.

В условиях почвенной коррозии коррозионная стойкость ВЧШГ несколько выше, чем у СЧ. Так, глубина проникновения продуктов коррозии в ВЧШГ в глинистой почве на глубине 1 м в течение трех лет составила около 1,2 мм, а у СЧ — около 1,75 мм. В нейтральных же или слабощелочных растворах стойкости ВЧШГ и СЧ сравнительно мало различаются, а в морской непроточной воде у ВЧШГ стойкость выше. Значительное повышение коррозионной стойкости ВЧШГ достигается при введении в него небольших количеств легирующих добавок. Так, при легировании никелем (0,4%) коррозионная стойкость ВЧШГ в морской воде становится в пять раз выше, чем у стали. Стойкость ВЧШГ при легировании медью или алюминием повышается в два-три раза.

Кавитационная стойкость ВЧШГ значительно выше, чем у СЧ, причем при перлитной структуре она больше, чем при ферритной.

Жаростойкость ВЧШГ выше, чем у СЧ, вследствие меньшего окисления металла по границам разобогаченных включений графита и уменьшения роста, что особенно заметно при высоких температурах. При температурах до 400—500° С явление роста в ВЧШГ практически не наблюдается, а механические свойства чугуна при этих температурах снижаются незначительно.

Обрабатываемость ВЧШГ зависит, главным образом, от его *НВ*; поэтому стойкость резцов при точении чугуна с ферритной структурой в два раза выше, чем с перлитной. Вместе с тем усилие резания ВЧШГ на 50—60% выше, чем СЧ той же твердости, что объясняется большей прочностью ВЧШГ. Но при эквивалентных значениях σ_b обрабатываемость ВЧШГ лучше, чем СЧ и тем более стали, и скорость резания при его обработке может быть при этом на 25% выше. Чистота обработанной поверхности у ВЧШГ выше вследствие обособленности выделений графита в нем. Возможная скорость обработки основных марок ВЧШГ инструментами из быстрорежущей стали и из твердых сплавов характеризуется данными табл. 1.25.

Таблица 1.25

Скорость механической обработки ВЧШГ

Материал инструмента	Вид обработки	Возможная скорость обработки, см/мин, для марок чугунов			
		ВЧ 42-12	ВЧ 50-2	ВЧ 60-2	ВЧ 70-3
Быстрорежущая сталь	Точение	23—43	18—30	12—27	9—21
	Развертка	15—30	12—22	12—18	7—14
	Фрезерование	12—38	15—27	12—24	9—15
Твердые сплавы	Точение	75—150	60—105	46—84	27—60
	Развертка	23—45	15—28	15—28	15—21
	Фрезерование	60—122	53—106	47—76	15—38

Литейные свойства ВЧШГ значительно отличаются от соответствующих свойств других чугунов.

Жидкотекучесть ВЧШГ выше, чем у КЧ и СЧ высоких марок, и значительно выше, чем у стали, благодаря повышенному C_s , что позволяет отливать из этого чугуна детали с толщиной стенки 3—4 мм со сложной конфигурацией и, кроме того, способствует получению отливок с чистой внешней поверхностью.

Усадка ВЧШГ значительно отличается от усадки СЧ, главным образом, высоким $\epsilon_{рас}$ (см. гл. IX), что является основной причиной большой склонности его к образованию усадочных дефектов, хотя по усадке в жидком состоянии ВЧШГ не отличается от СЧ. Общая усадка ВЧШГ практически меньше, чем у СЧ, но разница эта сравнительно невелика (см. гл. IX), и изготовление моделей и стержневых ящиков часто производится с применением тех же усадочных масштабов, что и для СЧ.

Области применения ВЧШГ

Наименование деталей	Масса, кг	Марка чугуна	Характер нагрузки
Детали прокатного и кузнечно-прессового оборудования			
Плита окалиноломателя, балка транспортера слэбов, балка трубозакатного стана, балки ролика рольганга, рама поперечного транспортера, станина роликового датчика, траверса универсальной клетки, рама реверсивного стана	390—7 800	ВЧ 42-12	Статическая
Плита отодвигателя рольганга блюминга	1 600	ВЧ 45-5	»
Подушка шестеренной клетки, корпус рабочей клетки	3 400—4 500	ВЧ 50-2	»
Кронштейн чистового окалиноломателя, траверса натяжного устройства, балка чернового окалиноломателя, балка нажимного механизма	650—5 100	ВЧ 42-12	Переменная
Станина натяжного устройства	2 000	ВЧ 45-5	»
Балки, траверса, кронштейн нажимного механизма рабочей клетки, ведущий диск ковочной машины	1 300—5 000	ВЧ 50-2	»
Корпус тормоза	4 100	ВЧ 50-2	Динамическая
Крышки ковочного пресса, кронштейн ковочной машины	117—700	ВЧ 50-2	Пульсирующая
Детали горнорудного и дробильно-размольного оборудования			
Блок экскаватора, торцевая стенка углеразмольной мельницы	153—6 980	ВЧ 42-12	Ударная
Вал эксцентрика конусной дробилки	2 500	ВЧ 45-5	»
Броня углеразмольной мельницы	38	ВЧ 50-2	»
Венец углеразмольной мельницы, ступица шахтной подъемной машины	4 600—4 800	ВЧ 50-2	Переменная
Хомут, втулка	320—650	ВЧ 50-2	Статическая

Наименование деталей	Масса, кг	Марка чугуна	Характер нагрузки
Коленчатые валы			
Коленчатый вал двигателя 6ДР 30/50 мощностью 600, 900, 1200 л. с.	2 100	ВЧ 50-2	Знакопеременная
Коленчатый вал судового двигателя мощностью 300 л. с.	315	ВЧ 50-2	То же
Коленчатый вал двигателя электростанций	2 000	ВЧ 50-2	»
Коленчатый вал двигателя магистрального теплового двигателя мощностью 2000—3000 л. с.	1 450	ВЧ 50-2	»
Коленчатый вал автомобиля «Волга»	19,7	ВЧ 60-2	»
Коленчатый вал трактора и комбайна	62,0	ВЧ 70-2	»
Коленчатый вал автомобиля «Запорожец»	8,9	ВЧ 60-2	»
Колено коленчатого вала (сборного) двигателя класса Ч 8,5/11	3,8	ВЧ 60-2	»
Детали турбин			
Лопатка регулирующего кольца, рычаг направляющего аппарата гидротурбины	194—6 850	ВЧ 42-12	»
Поршень, крестовина, корпус гидротурбины	1 850—8 300	ВЧ 42-12	»
Корпус, статор, сепаратор, корпус клапана паровой турбины	1 000—365 000	ВЧ 42-12	»
Детали зубчатых передач			
Цилиндрические, конические шестерни, зубчатый венец канатного барабана, шестерни угольной дробилки	500—1 000	ВЧ 70-3	Переменная
Детали подъемно-транспортного оборудования			
Корпус барабана механизма подъема мультисхватного крана, брус колеса приводного крана-штабелера, полумуфта привода, брус колеса электрического крана	16—1 240	ВЧ 42-12	Переменная

Наименование деталей	Масса, кг	Марка чугуна	Характер нагрузки
Колодка механизма поворота консольного крана	350	ВЧ 42-12	Динамическая
Картер редуктора, корпус редуктора, крышка редуктора крана-штабелера	4—31	ВЧ 42-12	Статическая
Крышка, корпус, картер приводного редуктора	21—31	ВЧ 50-2	„
Примечание. Составы ВЧШГ, применяемые для разных типов отливок, приведены в гл. VII.			

Литейные напряжения в отливках из ВЧШГ значительно больше, чем в отливках из СЧ, что объясняется, главным образом, более высоким E и более низкой λ . Поэтому при производстве отливок из ВЧШГ необходимо применять все меры для снижения напряжений (см. гл. IX).

Благодаря высоким показателям и хорошему сочетанию прочностных, эксплуатационных, физических и технологических свойств ВЧШГ находит очень широкое применение во всех отраслях промышленности. Как показывает зарубежный и отечественный опыт, им во многих случаях заменяют стальное литье, стальные ковочки, ковки и серый чугун.

Преимуществом ВЧШГ перед сталью является меньшая плотность, а значит, и меньшая масса, которая еще более снижается в связи с тем, что из этого чугуна можно отливать более тонкостенные детали благодаря его более высокой жидкотекучести. Важным преимуществом в этом отношении является также более низкая температура плавления (примерно на 300°C), что облегчает и удешевляет процесс плавки. Кроме того, значительно упрощается и удешевляется изготовление литейных форм, так как не требуются дорогие формовочные материалы, специальная керамика для литейных систем и т. п. Большим преимуществом ВЧШГ являются также его более благоприятные литейные свойства, в том числе меньшая литейная усадка и соответственно меньшая склонность к образованию горячих трещин, а также большая циклическая вязкость и более высокие значения служебных свойств (износостойкость и антифрикционные свойства, жаростойкость, обрабатываемость и др.), как это было указано выше.

В сравнении с ковким чугуном преимуществами ВЧШГ являются лучшие литейные и более высокие механические свойства, возможность во многих случаях обходиться без термической обработки, а также возможность применения для деталей любых сечений, массы и размеров.

Высокие значения механических свойств ВЧШГ дают также возможность заменять им серый чугун, причем возможны уменьшение толщины стенок и снижение массы отливок. Например, при переходе на ВЧШГ значительно уменьшается толщина водопроводных труб, уменьшается масса тубингов метрополитенов и подземных шахт, причем металлоемкость конструкций снижается при этом в 1,5—2 раза.

По всем указанным причинам ВЧШГ применяется в настоящее время для большой номенклатуры деталей ответственного назначения массой от нескольких килограмм до нескольких тонн для работы при высоких статических, ударных и циклических нагрузках в условиях износа, а также и при воздействии агрессивных сред и высоких температур (табл. 1.26). Однако по общему объему применения ВЧШГ отечественное литейное производство еще отстает от производства некоторых стран запада, и задачей ближайших лет является всемерное его расширение.

Чугун с вермикулярным графитом

Чугун с вермикулярным графитом (ЧВГ) обладает рядом специфических свойств, которые выдвигают его в число новых перспективных конструкционных материалов для отливок различного назначения. Этот материал может быть использован взамен серого чугуна для ряда ответственных деталей общего машиностроения, к материалу которых по условиям их работы предъявляются повышенные требования по прочностным и пластическим характеристикам. Свойственное для ЧВГ сочетание высоких механических свойств и повышенной теплопроводности делает весьма перспективным применение этого материала для отливок, работающих в условиях теплосмен и значительного перепада температур, например, в дизелестроении [63].

Из известных способов получения ЧВГ [62, 63] наиболее перспективным с технологической точки зрения, обеспечивающим стабильное получение ВГ и хорошие санитарно-гигиенические условия труда, является обработка расплава редкоземельными металлами — РЗМ (Ce, Y и др.). При этом наиболее целесообразно использовать РЗМ в виде многокомпонентных лигатур, позволяющих снизить стоимость модификаторов, повысить уровень

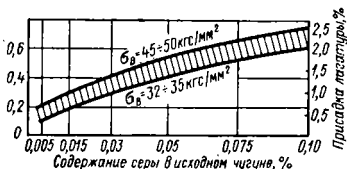


Рис. 1.45. Влияние содержания серы на величину присадки РЗМ или лигатуры при получении ЧВГ

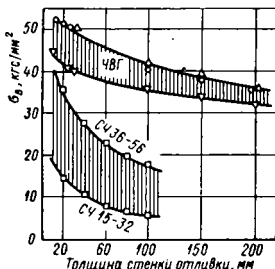


Рис. 1.46. Влияние толщины стенки отливки на прочность чугуна с вермикулярным и пластинчатым графитом [40]

усвоения элементов, а также полностью исключить пирозэффект и дымовыделение при обработке чугуна [53]. Составы этих лигатур приведены в гл. III. В зависимости от условий производства лигатуру можно вводить непосредственно в тигель печи при 1350—1400° С, на дно разливочного ковша или в струю металла при 1430—1450° С из расчета получения остаточного содержания РЗМ в пределах 0,10—0,15%, в том числе 0,02—0,06% Се. При этом величина присадки лигатуры определяется количеством в ней РЗМ и зависит от содержания серы в исходном чугуне (рис. 1.45). Оптимальная величина присадки лигатуры при $S = 0,01 \div 0,03\%$ составляет 0,6—0,8%.

После обработки лигатурой требуется дополнительное вторичное модифицирование чугуна графитизирующими присадками, чтобы подавить образование в отливках ледебурита или структурно-свободного цементита. При использовании для этой цели ФС75 присадка в зависимости от эвтектичности чугуна составляет 0,3—0,8% от массы металла.

Механические, физические (особенно теплопроводность) и литейные свойства ЧВГ существенно зависят от количества ШГ, образующегося одновременно с ВГ. При этом чем больше ШГ, тем выше σ_b , ниже λ и больше объем усадочных раковин W_p (табл. 1.27).

Оптимальную совокупность этих свойств обеспечивает ВГ с 20—30% ШГ при составе: 3,5—3,6% С, 2,4—2,6% Si, 0,6—0,8% Mn, 0,02—0,06% P и 0,10—0,15% РЗМ.

При этом важно отметить, что ЧВГ сохраняет высокие показатели механических свойств и в отливках с толстыми стенками (рис. 1.46).

Свойства ЧВГ в зависимости от количества ШГ в структуре металла

Относительное количество ШГ (% от всей площади, занятой графитом)	$\sigma_{в}$, кгс/мм ² (10 ⁷ Па)	δ , %	λ , кал/(см·с·°С)	ψ_p , %
10—20	32—38	2—5	0,120—0,125	1,8—2,2
20—30	38—45	2—6	0,115—0,120	2,0—2,6
40—50	45—50	3—6	0,09—0,10	3,2—4,6

Влияние термической обработки на механические свойства ЧВГ (при 20% ШГ) иллюстрируется данными табл. 1.28.

Таблица 1.28

Влияние термической обработки на свойства ЧВГ

Состояние чугуна	Матрица	Механические свойства			
		$\sigma_{в}$, кгс/мм ² (10 ⁷ Па)	$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ² (10 ⁷ Па)	δ , %	НВ
Сырое	60% Фе	42,5	33,0	3,5	170
После отжига	100% Фе	39,3	31,7	5,0	156
После нормализации	90% П	49,0	42,0	2,5	229

Таблица 1.29

Влияние температуры на свойства ЧВГ

Температура испытаний, °С	$\sigma_{в}$, кгс/мм ² (10 ⁷ Па)			δ , %		
	I	II	III	I	II	III
20	42,5	39,3	49,0	3,5	5,0	2,6
350	42,5	39,0	50,3	3,0	4,0	2,0
400	41,0	38,0	48,0	2,0	3,0	1,8
450	39,0	37,0	43,9	2,8	4,5	1,2
500	34,2	32,0	40,0	4,2	6,0	1,5
550	29,0	27,5	31,5	8,0	10,0	3,2
600	22,0	21,0	24,0	12,0	14,0	7,0

Примечание.

I — в сыром состоянии; II — после отжига (ферритная структура); III — после нормализации (перлитная структура).

При повышенных температурах механические свойства ЧВГ характеризуются данными табл. 1.29.

ЧВГ обладает хорошей $\lambda_{ж}$, а его линейная (свободная) усадка равна линейной усадке СЧ (около 1%). ψ_p изменяется в зависимости от C_s в пределах 2—4%, т. е. в 1,5—2 раза меньше, чем у ВЧШГ, и лишь немного превосходит ψ_p СЧ.

Перевод отливок из СЧ на ЧВГ, как правило, возможен без переделки моделей и литниково-питающей системы; однако для сложных фасонных и малотехнологичных отливок необходимо применение некоторых более эффективных мер по питанию отливок с обеспечением принципа направленного затвердевания.

Стабильная технология модифицирования и хорошие литейные свойства ЧВГ дают возможность получать из этого материала качественные сложные фасонные отливки, как тонкостенные, так и массивные (массой от десятков килограмм до нескольких тонн).

Ковкий чугун

Применяемый в отечественной промышленности черносердечный ковый чугун* получается в результате графитизирующего отжига белого чугуна и характеризуется повышенными σ_B , δ , a_n вследствие образования при отжиге хлопьевидного графита (ХГ). Матрица же КЧ, как и у других чугунов, может быть ферритной или перлитной в зависимости от того, что требуется главным образом от отливки: высокие δ и a_n или σ_B . Основные преимущества КЧ заключаются в однородности его свойств по сечению, практическом отсутствии напряжений в отливках, высоких механических свойствах и очень хорошей обрабатываемости. КЧ применяется преимущественно для отливок с толщинами стенок 3—50 мм, что связано со стремлением обеспечить безусловное получение структуры БЧ в литье и однородность строения и свойств во всех сечениях отливки как до, так и после отжига. При этом требования рационального конструирования отливок из КЧ (равномерность толщин стенок, плавность переходов, устранение тепловых узлов и т. д.) являются обязательными условиями обеспечения высокого качества, надежности и экономичности производства изделий.

Механические свойства КЧ, обусловленные ГОСТ 1215—59, и рекомендуемые для них составы представлены в табл. 1.30. Корректировку этих данных по C и Si следует производить по структурным диаграммам (рис. 1.30) в области I. Сравнение ГОСТ 1215—59 с зарубежными стандартами показывает, что их данные находятся на одинаковом уровне**.

Кроме свойств, обусловленных ГОСТом, в некоторых случаях представляют интерес и другие свойства, приведенные в табл. 1.31.

В КЧ, как и в СЧ и ВЧШГ, H_B зависит главным образом от матрицы, E — от графита, причем наибольшее влияние оказывает его форма; σ_B , a_n , δ зависят и от матрицы, и от графита; при этом в отличие от ВЧШГ большое влияние оказывает не только форма, но и количество графита. В связи с этим наибольшую прочность можно получить при дисперсном перлите и малом количестве наиболее компактного графита, а наибольшую пластичность — при феррите и таком же графите. Дисперсность графита почти не оказывает влияния на механические свойства КЧ, в том числе и на порог хрупкости и поведение при динамических и циклических нагрузках. При этом между значениями a_n и δ существует хорошая корреляция [49]:

δ , %	2	3	6	8	10	12
a_n , кгс·м/см ²	0,5—0,8	0,8—1,2	1,2—1,6	1,3—1,8	1,4—2,0	1,6—2,2

Однако при ПКЧ можно отметить также корреляцию между a_n и структурой матрицы: с измельчением структуры матрицы a_n увеличивается. Такая же явная связь существует между значениями σ_B и σ_{-1} (отношение около 0,45); однако при значениях $\sigma_B > 70$ кгс/мм² соотношение это остается постоянным. Весьма важна чувствительность к надразам, которая тесно связана с циклической вязкостью или демпфирующей способностью, так что значение σ_{-1} понижается при надразе у ФеКЧ на 40%, а у ПКЧ на 25%, и тем больше, чем меньше перлита в структуре.

* За рубежом в некоторых европейских странах, в частности в ФРГ, Италии, Франции и др., производится еще белосердечный КЧ, получаемый на основе процесса обезуглероживания, который применяется только для весьма тонкостенных отливок. Для его плавки широко используются вагранки, так как в металле допускается более высокое содержание серы. В ФРГ предусматриваются, например, пять марок белосердечного КЧ (от 40-5 до 65-3). Основные преимущества такого чугуна — повышенная вязкость и пригодность для сварки без предварительной и последующей ТО.

** Стандарт США ASTM A 220-71Т предусматривает, например, две марки ФеКЧ (37-18 и 35-10) и восемь марок ПКЧ (от 42-10 до 74-1), что свидетельствует о большом распространении ПКЧ в США.

**Механические свойства КЧ по ГОСТ 1215—59
и рекомендуемые составы**

Марка чугуна	HB, не более	Массовая доля элементов, %					
		C	Si	Mn	S	P	Cr
					не более		
Ферритные чугуны							
КЧ 30-6	163	2,6—3,0	} 0,9—1,3	0,3—0,6	0,18	0,20	0,08
КЧ 33-8	163	2,5—2,9					
КЧ 35-10	163	2,4—2,8	} 0,9—1,5	} 0,3—0,5	0,12	0,12	0,06
КЧ 37-12	163	2,3—2,7					
Перлитные чугуны							
КЧ 45-6	241	2,4—2,8	} 0,9—1,5	0,3—0,6	0,12	0,12	0,06
КЧ 50-4	241	} 2,4—3,0					
КЧ 56-4	269						
КЧ 60-3	269						
КЧ 63-2	269						

Примечание.
Минимальные значения σ_B (кгс/мм²), δ (%), обусловленные ГОСТ 1215—59, даны в обозначениях марок (первая цифра σ_B , вторая — δ).

Влияние химического состава на механические свойства КЧ сказывается вследствие изменения структуры металла и легированности феррита и перлита.

Углерод является основным регулятором механических свойств КЧ. Он понижает σ_B , δ , a_n , E как в FeKЧ, так и в ПКЧ. Чем выше марка КЧ, тем ниже должно быть содержание С, так как при этом не только уменьшаются количество графита и его размеры, но и улучшается его форма (рис. 1.47).

Кремний выбирают в таких пределах, чтобы при данном содержании Si толщине стенок не было выделений графита в сырой отливке, иначе свойства КЧ будут резко понижены. Повышение содержания Si в допускаемых пределах увеличивает σ_B и HB и понижает a_n вследствие легирования Fe; но если при отжиге в чугуне остается П, то Si повышает пластичность и вязкость чугуна.

Марганец сверх количества, необходимого для связывания серы [$Mn > 1,7S + (0,2 \pm 0,4)$], оказывая тормозящее влияние на графитизацию и легируя Fe, снижает δ и a_n ковкого чугуна и повышает его σ_B и HB.

Сера сверх количества, связанного марганцем, перлитизирует структуру, повышает σ_B и твердость КЧ и соответственно понижает его δ и a_n , причем это влияние сказывается сильнее, чем влияние избытка Mn. При очень высоком содержании S (~0,4%) П сохраняется независимо от длительности II стадии графитизации, причем получается ШГ, что повышает свойства ПКЧ [36].

Фосфор понижает δ и a_n . Допустимое содержание его ограничивается данными табл. 1.30. Понижение содержания P вызывает смещение порога хрупкости КЧ в сторону отрицательных температур, так что при $P < 0,1\%$ порог хрупкости FeKЧ смещается до -100°C .

Медь несколько повышает σ_B и понижает δ . Так, при 1,5% Cu значение σ_B увеличивается на 3 кгс/мм² ($3 \cdot 10^7$ Па), а δ уменьшается на 1,0—1,5%; HB же мало изменяется.

Хром допускается в количестве до 0,06% (табл. 1.30). При более высоком его содержании может не произойти полный распад карбида и пластические свойства КЧ понижаются.

Газосодержание исходного БЧ, зависящее от технологического процесса плавки и выбора плавильного оборудования, оказывает значительное влияние на свойства КЧ. Отрицательное влияние азота наблюдается при его содержании в металле $110 \cdot 10^{-4} \%$; аналогичное влияние кислорода — при содержании $40 \cdot 10^{-4} \%$.

Влияние диаметра образца и механической обработки сказывается более отрицательно на свойствах КЧ, чем СЧ и ВЧШГ; особенно это относится к δ и a_n . Так, например, влияние толщины образца характеризуется следующими относительными данными [8, 30]:

D образца, мм	6	16
σ_B	$1,10 \pm 0,05$	1,0
$\sigma_{0,2}$	1,05	1,0
δ	$1,20 \pm 0,05$	1,0

D образца, мм	32
σ_B	$0,85 \pm 0,05$
$\sigma_{0,2}$	$0,90 \pm 0,05$
δ	$0,60 \pm 0,05$

Механическая же обработка образцов приводит к такому относительному изменению свойств: σ_B — 0,95, δ — 0,90, a_n — 0,75, σ_{-1} — 1,3. Следовательно, более высокие свойства получаются в необработанных образцах. Однако усталостная прочность после механической обработки повышается. При этом следует отметить, что влияние механической обработки зависит от состояния поверхности образца: когда она имеет незначительные дефекты, незначительную обезуглероживленную зону и перлитную кайму, это влияние невелико (3—4%), а иногда некоторые свойства даже повышаются.

Влияние температуры на механические свойства КЧ проявляется, главным образом, при нагреве выше 400°C и выражается в понижении σ_B и $\sigma_{0,2}$ и повышении δ . При этом FeКЧ характеризуется более низким порогом хрупкости, чем ПКЧ (обычно около -80°C). С повышением твердости ПКЧ порог хрупкости еще повышается.

Таблица 1.31

Механические свойства КЧ, не вошедшие в ГОСТ

Тип чугуна	При растяжении			При сжатии			При изгибе	
	E	$\sigma_{0,2}$	σ_{-1p}	μ_{Π}	$\sigma_{C'}$ кгс/мм ² (10 ⁷ Па)	ψ , %	$\sigma_{K'}$ кгс/мм ² (10 ⁷ Па)	$f_{\text{свс}}$, мм
		кгс/мм ² (10 ⁷ Па)						
Ферритный Перлитный	15 500—17 000	20—25	8—10,5	0,28—0,29	90—120	10—18	60—75	>30
	17 600—18 500	30—50	11—14	0,28—0,29	140—180	3,5—6	90—120	15—30
Тип чугуна	При изгибе			При кручении		При срезе		При вибрации φ при нагрузке, равной 1/3 σ _{0,2} , %
	σ _{-1'} кгс/мм ² (10 ⁷ Па)	σ _{K'} , кгс·м/см ² (10 ⁶ Па·м)		τ _B	τ ₋₁	τ _{в, ср}	G	
		без надреза с вадрезом						
Ферритный Перлитный	10—16	6—20	1,3—2,5	32—40	11—13	27—34	6 300—7 000	13—15
	18—22	2—8	0,5—1,6	46—72	18—21	36—50	6 800—7 500	10—13

Сопротивление ударно-усталостному разрушению у ПКЧ выше, чем у ФЕКЧ (рис. 1.48); однако наибольшее значение имеет температура испытания, при понижении которой усталостная и ударно-усталостная прочности сильно понижаются.

Физические свойства КЧ, так же как и механические, изменяются в процессе отжига вследствие изменения структуры матрицы (табл. 1.32). Плотность КЧ при отжиге уменьшается, значение α несколько увеличивается, значительно повы-

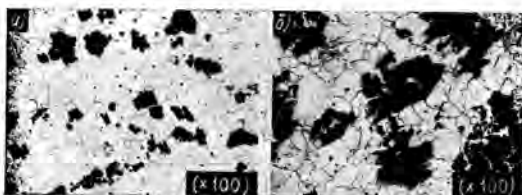


Рис. 1.47. Характер графитовых включений в ковком чугуне ($\times 100$): а — КЧ 37-12; б — КЧ 33-8

шается λ , что способствует уменьшению напряжений, повышается $\mu_{\max}$, что особенно ценно для якорей, полюсных наконечников и других деталей электрических машин, в которых стремятся достигнуть наименьших потерь на гистерезис. Вместе с тем вследствие понижения ρ несколько уменьшаются потери на токи Фуко.

Износостойкость является одним из важнейших эксплуатационных свойств деталей, работающих на износ, и определяется главным образом твердостью,

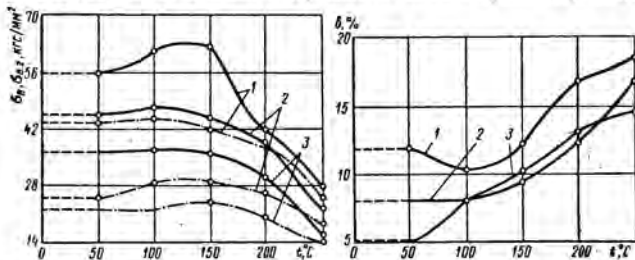


Рис. 1.48. Влияние температуры на механические свойства ковкого чугуна: 1 — КЧ 56-4; 2 — КЧ 45-6; 3 — КЧ 35-10; — — — — σ_B ; - - - - $\sigma_{0.2}$

вследствие чего в этих случаях применяются только ПФЕКЧ и ПКЧ (табл. 1.33). При трении чугунного образца по закаленному стальному наплучшие результаты обеспечивает ПКЧ с 90—100% П и с HV 220—260 при работе как на повышенных скоростях, так и при повышенных давлениях. Конечно, при сухом трении износ значительно выше, чем при трении со смазкой.

Сравнительные испытания на износ КЧ при трении со смазкой (давление 200 кгс/см²) и при сухом трении (давление 20 кгс/см²) показали, что ПКЧ, обладающий высокой износостойкостью в условиях работы со смазкой даже при удельном давлении 300 кгс/см², очень быстро срабатывается при сухом трении.

Физические свойства КЧ до и после отжига

Тип чугуна	γ_{20} г/см ³	$\alpha_{20}^{100} \cdot 10^6$ 1/°C	λ_{20}^{100} кал/(см·с·°C)	c_{20}^{100} кал/(г·°C)
ФеКЧ	7,20—7,24	10,5—11,0	0,13—0,15	0,110—0,122
ПКЧ	7,3—7,5	10,3—10,8	0,12—0,13	0,126—0,130
БЧ (до отжига)	7,35—7,7	9,0—10,0	0,07—0,12	0,125—0,137

Тип чугуна	c_{20}^{1000} кал/(г·°C)	ρ_{20} мг/см ³	$\mu_{\max}$ Гс/Э	B_r , Гс	H_c , Э
ФеКЧ	0,14—0,15	30—38	1500—2300	5500—7000	1,6—3,5
ПКЧ	0,15—0,16	40—45	300—800	6000—7500	4—10
БЧ (до отжига)	0,15—0,16	45—70	180—230	6500—7500	5—11

Таблица 1.33

Износ различных видов ковкого чугуна при испытании на машине типа Амслера

Тип чугуна	HB	Износ при трении, г	
		без смазки за 3000 оборотов, при $P = 10$ кгс/см ² (10^4 Па)	со смазкой за 72 000 оборотов, при $P = 200$ кгс/см ² ($200 \cdot 10^4$ Па)
ПФеКЧ	179—183	0,0090—0,0100	0,0540—0,0800
ПФеКЧ (с Mn = 0,9÷1,0%)	183—191	0,0080—0,0092	0,0100—0,0200
ПКЧ	212	0,0072—0,0085	(при $P = 300$ кгс/см ²) 0,0010—0,0015
ПКЧ	228	0,0023—0,0035	0,0010—0,0012
ПКЧ	241	0,0019—0,0025	0,0008—0,0010
ПКЧ (с Cu ≤ 1,0%)	212	0,0069—0,0080	0,0005—0,0008

ПФеКЧ имеет сравнительно низкие антифрикционные свойства в условиях работы со смазкой и весьма хорошие при сухом трении.

Для повышения антифрикционных свойств в условиях сухого трения возможно, как показали исследования [8, 54], использовать КЧ с повышенным содержанием серы (0,25—0,4%). Наличие в структуре ПКЧ включений графита и повышенного количества сульфидов способствует повышению антифрикционных и противозадирных свойств в условиях трения скольжения. Коэффициент трения ПФеКЧ равен при жидкостном трении 0,05—0,10, а при сухом 0,30—0,45. В случае применения ПКЧ в качестве антифрикционного материала зазор между валом и втулкой делается на 10—15% больше, чем при использовании бронзовых втулок.

Герметичность отливок из КЧ обеспечивается высокой плотностью и благоприятным расположением и формой графита. Оба эти условия обеспечиваются в КЧ, если литье производится правильно и в достаточной мере. Тогда КЧ выдерживает испытание при давлении более 200 кгс/см², что позволяет его использовать для производства большого ассортимента деталей гидро-, газо- и паропроводных установок.

Коррозионная стойкость КЧ в условиях атмосферного воздействия, особенно при наличии на деталях литойной корки, покрывающейся защитными окислами, весьма высока и по некоторым данным превосходит в этом отношении сталь и СЧ. Эта стойкость может быть еще повышена при добавке 0,25—0,75% Си, а при 2% Си высокая стойкость достигается даже в загрязненной дымом и отходящими газами атмосфере. В особо ответственных случаях стойкость КЧ может быть дополнительно увеличена металлическими (Zn, Cd, Ni, Cr и др.) и неметаллическими покрытиями.

Металлические покрытия наносятся термическим способом, например при горячем цинковании (погружением), и электрохимическим способом (хромирование, цинкование и др.). Неметаллические покрытия применяются двух типов: органические (лакокрасочные и синтетические) и неорганические. Наибольшее применение имеет цинкование, которое можно производить погружением или электрохимическим способом. При горячем цинковании погружением на отливках из КЧ образуется более толстый слой цинка, чем при тех же условиях на стали.

Если внешнему виду готового изделия придается особое значение, то рекомендуется гальванопокрытие — процесс, гарантирующий хорошее качество поверхности и надежную защиту от коррозии. К неметаллическим покрытиям относятся покрытия на основе фосфата железа или пленки Fe_2O_3 . Для обеспечения повышенной сопротивляемости нагреву или тепловому атмосферному воздействию деталей из КЧ в котлах, печах и т. д. применяют силиконовые покрытия с алюминиевыми пигментами, которые обеспечивают защиту поверхностей, работающих при температурах до 540° С. К средствам, предохраняющим от коррозии, относятся также защитные (жировые и масляные) пленки. Однако все эти способы предохранения от коррозии эффективны только при слабых реагентах; при сильных же реагентах необходимо применять специальные сплавы.

Обработываемость КЧ является его особо благоприятным технологическим свойством, которое в ряде случаев определяет выгодность его применения. Хорошая обрабатываемость КЧ достигается благодаря наличию в его структуре ХГ, облегчающего излом стружки и играющего роль смазки инструмента, а улучшению обрабатываемости $FeKЧ$ способствует также низкая *НВ*. Уменьшение трения в зоне контактирования при обработке $FeKЧ$ позволяет снизить усилие резания на 40% по сравнению с усилием резания, необходимым для обработки стали, а при обработке $PKЧ$ с *НВ* 190—240 — на 10—30%. Естественно, чем выше марка $PKЧ$, тем обычно больше его *НВ* и выше обрабатываемость (рис. 1.49).

Литейные свойства КЧ определяются его состоянием до отжига. В общем, можно отметить, что вследствие низкой эвтектичности и отбеленного состояния этот чугун характеризуется пониженными литейными свойствами.

Жидкотекучесть $\lambda_{ж}$ имеет для КЧ большое значение, так как большинство отливок имеет сложную конфигурацию и тонкие стенки. Однако она определяется, как указывалось, углеродным эквивалентом жидкотекучести $C_{э.ж} = (C + 1/4Si + 1/2P)$, который для КЧ имеет малое значение, вследствие чего низка и $\lambda_{ж}$ (рис. 1.50). Особенно резко понижается $\lambda_{ж}$ при высоком содержании S и Mn вследствие образования сульфидов (Mn, Fe) S, повышающих вязкость металла. Остальные элементы также оказывают влияние на $C_{э.ж}$, но в общем оно незначительно из-за их малого содержания, хотя все же можно отметить положительное влияние Си. Влияние модифицирования сказывается следующим образом: В и Te несколько повышают, а Al и В несколько снижают $\lambda_{ж}$ вследствие образования тугоплавких неметаллических включений (Al_2O_3 , $AlNi$, BNi).

Объемная и линейная усадки БЧ, применяемого при производстве КЧ, велики как при кристаллизации, так и в твердом доперлитном состоянии при сравнительно небольшом предсудачном расширении, как это видно из данных, приведенных в гл. IX.

С повышением содержания С и Si все этапы линейной усадки сокращаются, и только $\epsilon_{рас}$ несколько увеличивается при повышении содержания С. Вместе с тем следует отметить, что модифицирование (например, Вi и Те) также оказывает влияние, уменьшая несколько $\epsilon_{рас}$ и увеличивая $\epsilon_{лит}$. Что касается усадки в жидком состоянии, то она возрастает с повышением температуры; в процессе же затвердевания объемная усадка уменьшается с повышением содержания С (рис. 1.51), вследствие чего уменьшается и объем усадочных дефектов. Борьба с усадочными дефектами ведется на основе общих для всех типов чугуна положе-

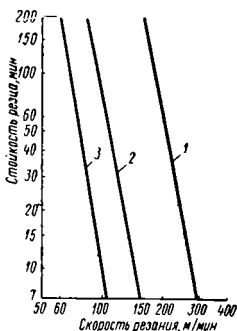


Рис. 1.49. Сравнительная обрабатываемость разных марок КЧ (при точении твердосплавными резцами):

1 — КЧ 35-10; 2 — КЧ 56-4;
3 — КЧ 63-2

ний (см. гл. IX), причем, как правило, применяются боковые приемы (рис. 1.52). Последствия $\epsilon_{лит}$ выражаются, главным образом, в образовании напряжений и трещин в отливках. В этом отношении КЧ является очень неблагоприятным материалом вследствие высокого E , низких значений δ и σ_B до отжига, повышенной $\epsilon_{лит}$ и низкой λ . Вследствие этого в отливках из КЧ легко образуются горячие и холодные трещины, для борьбы с которыми следует понижать до минимума содержание Р, исключать возможность образования избытка S, по возможности снижать содержание N и O в чугуне, заливку металла осуществлять в интервале 1440—1470° С. Указанные рекомендации необходимо особенно строго выполнять при крупных отливках сложной конфигурации со значительным перепадом толщин стенок (10—40 мм), имеющих повышенную склонность к образованию горячих трещин (см. общие положения в гл. IX).

Кроме состава металла, на образование усадочных раковин и горячих трещин влияют и свойства формы. Особо следует отметить, что развитие горячих трещин усиливается под влиянием увеличения влажности формы, а также добавок каменного угля или смолы. Последнее, очевидно, связано с тем, что продукты разложения добавок образуют жидкую теплоизолирующую пленку, замедляющую затвердевание отливки. Развитие горячих трещин уменьшается при увеличении содержания бентонита в формовочной смеси, под влиянием сушки форм

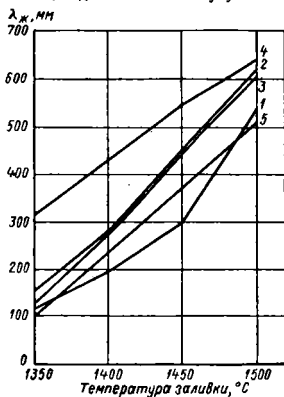


Рис. 1.50. Зависимость жидкотекучести КЧ от химического состава и температуры заливки металла:

1 — 2,6% С; 1,1% Si; 0,4% Mn; 0,08% S; 0,1% P; 0,06% Cr; 2 — 2,6% С; 1,6% Si; 0,4% Mn; 0,08% S; 0,1% P; 0,06% Cr; 3 — 2,6% С; 1,6% Si; 0,4% Mn; 0,4% S; 0,1% P; 0,06% Cr; 4 — 2,6% С; 2,0% Si; 0,4% Mn; 0,4% S; 0,1% P; 0,06% Cr; 5 — 2,6% С; 2,0% Si; 1,0% Mn; 0,4% S; 0,1% P; 0,06% Cr

или обработки углекислотой, при увеличении размера зерен песка (чем крупнее песок, тем более шероховата поверхность формы, т. е. тем больше поверхность охлаждения отливки и тем быстрее происходит ее затвердевание). В других случаях сильная шероховатость может способствовать развитию горячих трещин, усиливая механическое торможение усадки. Опыты с кольцевыми пробами, испытывающими механическое торможение усадки со стороны стержня, показали, что развитие горячих трещин находится в обратной зависимости от его податливости. Однако следует отметить, что не существует прямой связи между податливостью стержней и их σ_c . Например, стержни, высушенные при очень высокой температуре, несмотря на низкую σ_c , почти не отличаются по податливости от нормально высушенных стержней. Что касается мер предохранения против холодных трещин, то они являются общими для всех чугунов и рассматриваются особо (см. гл. IX), а в отношении состава металла может быть рекомендовано то же, что было указано для предотвращения образования горячих трещин.

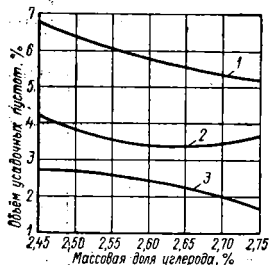


Рис. 1.51. Влияние углерода на объемную усадку КЧ в процессе затвердевания и на объем усадочных пустот:

1 — общий объем усадочных пустот; 2 — концентрированные усадочные раковины; 3 — усадочная рыхлота

Термическая обработка отливок из КЧ — нормальный технологический процесс, причем графитизирующий отжиг является всегда основной и обязательной технологической

операцией. Он применяется в двух стадиях (I — при высокой и II — при низкой температуре) для разложения свободного цементита и цементита перлита при FeКЧ и в одной I стадии при ПКЧ. Сопутствующее при этом в I стадии

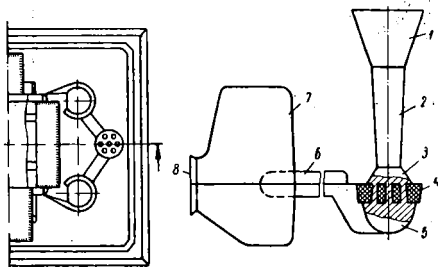


Рис. 1.52. Литниковая система и боковая приливка для отливок из КЧ:

1 — литниковая чаша; 2 — стояк; 3 — верхний металлоприемник; 4 — ветка (дровсель); 5 — нижний металлоприемник; 6 — литниковый код; 7 — боковая приливка; 8 — шейка приливы

обезуглероживание имеет ограниченные размеры и зависит от окислительного характера среды.

Типовой режим отжига отливок из FeКЧ (рис. 1.53) включает следующие операции: нагрев до 930—1050° С; выдержку при этой температуре до полного завершения I стадии графитизации; промежуточное охлаждение до 760° С, т. е. несколько выше интервала критических температур; медленное контролируемое охлаждение со скоростью не более 5° С/ч вплоть до 700° С, т. е. через весь интер-

вал критических температур, или соответствующую выдержку при этой температуре для распада перлита; охлаждение до 550—600° С (медленное, а затем быстрое во избежание образования «белого излома»). Для ускорения отжига применяют: повышение температуры выдержки отливок на I стадии вплоть до 1050° С*; повышение содержания Si в чугунах; увеличение скорости охлаждения отливок в форме; предварительную закалку или низкотемпературную обработку (НТО) отливок при 300—450° С в течение 3—5 ч; модифицирование чугуна Al, В, Bi, Ti и др.; проведение отжига отливок без упаковки в контролируемой атмосфере. Нагрев отливок осуществляется обычно с максимальной скоростью, допускаемой конструкцией и мощностью печи. Окончательное охлаждение отливок производится либо медленно с печью до 300° С, либо быстро на воздухе со средней

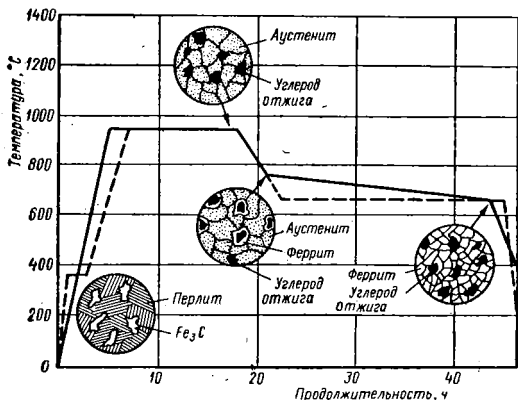


Рис. 1.53. Типовой режим отжига отливок из FeKЧ

скоростью 100° С/ч. При замедленном охлаждении в области 350—500° С наступает явление «белого излома»**, сопровождающееся понижением α_n , которое может быть устранено «флект»-процессом, т. е. нагревом до 650° С с последующим быстрым охлаждением. Этому явлению способствует Р, а препятствуют Si (~1,0%) и в еще большей степени Мо (0,12—0,2%).

Отжиг для получения ПКЧ осуществляется по режимам, приведенным на рис. 1.54 и в табл. 1.34. При этом I стадия остается неизменной, а последующие стадии ТО в зависимости от химического состава, физико-механических свойств и возможностей производства проводятся так, чтобы перлит не распадался или количество его в структуре увеличилось. Получение ПКЧ может производиться, как видно из табл. 1.34, либо специальной ТО (нормализацией) частично или полностью отожженного FeKЧ, либо посредством легирования Mn, Mo и другими элементами, способными задержать развитие II стадии графитизации (эти отливки могут отжигаться совместно с отливками из обычного для получения FeKЧ состава или по специальному режиму с исключением или сокращением II стадии). Остальные виды ТО (закалка, закалка и отпуск и химико-термическая обработка)

* Повышение температуры выдержки на первой стадии графитизации несколько ухудшает форму графита и понижает свойства КЧ.

** Явление «белого излома» или «ферритной хрупкости» является следствием межкристаллического разрушения из-за микрон неоднородности по Si, P, N и другим элементам и выделения некоторых фаз по границам зерен и блоков.

Режимы термической обработки для получения ПКЧ [8]

Номер режима по рис. 1.54	Режим отжига	Механические свойства		
		σ_B , кгс/мм ²	δ , %	НВ не более
Нелегированный КЧ				
1	I стадия при $t = 950 \div +970^\circ\text{C}$, снижение t до 900°C , нормализация, нагрев и выдержка в течение 8 ч при $t = 660 \div 690^\circ\text{C}$	50—54	2—4	241
2	I стадия при $t = 950 \div +970^\circ\text{C}$, снижение t до 900°C , нормализация, нагрев до $t = 870^\circ\text{C}$ и выдержка в течение 35—40 мин, закалка в масле ($t = 50 \div 55^\circ\text{C}$), отпуск 3—4 ч при 520°C	88—90	1,5—2	241
3	I стадия при $t = 950 \div +970^\circ\text{C}$, снижение t до 840°C с последующей выдержкой перед закалкой в масле ($t = 50 \div 55^\circ\text{C}$), отпуск 1,5—2 ч при 650°C	64—67	2,5—4	241
4	Полный процесс двухстадийного отжига, повторный нагрев до $t = 900^\circ\text{C}$, выдержка в течение 45 мин, воздушная закалка или нормализация	76—78	2,5—3	248
5	Полный процесс двухстадийного отжига, повторный нагрев до $t = 800^\circ\text{C}$, выдержка в течение 1,5 ч, закалка в масле ($t = 50 \div 55^\circ\text{C}$), отпуск 1,5—2 ч при 650°C	62—64	3—5	207
Легированный КЧ				
6	I стадия при $t = 950 \div +970^\circ\text{C}$, ускоренное охлаждение садки до 500°C , нагрев до $t = 700^\circ\text{C}$, выдержка в течение 30—35 ч	66—68	4,5—5	223 *
		56—58	3,5—4	217 **
7	I стадия при $t = 950 \div 970^\circ\text{C}$, снижение t садки до $840—850^\circ\text{C}$, нормализация, повторный нагрев до $t = 840^\circ\text{C}$ с выдержкой 45 мин, закалка в масле ($t = 50 \div 55^\circ\text{C}$), отпуск 15 ч при $t = 700^\circ\text{C}$	67—70	4,5—6,5	227 *
		65—67	3,6—5	227 **
8	Полный режим двухстадийного отжига	60—65	2,5—4	217 *
		63—65	3,5—4,5	228 **

• Легирование серой ($\text{Mn/S} = 1,0$).
• Легирование марганцем ($\text{Mn/S} = 8 + 10$).

* Легирование серой ($\text{Mn/S} = 1,0$).** Легирование марганцем ($\text{Mn/S} = 8 \div 10$).

не отличаются от применяемых для других чугунов и рассматриваются особо (гл. VIII).

Печи для термической обработки весьма разнообразны. При малом объеме производства или большом разнообразии марок производимого КЧ устанавливают печи периодического действия, из которых предпочитают элеваторные или колпаковые. Для садок массой от 2 до 5 т предпочтительнее применять колпаковые печи, для садок массой от 5 до 20—25 т — элеваторные печи, которые позволяют осуществлять загрузку и разгрузку подвижных подлин вне печи, причем каждая печь имеет свой вертикальный подъемник.

При крупносерийном производстве отливок наиболее рациональный тип печи для ТО — проходная методическая печь с электро- или радиационным обогревом, нейтральной атмосферой, с загрузкой отливок небольшими партиями, располагаемыми на поддонах. Потери времени при нагреве и охлаждении отливок в такой печи минимальны при высокой однородности процесса и возможности выполнения различных режимов ТО для получения ФЕКЧ и ПКЧ.

Совершенствование процесса отжига идет также и по пути устранения упаковочного материала (песка) и тары; однако в некоторых случаях их все же оставляют для фиксации габаритов укладки и устранения коробления литья. В камерных печах горшки могут собираться в вертикальные столбы для лучшего заполнения габаритов печи. В проходных печах с контролируемой атмосферой применяют облегченные горшки (из-за низкой высоты садки — до 1 м), изготовленные из гофрированной жароупорной листовой стали, сборные из секций жароупорного проката, литые и т. д. При этом в стенках горшков для их облегчения имеются многочисленные отверстия. В зависимости от качества жароупорного материала и температуры окружающей среды продолжительность работы отдельных узлов и деталей отжигательных печей и тары (радиационные трубы, направляющие рельсы, горшки и т. д.) находится в пределах от 0,5 до 5 лет.

Применение отливок из ковкого чугуна широко распространено во многих отраслях промышленности*. Отливки из КЧ весьма разнообразны (табл. 1.35) и могут изготавливаться массой от нескольких граммов до 250 кг, а в отдельных случаях и до 2000 кг. Минимальная толщина стенок составляет 3—4 мм, максимальная — 50 мм (в редких случаях больше).

Конструкционный алюминиевый чугун

Структурная диаграмма алюминиевых чугунов, в том числе и конструкционных (с содержанием до 4% Al), представленная на рис. 1.55, показывает наличие

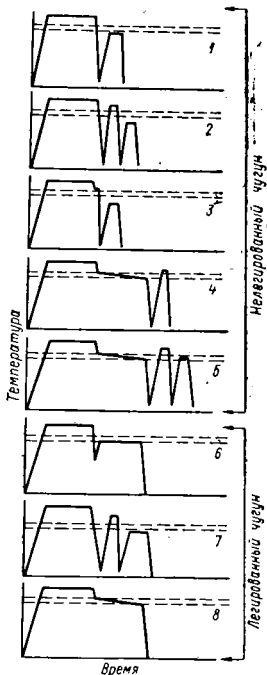


Рис. 1.54. Схемы режимов ТО при производстве ПКЧ (штриховые линии показывают интервал критических температур)

* В США особенно большое применение имеет ПКЧ.

Характерные отливки из КЧ и применяемые для них составы

Отливки	Марка (ГОСТ 1215—59)	Массовая доля элементов, %					Модифицирующие элементы, %
		C	Si	Mn	P, не более	S, не более	
Автостроение							
Детали шасси и подвески грузовых автомобилей: кронштейны, ступицы колес, картеры мостов и дифференциалов и т. д.	КЧ 35-10	2,5—2,7	1,0—1,2	0,3—0,5	0,12	0,12	Al — 0,015, Ti — 0,010, B — 0,003, Bi — 0,002
	КЧ 37-12	2,4—2,6	1,1—1,35	0,4—0,5	0,12	0,12	
Тонкостенное литье типа выхлопных коллекторов, втулок, рычагов и т. д.	КЧ 35-10	2,5—2,8	1,1—1,3	0,3—0,5	0,12	0,12	
Детали шасси и корпусные детали легкового автомобиля: картер редуктора, коробка дифференциала, ступица колеса	КЧ 45-6	2,7—2,9	1,05—1,2	0,3—0,35	0,06	0,06 *	
	КЧ 50-4	2,6—2,8	1,1—1,3	0,4—0,5	0,15	0,16	
Детали автоматических коробок передач легкового автомобиля: корпуса сцепления и планетарного механизма, каретка сателлитов и т. д.	КЧ 56-4	2,5—2,7	1,0—1,2	0,3—0,5	0,12	0,12	Al — 0,015, Ti — 0,010, B — 0,003, Bi — 0,002
	КЧ 60-3	2,5—2,7	1,2—1,4	1,0—1,2	0,12	0,12	
	КЧ 60-3	2,5—2,7	1,2—1,4	0,2—0,4	0,12	0,2—0,4	Al — 0,015, Ti — 0,010

Отливки	Марка (ГОСТ 1215—59)	Массовая доля элементов, %					Модифицирующие элементы, %
		C	Si	Mn	P, не более	S, не более	
Сельхозмашиностроение							
Детали шасси, корпусные и т. д.	КЧ 33-8 КЧ 35-10	2,5—2,7	1,2—1,45	0,4—0,55	0,14	0,20	Al — 0,020, B — 0,002, Bi — 0,001
	КЧ 35-10 КЧ 35-10	2,6—2,8 2,7—3,1	1,1—1,3 0,9—1,2	0,4—0,6 0,45—0,65	0,18 0,20	0,15 0,20	Al — 0,020 Al — 0,030
Среднее сельскохозяйственное литье: кронштейны, детали приводных механизмов, втулки	КЧ 33-8	2,6—2,9	0,8—1,3	0,5—0,7	0,20	0,20	Al — 0,020, B — 0,010, Bi — 0,002
	КЧ 33-8 КЧ 35-10	2,8—3,0 2,5—2,8	0,8—1,1 1,2—1,4	0,5—0,8 0,25—0,45	0,15 0,20	0,22 0,17	Al — 0,015 Al — 0,010
Мелкое литье							
Фиттинги, пробки, барашки и т. д.	КЧ 33-8 КЧ 33-8	2,6—2,9 2,6—2,8	0,9—1,3 1,2—1,5	0,35—0,6 0,35—0,45	0,15 0,10	0,18 0,12	Al — 0,020 Al — 0,025
	* Содержание Ni до 0,15% . Cu — до 0,15% .						

двух стабильных и трех метастабильных областей. Усматривается постепенное уменьшение содержания С с повышением количества Al, причем конструкционные чугуны (области I и II рис. 1.55) могут быть частично (область I) или полностью (область II) графитизированы.

Каждый 1% Al повышает температуру ликвидуса и эвтектики соответственно на 10 и 20°С [5, 21], вследствие чего интервал кристаллизации сужается. При метастабильных условиях кристаллизации алюминиевые чугуны, наряду с эвтектическим цементитом, существует первичный карбид Fe_3AlC_x , присутствующий в сплавах, содержащих $\geq 1,0\%$ Al.

Процесс формирования структуры в отливках из конструкционных алюминиевых чугунов завершается эвтектондным превращением переохлажденного А. Образующийся в отливках (при $Si \geq 1,0\%$) эвтектонд (рис. 1.56) состоит из Fe и диспергированного в нем вторичного Fe_3AlC_x . При этом общее содержание Al в чугуне примерно поровну распределяется между составляющими эвтектонда. Форма графитных кристаллитов в литой микроструктуре (при $Si < 1,0\%$) близка к вермикулярной, а при модифицировании силикокальцием (до 1,0%) или силикометаллом (до 0,5%) становится более компактной и даже шаровидной. Стабильность получения ШГ в структуре достигается при модифицировании расплавов эвтектического

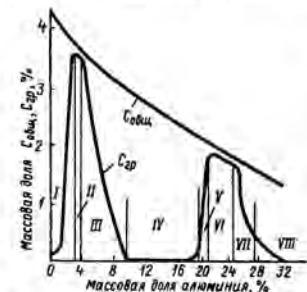


Рис. 1.55. Структурная диаграмма алюминиевых ЧПГ ($\Sigma Si, Mn, P, S \leq 1,5\%$).

Обозначения областей: I — феррит + графит + цементит; II — феррит + графит; III — феррит + Fe_3AlC_x + графит; IV — феррит + Fe_3AlC_x ; V — феррит + Fe_3AlC_x + графит; VI — феррит + графит; VII — феррит + графит + Al_4C_3 ; VIII — феррит + Al_4C_3 .

новится более компактной и даже шаровидной. Стабильность получения ШГ в структуре достигается при модифицировании расплавов эвтектического



Рис. 1.56. Микроструктура алюминиевого чугуна (3,5% C; 3,0% Al; 1,5% Si) в сыром состоянии ($\times 450$).

или заэвтектического состава комплексными модификаторами (КМ) или лигатурами Mg — PЗМ, причем структура зависит от содержания Al и Si (рис. 1.57).

Углеродный эквивалент алюминиевых чугунов может быть определен по формуле $C_2 = C_{общ} + 0,25Si + 0,15Al$.

Механические свойства конструкционных алюминиевых чугунов в сравнительно небольшой степени зависят от содержания в них С (3,0—3,5%) и Al (2,0—3,0%), но очень чувствительны к концентрации в сплавах Si. Наиболее благоприятное сочетание характеристик прочности, вязкости и пластичности достигается в алюминиевых чугунах при содержании в них $Si \leq 1,0\%$ и модифицировании. Матрица низкокремнистых чугунов является, в основном, перлитной или состоит из смеси перлита и эвтектоида (феррит + Fe_3AlC_x вторичный). В табл. 1.36 приведены механические свойства модифицированных конструкционных алюминиевых чугунов в зависимости от формы графита и способа получения отливки [5, 21]. Корреляция между σ_B и HV алюминиевого чугуна с ПГ или ВГ соответствует формуле $HV = 100 + a\sigma_B$, где $a = 3,1$ для отливок в песчаные формы; $a = 3,9$ для отливок в кокиль.

При равной прочности алюминиевые чугуны отличаются от обычных более низкой твердостью HV (на 40—60 ед.) [21]. Ударная вязкость алюминиевых чугунов с низким содержанием Si (до 0,5%) и P (до 0,05%) практически не изменяется при понижении температуры до $-80^\circ C$. Марганец способствует повышению σ_B и HV (на 10—15%) и не снижает a_n , если его концентрация не превышает 0,8—1,2%. Фосфор в алюминиевых чугунах допускается в большем количестве (в 1,5—2 раза), чем в обычном чугуне того же назначения.

Для получения ферритной матрицы в сыром состоянии алюминиевых ВЧШГ необходимо иметь высокую сумму $Si + Al (\geq 5\%)$ при диаметре отливки ≥ 60 мм), причем наиболее высокие характеристики вязкости ($a_n \geq 6+8$ кгс·м/см²) достигаются при соотношении концентраций $Si : Al \approx 1 : 1$ [60]. Алюминиевые конструкционные чугуны легируют Ni (до 0,8—1,5%), Cu (до 0,6—0,8%), Cr (до 0,2—0,3%), V или Ti (до 0,2—0,4%) и Mo (до 0,2—0,4%) главным образом для измельчения первичных структурных образований и получения однородной микроструктуры продуктов распада переохлажденного аустенита в различных сечениях отливки. Эти чугуны подвергаются также различным видам термической обработки и азотированию.

Графитизирующий отжиг при $870—970^\circ C$ используется для получения компактных форм графита (углерод отжига) в специальных высокоуглеродистых чугунах (2,6—2,8% С), предназначенных для азотирования (чугуны типа nitrocastigon). Графитизирующий отжиг при $680—720^\circ C$ предназначается для ферритизации матрицы низкокремнистых алюминиевых чугунов с ШГ. При такой ТО в чугуне развивается «ферритная» хрупкость, которая является обратной и подавляется ускоренным охлаждением в интервале температур $400—500^\circ C$. При этом отожженные на феррит алюминиевые ЧШГ отличаются очень высокой способностью к хрупкому разрушению, которая тем больше, чем выше содержание Si (табл. 1.37).

Физические свойства алюминиевых чугунов: $\gamma = 7,0 \div 7,1$ г/см³; $\alpha_{20}^{100} = 11,5 \cdot 10^{-6}$ 1/°C; $\alpha_{20}^{700} = 14,7 \cdot 10^{-6}$ 1/°C; $\rho = 80$ мкОм·см; $\lambda = 0,2$ кал/(см·с·°C) при $100^\circ C$ и $\lambda = 0,1$ кал/(см·с·°C) при $500^\circ C$.

Прокаливаемость низкокремнистых алюминиевых чугунов с ВГ и ШГ в 1,5—2 раза выше, чем обычных, и растет при легировании Mn, Cu, Cr и Mo, что позволяет при упрочняющих видах ТО вместо улучшения применять нормализацию обычную (или высокотемпературную). В результате нормализации возможно

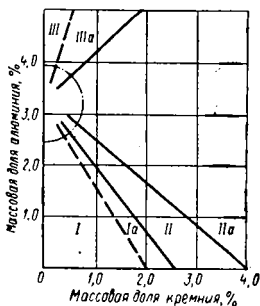


Рис. 1.57. Структурная диаграмма алюминиевого чугуна с ШГ при $С_{общ} \leq C_{max}$ и диаметре отливки не менее 60 мм:

I — перлит + эвтектоид + графит + цементит; Ia — перлит + эвтектоид + графит; II — перлит + эвтектоид + феррит + графит; IIa — феррит + графит; III — эвтектоид + графит; IIIa — эвтектоид + феррит + графит (эвтектоид = феррит + Fe_3AlC_x вторичный)

Механические свойства низкокремнистых алюминиевых чугунов *

Графит	σ_B , кгс/мм ² (10 ⁷ Па)	σ_H , кгс/мм ² (10 ⁷ Па)	δ , %	a_H , кгс-м/см ²	HV	Способ отливки	Модифицирование
Пластинчатый	30—40	55—60	—	≥ 2	180—	В песчаную форму	СК или силикоши-металл
	35—45	50—55	—	≥ 1	210—		
	25—30	45—50	—	—	210—	Непрерывное литье	
					240— 220— 250		
Шаровидный	50—80	—	10—12	6—8	220—	В песчаную форму Центробежное литье	КМ или Mg—РЗМ
	90— 100	—	3—5	2—4	260— 260— 300		

* Состав чугунов: 3,2—3,5% С, $\leq 1,0\%$ Si, 2,0—3,0% Al, 0,2—0,4% Mn, $\leq 0,1\%$ P, $\leq 0,03\%$ S.

* Состав чугунов: 3.2—3.5% С, $\leq 1.0\%$ Si, 2.0—3.0% Al, 0.2—0.4% Mn, $\leq 0.1\%$ P, $\leq 0.03\%$ S.

получить не только необходимую степень дисперсности феррито-карбидной смеси (особенно после горячей выбивки отливок), но и бейнитные структуры (в отливках диаметром ≤ 30 мм).

При высокотемпературной нормализации (близкой к температуре эвтектики) формируется ледебуритная оторочка вокруг кристаллитов графита компактных

Таблица 1.37

Влияние Si на свойства
конструкционного алюминиевого чугуна

Содержание Si, %	σ_B , кгс/мм ²	δ , %	a_H , кгс-м/см ²	Работа ударного изгиба, кгс-м/см ²	
				A_3	A_p
0,5	45	32	12,9	7,4	5,5
1,5	46	28	8,4	6,3	2,1
2,5	51	20	7,8	6,0	1,8

Примечание:

A_3 — работа зарождения трещины;

A_p — работа развития трещины.

кими свойствами: $\sigma_B \geq 80 + 100$ кгс/мм²; $a_H \geq 2,0 + 2,5$ кгс-м/см²; $HRC \leq 28 + 38$. Эти чугуны обнаруживают склонность к искусственному и естественному старению. Полное разупрочнение при естественном старении отмечается по истечении 2000 суток. Среднетемпературный отпуск чугунов со структурой верхнего бейнита вызывает хрупкость отливок.

Для азотирования (при 520—620° С) используются алюминиевые чугуны с компактным или шаровидным графитом, легированные Сг (до 0,2%) и Мо (до 0,3—0,4%) с предварительной ТО — улучшением (нормализация + высокий отпуск). После азотирования в течение 20—40 ч на отливках получается слой толщиной до 0,6—0,8 мм, обладающий высокой твердостью ($HV \geq 1100 + 1200$), коррозионной стойкостью и износостойкостью.

Все отливки из конструкционных алюминиевых чугунов ответственного назначения рекомендуется подвергать отжигу для снятия остаточных литейных напряжений.

Конструкционные алюминиевые чугуны с ВГ и ШГ обладают повышенной кавитационной стойкостью, а их антифрикционные и износостойкие характеристики улучшаются при легировании и ТО. Например, при испытании на машине трения МИ-1М при давлении 25 кгс/см² ($25 \cdot 10^5$ Па) и окружной скорости ролика 1,05 м/с при вращении без смазки по термически обработанной инструментальной стали получился износ (г/км): в исходном состоянии — 0,8; после закалки и высокого отпуска $\epsilon = 0,15$; после изотермической (350° С) закалки — 0,04; после закалки и низкого отпуска — 0,02; после высокотемпературной нормализации — 0,01.

По жаростойкости, жаропрочности и сопротивлению термическим ударам алюминиевые чугуны считаются пригодными для эксплуатации при температурах не выше 650—700° С [5, 21, 27], причем эти характеристики улучшаются при переходе от ПГ в структуре чугуна к ШГ. По коррозионной стойкости во влажной атмосфере, в морской воде и других средах с кислотными признаками, а также в ряде агрессивных жидкометаллических потоков алюминиевые чугуны зарекомендовали себя хорошо.

Литейные свойства конструкционных алюминиевых чугунов не создают особых трудностей при получении отливок даже сложного профиля. Заполняемость формы при перегреве на 100—150° С вполне удовлетворительна; свободная линейная усадка $\epsilon = 1,0 \div 1,5\%$, $W_p = 0,8 \div 1,2\%$, но при ШГ W_p соответственно больше, что требует принятия соответствующих мер при конструировании формы.

Для технологии получения отливок из конструкционных алюминиевых чугунов характерна борьба с неметаллическими включениями, являющимися следствием повышенной склонности расплавов к пленообразованию из-за образования Al_2O_3 . Поэтому при плавке и переплавах используют защитные шлаки, а заполнение формы ведут плавно без разрыва струи. Полезно применение различных методов фильтрования металла при заполнении формы. Для фильтрации и рафинирования жидкого металла при заливке в последнее время применяется «фирам-процесс», основанный на использовании фильтров из волокнистых огнеупорных материалов на основе карбида Si, силиката Al, Ti, тугоплавких окислов и др.; толщина фильтров 1—2 мм, диаметр отверстий 0,5—1,5 мм. При проходе металла через фильтры включения задерживаются; этот способ особенно полезен, в частности, при заливке алюминиевого чугуна. Фильтры могут быть установлены в любом месте литниково-питательной системы и выдерживают прохождение до 2 т чугуна. При фильтрации также уменьшается количество газов в чугуне, повышаются его механические свойства, уменьшается вязкость, несколько повышается $\lambda_{ж}$ и улучшаются другие свойства.

От окисления чугуна при заливке предохраняет также обработка расплава лигатурами, содержащими литий. Рациональными способами ввода Al в чугун, предохраняющими расплав от окисления и обеспечивающими равномерное распределение присадки, являются суспензионное литье (с вводом в расплав алюминиевой, ферроалюминиевой дробы или смеси железного порошка и алюминиевой дробы), а также добавка Al в полистироловые модели (при литье по выплавляемым моделям).

Высокое качество отливок из алюминиевых чугунов достигается при заливке в сухие песчаные формы или кокиль. В силу низкой склонности алюминиевых

* «Фирам-процесс» — новый метод тонкой очистки металлических расплавов в литниково-питательных системах, разработанный В. И. Фундатором, Л. И. Леви, В. В. Серебряковым, Л. З. Киселевым, Г. Г. Абрамовым (См. «Литейное производство», 1976, № 11, с. 1—3).

Характерные отливки из конструкционных алюми

Отливки	Массовая доля элементов, %						
	C	Al	Si	Mn	P	S	Ti
Изложницы, мульды разливочных машин, пресс-формы машин литья под давлением, штамповые плиты, кокили для чугунного и цветного литья, стеклоформы	3,0—3,2	1,8—2,8	≤1,0	0,2—0,4	≤0,1	≤0,05	0,2—0,3 *
Головки блоков цилиндров, втулки гильз, отливки химического оборудования, профиль непрерывного литья, корпусные отливки, трубы	3,0—3,4	2,0—3,0	≤1,0	0,5—0,6	≤0,1	≤0,05	—
Тормозные диски, колодки, притиры, поршневые кольца и другие износостойкие и антифрикционные отливки	3,2—3,6	1,8—2,0	≤1,0	0,6—0,8	0,1—0,3	≤0,05	—
Коленчатые и распределительные валы, шестерни и муфты редукторов, гильзы цилиндров, детали насосов и компрессоров, отливки подъемно-транспортных устройств, азотируемые отливки	2,8—3,4	1,5—2,5	1,0—1,5	0,4—0,6	≤0,05	≤0,02	0,1—0,2 **
Отливки машиностроения с повышенными требованиями к вязкости и стойкости против ударного нагружения	2,8—3,0	2,0—2,5	≤0,5	0,2—0,4	≤0,05	≤0,02	—

* Вместо Ti, возможно введение V.

** Факультативно.

ниевых чугунов и применяемые для них составы [27]

				Модификаторы	Термическая обработка	Структура
Cu	Cr	Ni	Mo			
—	—	—	—	ФС75 или СК40 (до 1%)	—	ВГ + эвтектоид (феррит + Fe_3AlC_x вторичный)
0,5—0,8	0,2—0,3	—	—	ФС75 или СК40 (до 1%)	—	ВГ + сорбит (сорбитизированный эвтектоид)
3,0—4,0	0,3—0,5	0,8—1,0	0,2—0,3 **	ФС75 или СК40 (до 1%)	Нормализация, улучшение, изотермическая закалка, закалка ТВЧ	—
0,4—0,6 **	0,1—0,2	0,8—1,2	0,2—0,3	Mg (до 0,06%), КМ (до 2,5%) и РЗМ (до 1%)	Нормализация + высокий отпуск, улучшение, изотермическая закалка, закалка ТВЧ, азотирование	В литом состоянии: ШГ + феррит + перлит (эвтектоид)
—	—	0,8—1,2 **	—	Mg (до 0,6%), КМ (до 2,5%) и РЗМ (до 0,1%)	Графитизирующий отжиг	ШГ + феррит

чугунов к образованию отбела (особенно после модифицирования силикокальцием или ферросилицием) они являются наиболее перспективными для литья в кокиль.

Для плавки могут быть использованы вагранки и электрические печи. В последнем случае Al вводят прямо в состав шихты, так как угар составляет только 15—20%. В качестве основной части шихты полезным оказывается применение малокремнистых литейных и пердеельных чугунов. Перспективно использование синтетических алюминиевых чугунов («синтегаль») для получения отливок ответственного назначения.

Составы и области наиболее широкого промышленного применения конструкционных алюминиевых чугунов представлены в табл. 1.38.

6. ЛЕГИРОВАННЫЕ ЧУГУНЫ СО СПЕЦИАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Современное машиностроение требует применения материалов, обладающих не только повышенной прочностью, но и рядом специальных свойств, обеспечивающих длительную и надежную работу отливок в самых разнообразных условиях эксплуатации. Такими материалами являются легированные чугуны, которые обычно классифицируются как жаростойкие, жаропрочные, износостойкие, коррозионностойкие, немагнитные, а по составу — как хромовые, никелевые, кремнистые, алюминиевые, марганцовые. При этом часто один и тот же легирующий элемент придает чугуну одновременно несколько специальных свойств.

Жаростойкость обычно оценивают по склонности к окалинообразованию после соответствующей выдержки образцов в определенной среде при заданной температуре. При этом происходит также и рост чугуна, оцениваемый по относительному изменению размеров образца. Соответствующие методики испытания на рост и окалинообразование приведены в ГОСТ 7769—75 и ГОСТ 6130—71. Износостойкость чугуна, как и других сплавов, оценивают по относительному изменению массы образца при испытании в различных абразивных и гидроабразивных средах, а также при сухом трении и трении со смазкой по методикам, описанным в литературе [20]. Коррозионная стойкость в газовых средах оценивается по ГОСТ 6130—71, а в различных кислотах, щелочах и других агрессивных жидких средах — по скорости коррозии в г/(м²·ч) или в мм/год по ГОСТ 5272—68. Магнитные свойства определяют согласно ГОСТ 13601—68.

Характеризуя легированные чугуны, важно отметить, что их специальные свойства определяются прежде всего составом и главным образом содержанием легирующих элементов, в противоположность конструкционным чугунам, свойства которых в первую очередь определяются структурой. В настоящее время общий объем производства отливок из легированных чугунов в нашей стране составляет более 1 млн. т в год.

Хромовый чугун

Особенностью кристаллизации хромовых чугунов является образование твердых растворов и цементита, а при содержании Cr свыше 3% — специальных карбидов и твердого, немагнитного и хрупкого интерметаллида Fe—Cr, содержащего 42—48% Cr и известного как σ -фаза. Хромовые чугуны применяются главным образом как жаростойкие, коррозионностойкие и износостойкие материалы (табл. 1.39). Жаростойкость чугуна, естественно, возрастает с повышением в нем содержания Cr (рис. 1.58) [39]. Вместе с тем благоприятное влияние оказывает и повышение содержания C до 2,5—3,5% [1], особенно в сплавах, работающих одновременно в условиях истирания и высоких температур. Кремний повышает сопротивление чугуна окалинообразованию, однако он снижает σ_b при повышенных температурах, а также пластичность и термическую стойкость чугуна; поэтому его содержание в высокохромовых чугунах обычно не превышает 4% (табл. 1.39).

Износостойкость определяется структурой и твердостью HB сплава; поэтому очень важно знать влияние на HB режимов ТО (табл. 1.40), а в связи с этим и температуру $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращения (рис. 1.59). Весьма полезно при этом

Марка чугуна	Регламентирующий документ	Массовая доля элементов, %						
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Прочие элементы
Жаростойкие и коррозионностойкие								
ЖЧХ	ГОСТ 7769—75	3,0—3,8	1,5—2,5	1,0	0,5—1,0	1,0	—	—
ЖЧХ2	ГОСТ 7769—75	3,0—3,8	2,0—3,0	1,0	1,0—2,0	1,0	—	—
ЖЧХ3	ГОСТ 7769—75	3,0—3,8	2,8—3,8	1,0	2,0—2,7	1,0	—	—
ЖЧХ16	ГОСТ 7769—75,	1,6—2,4	1,5—2,2	1,0	15—18	—	—	—
ЧХ22	ГОСТ 11849—76	0,6—0,9	3,0—4,0	0,8	20—24	—	—	—
ЧХ28	ГОСТ 11849—76	0,5—1,0	0,5—1,3	0,8	26—30	—	—	—
ЖЧХ30	ГОСТ 7769—75,	1,6—3,0	1,5—2,0	0,7	28—32	1,0	—	—
ЧХ34	ГОСТ 11849—76	1,5—2,2	1,3—1,7	0,8	32—36	—	—	—
Х28П	Марочник чугуна	1,8—2,8	1,8—2,5	0,6	25—30	—	—	0,8—1,5 P
	ЦНИИТмаша							
Х28НД3Ю2	То же	2,2—3,0	0,8—1,2	1,2—1,8	25—30	0,5—0,8	2,5—3,5	1,0—2,0 Al
Износостойкие								
ИЧХН4	РТМ 28—61	3,0—3,4	2,0—2,8	1,0	0,8—1,2	3,5—5,0	—	—
ИЧХ2Н4	РТМ 28—61	2,7—3,6	0,5—0,9	0,8	1,6—2,6	3,8—5,0	—	—
ИЧХ3ТД	РТМ 28—61	2,6—3,6	0,7—1,5	1,0	2—3	0,5	0,8	1,0 Ti
ИЧХ4Г7Д	РТМ 28—61	3,0—3,8	1,4—1,8	6,0—8,0	3—5	0,5	0,7	—
300Х13Г3С2М	Марочник чугуна	2,7—3,0	1,3—2,5	2,0—4,0	12—14	—	—	1,0 Mo
	ЦНИИТмаша							
ИЧХ13Г3М	То же	2,7—3,0	0,5—0,7	3,4—3,9	11—18	—	—	0,8 Mo
ИЧХ12Г5	»	2,6—3,0	0,7	4,5—5,2	12—14	—	—	—
ИЧХ15М2	РТМ 28—61	2,8—3,6	0,5—0,8	1,0	12—18	—	—	2,0—3,0 Mo
ИЧХ28Н2	РТМ 28—61	2,7—3,0	0,7—1,4	0,8	28—30	1,5—3,0	—	—
ИЧХ28Н2М2	РТМ 28—61	2,6—3,0	0,4—0,8	1,0	28—30	1,5—3,0	—	1,8—2,2 Mo

Примечания:

1. За рубежом пользуются известностью высокохромовые чугуны под названием «сормайт» состава С 1,5—2,2%, Si 1,5—2,2%, Cr 13—18%, применяемые для наплавки на поверхности деталей, работающих при абразивном износе, и изготавливаемые в виде прутков и порошков, и сплав состава С 2,5—3,5%, Si 2,8—4,2%, Cr 25—31%, Ni 3—5%, Mn ≤ 1,5%, S ≤ 0,08%, P ≤ 0,08%, НРС ≈ 50, характеризующийся высокой износостойкостью в абразивных средах, в том числе и при повышенных температурах.

2. Буквы в марках легированных чугунов во всех ГОСТах обозначают: Ч — чугун, Х — хром, Н — никель, Т — титан, С — кремний, Г — марганец, М — молибден, Д — медь, Ю — алюминий, П — фосфор, Ш — шаровидный графит, И — износостойкий, Ж — жаростойкий.

**Влияние режимов термообработки на твердость хромовых износостойких чугунов
и их относительную стойкость при гидроабразивном износе**

Термообработка и ее назначение	Режим ТО			Твердость НВ чугунов						
	t, °C*	Выдержка, ч	Охлаждение	ИЧХЗТД	ИЧХ4Г7Д	ИЧХ2Н4	ИЧХ15М2	ИЧХ28Н2	ИЧХН4	ИЧХ28Н2М2
Отпуск для снятия внутрен- них напряжений	220—250	3	На воздухе	480—600	470—600	470—450	500—550	—	340—450	—
	520—540	2	»	—	—	—	—	—	—	480—560
	560—580	2	»	—	—	—	—	—	470—580	—
Отжиг и высо- кий отпуск для понижения твер- дости	900—950	3	С печью	—	—	—	—	370—430	—	—
	840—870	3	»	—	260—320	—	340—380	—	—	—
	660—680	6	»	380—400	—	—	—	—	—	320—430
	660—680	12	На воздухе	—	—	240—340	—	—	—	—
	660—680	3	»	—	—	—	—	—	240—300	—
Нормализация (воздушная за- калка) для повы- шения твердости	1060—1100	1—2	На воздухе	—	—	—	520—570	520—580	—	490—540
	860—880	1—2	»	500—600	500—600 **	500—600	—	—	375—490	—
Отпуск после нормализации	200—250	2—3	На воздухе	500—600	500—600	530—620	630—530	—	375—490	—
	520—560	3—4	»	—	—	—	—	570—600	—	530—600
Относительная стойкость при гидроабразив- ном износе ***				12,5	11,5	—	14,1	14,5	5,2	14,2

* Время нагрева выбирается в зависимости от размеров и массы деталей.
 ** Допускается для деталей несложной конфигурации; закалка в масле.
 *** Износ СЧ 15-32 принят за 1.

получение мартенситной структуры, для чего, например, в чугуны марки ИЧХ2Н4 рекомендуется определенное соотношение элементов (табл. 1.41).

Рекомендуемые условия эксплуатации и области применения основных хромовых чугунов представлены в табл. 1.42.

Износостойкие чугуны при $HV\ 400$ и более могут обрабатываться резцами с пластинами ВК4, ВК6М, ВК3М. Скорость резания не превышает 25 м/мин при глубине резания 4–5 мм и подаче 0,3–0,4 мм/об для черновой обработки и 0,5–0,6 мм/об для чистовой. В отожженном состоянии скорость резания в зависимости от состава чугуна может быть повышена до 50 м/мин.

Высокохромовые чугуны, содержащие 20–30% Cr, используют также в качестве материалов, обладающих повышенной коррозионной стойкостью в растворах различных кислот (азотной, серной,

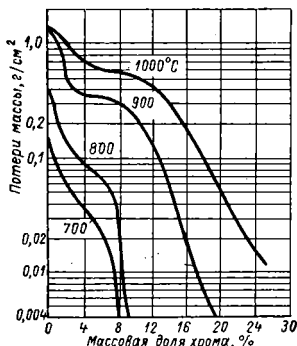


Рис. 1.58. Влияние содержания хрома и температуры выдержки в течение 360 ч на окислостойкость хромового чугуна

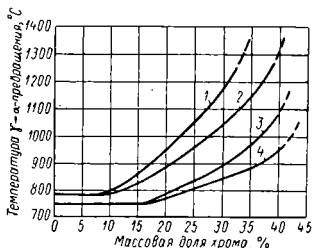


Рис. 1.59. Влияние Cr при разном содержании C и Si на температуру $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращения:

1 — 1,5% C, 2—2,5% Si; 2 — 2,5% C, 2 — 2,5% Si; 3 — 1,5% C, 0,25 — 0,50% Si; 4 — 2,5% C, 0,25 — 0,50% Si

фосфорной, уксусной и др.), в сульфате и азотнокислом аммонии и других расплавах или растворах солей, в среде анодных газов алюминиевых электролизеров и в криолито-глиноземном расплаве при 1000° С [59].

Механические и некоторые литейные свойства хромовых чугунов представлены в табл. 1.43. Склонность их к образованию усадочных раковин возрастает с увеличением содержания Cr и уменьшением содержания C. Так, при 1% Cr

Таблица 1.41

**Рекомендуемый состав ИЧХ2Н4
для отливок разной толщины**

Элементы	Толщина стенки отливки, мм									
	12	25	50	80	100	12	25	50	80	100
Углерод			3,2—3,6					2,7—3,1		
Кремний	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,9	0,7	0,6	0,5	0,4
Хром	1,6	1,8	2,0	2,2	2,5	1,5	1,7	1,9	2,1	2,4
Никель	3,8	4,0	4,2	4,4	4,7	4,0	4,2	4,4	4,6	4,9

**Эксплуатационные свойства и области применения отливок
из жаростойких, коррозионностойких и износостойких
хромовых чугунов**

Марка чугуна	Эксплуатационные свойства	Области применения
ЖЧХ	Повышенная коррозионная стойкость в газовой, воздушной, щелочных средах, в условиях трения и износа. Жаростойкий в воздушной среде до 500 °С	Кокили, стеклоформы, горелки, холодильные плиты доменных печей, колосники агломерационных машин, детали коксо-химического оборудования, сероуглеродные реторты, детали газовых двигателей и компрессоров, выхлопные коллекторы дизелей
ЖЧХ2	То же. Жаростойкость в воздушной среде до 600 °С	Колосники и балки горна агломерационных машин, детали контактных аппаратов химического оборудования, решетки трубчатых печей нефтеперерабатывающих заводов, детали турбокомпрессоров, детали стекломашин
ЖЧХ3	То же. Жаростойкость в воздушной среде до 650 °С	Детали термических печей, электролизеров, колосники, детали стекломашин, облицовочные плиты тушильных вагонов
ЖЧХ16	Жаростойкость в воздушной среде до 900 °С, износостойкость при нормальной и повышенных температурах, устойчивость против воздействия неорганических кислот большой концентрации	Арматура химического машиностроения, печная арматура, детали цементных печей
ЧХ22	Жаростойкость и абразивоустойчивость при температуре до 1000 °С	Детали химических и цементных печей, не испытывающих резкой смены температур
ЧХ28, ЧХ34	Коррозионностойкость в серной кислоте, в растворах и расплавах солей, в условиях ванадиевой коррозии до 900 °С	Насосы, вентили, различные емкости, реторты и другие детали химической аппаратуры пищевой промышленности и т. д.
Х28П	Износостойкость и коррозионностойкость в цинковом расплаве	Детали пар трения, работающие в цинковом расплаве (втулки, поршни, подшипники)

Марка чугуна	Эксплуатационные свойства	Области применения
X28HДЗЮ2	Жаростойкость до 1100 °С и износостойкость при нормальной и повышенных температурах	Армирование поддерживающих элементов установок непрерывной разливки сталей, колосники агломерационных машин, борта спекательных тележек
ЖЧХ30	Жаростойкость в воздушной среде до 1100°С. Устойчивость в сернистых средах против абразивного износа, в условиях ванадиевой коррозии до 900°С. Коррозионностойкость в серной кислоте. Высокая прочность при нормальной и повышенных температурах	Гребки и зубья печей обжига, сернистых руд, сопла песко- и дробеметных аппаратов, детали защитного кожуха алюминиевых электролизеров, детали химической аппаратуры, теневой защиты пароперегревателей

Таблица 1.43

Механические и некоторые литейные свойства хромовых чугунов

Марка чугуна	Механические свойства				Литейные свойства		Рекомендуемая $t_{\text{зал}}, ^\circ\text{C}$
	$\sigma_B, \text{кгс/мм}^2$ (10^7Па)	$\sigma_{0.2}, \text{кгс/мм}^2$ (10^7Па)	$f_{\text{зр}}, \text{мм}$	НВ	$\epsilon_{\text{лит}}, \%$	$\lambda_{\text{ж}}, \text{мм}$	
ИЧХ3ТД	24	48	2,0	480—600	1,8—2,0	1200	1350—1380
ИЧХ4Г7Д	15	34	2,0	500—600	2,2—2,3	960	1340—1380
ИЧХН4	23	48	4,0	340—460	1,1—1,4	1250	1300—1350
ИЧХ2Н4	22	42	1,5	470—650	1,8—2,1	900	1350—1380
ИЧХ15М2	18	50	4,0	500—600	1,6—1,8	1340	1450—1500
ИЧХ28Н2	30	55	4,0	480—600	1,6—1,8	900	1450—1500
ИЧХ28Н2М2	33	55	4,0	470—600	1,6—1,8	1200	1360—1400
ЖЧХ	18	36	2,5	207—286	1,0—1,3	1100	1340—1360
ЖЧХ2	15	32	2,5	207—286	1,3—1,6	900	1330—1350
ЖЧХ3	—	32	3,0	228—364	1,6—2,0	780	1330—1360
ЖЧХ16	35	70	3,0	400—450	1,6—2,0	—	1475—1500
ЧХ22	30	55	3,0	260—340	1,5—2,0	—	1500—1550
ЧХ28	35	55	6,0	220—270	1,6—1,9	—	1500—1550
ЖЧХ30	30	50	2,0	364—550	1,6—2,0	800	1400—1450
ЧХ34	40	60	5,0	325—400	1,6—1,9	—	1450—1500
Х28П	30	50	1,5	280—400	1,6—2,0	800	1300—1380
Х28НДЗЮ2	55	80	5,0	364—550	2,2—2,6	900	1450—1480

$W_p = 2,5 \div 3,5\%$, а при 20% Сг и более он достигает 7%, что связано, главным образом, с полным подавлением процесса графитизации, вследствие чего при высоком содержании Сг необходимо предусматривать питание отливок прибылями, как при стальном литье. Удаление прибылей рекомендуется вести при подогреве

Влияние Сг на физические свойства чугуна

Содержание хрома, %	λ , кал/(м·ч·°С) при температуре, °С			ρ , мкОм·см при температуре, °С		
	20—200	400	800	20—200	400	800
14	25—34	27—32	27—29	43—75	74—92	123—135
17	28	28	27	62—73	89	128
23	22	24	26	72—83	97	125
29	15	18	26	87—99	108	127
34	17	20	26	80—94	106	123

отливок до 500° С электродом с покрытием ЦМ7-Э42-5 (ГОСТ 9467—60). Следует также учитывать, что с ростом содержания Сг повышается склонность чугуна к образованию холодных трещин, и поэтому необходимо при остывании отливок и их ТО создавать условия, обеспечивающие равномерное охлаждение разных частей отливка. Выплавку хромовых чугунов можно производить как в дуговых, так и в индукционных электропечах. Некоторые физические свойства этих чугунов приведены в табл. 1.44 [4].

Плотность хромовых чугунов находится в пределах 7,3—7,5 г/см³.

Никелевый чугун

Структурные диаграммы никелевого чугуна при содержании Si 1,5 и 3,0% представлены на рис. 1.60 [39]. С повышением содержания Ni и понижением содержания Si увеличивается аустенизация структуры. Этому способствуют также

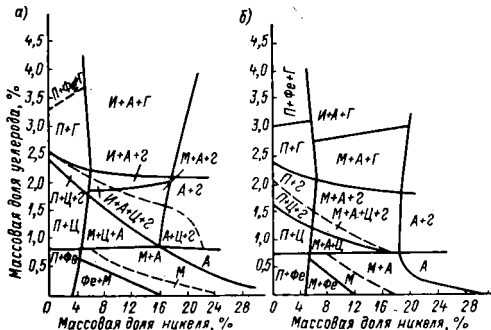


Рис. 1.60. Структурные диаграммы Fe—Ni—C-сплавов с разным содержанием кремния: а — 1,5% Si; б — 3% Si;

Фе — феррит; П — перлит; И — игольчатый троостит; М — мартенсит; А — аустенит; Ц — цементит; Г — первичный эвтектический графит; з — вторичный графит

Си и особенно Mn, что видно из формулы, определяющей условия образования аустенита при нормальной температуре:

$$\text{Ni} + 2,5 \text{ Mn} + \text{Cu} \geq 18.$$

Составы никелевых чугунов (ГОСТ 11849—76)

Марка чугуна	Массовая доля элементов, %						Структура матрицы
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Прочие элементы	
Чугун с пластинчатым графитом							
ЧНХТ	2,7—3,4	1,4—2,0	1,0—1,6	0,2—0,4	0,3—0,7	Ti до 0,12	П, Ц
ЧН1ХМД	2,8—3,2	1,6—2,0	0,9—1,2	0,2—0,6	0,7—1,5	Mo 0,3—0,6 Cu 0,2—0,5	П, Ц
ЧН2Х	3,0—3,6	1,0—1,4	0,6—1,0	0,4—0,6	1,5—2,0	—	П, Ц
ЧН15Д7Х2	2,2—3,0	1,4—2,0	1,0—1,6	1,5—3,0	14—16	Cu 5—8	А, К
ЧН19Х3	2,3—3,0	1,0—2,5	1,0—1,6	1,5—3,5	18—20	—	А, К
Чугун с шаровидным графитом							
ЧН1МШ	3,2—3,8	1,8—2,8	0,8—1,2	До 0,1	0,8—1,4	Mo 0,3—0,6	П, Ц
ЧН11Г7Х2Ш	2,5—3,0	1,8—2,5	5,0—8,0	1,0—2,5	10—12	—	А, К
ЧН15Д3ХШ	2,5—3,0	2,0—2,5	1,3—1,8	0,6—1,0	14—16	Cu 3,0—3,5	А, К
ЧН19С4ХШ	2,1—2,5	4,0—5,0	1,5—2,0	0,9—1,5	18—20	Cu до 0,4	А, К
ЧН19Х3Ш	2,5—3,0	1,8—2,5	1,0—1,6	1,5—3,5	17—20	—	А, К
ЧН20Д2ХШ	1,8—2,5	3,0—3,5	1,5—2,0	0,5—1,0	19—21	Cu 1,5—2,0	А, К
Примечание. П — перлит; Ц — цементит; А — аустенит; К — карбиды.							

Примерные области применения отливок из никелевых чугунов

Марка чугуна	Назначение и условия эксплуатации	Характерные детали
Чугун с пластинчатым графитом		
ЧНХТ	Для деталей поршневых двигателей внутреннего сгорания, газомотокомпрессоров, в том числе целлюлозно-бумажного производства, работающих в условиях износа, газовых средах и водных растворах	Маслоты, поршневых компрессорных и масло-съемных колес, седла и направляющие втулки клапанов дизелей и газомотокомпрессоров; детали сглаживающих прессов и гарнитура размольных мельниц бумагоделательных машин
ЧН1ХМД	Для деталей поршневых машин, двигателей внутреннего сгорания и компрессоров, работающих в условиях износа и газовой коррозии (продукты сгорания топлива, технический кислород)	Блоки и головки цилиндров, выхлопные патрубки двигателей внутреннего сгорания, паровых машин и турбин; поршни и гильзы цилиндров паровых машин, тепловозных и судовых дизелей, детали кислородных и газомотокомпрессоров
ЧН2Х	Для отливок с высокими механическими свойствами, высоким сопротивлением износу и коррозионной стойкостью	Различные типы зубчатых колес, цилиндры двигателей, абразивные диски, дроссели и др.
ЧН15Д7Х2, ЧН19Х3	Для деталей с высокой коррозионной и эрозийной стойкостью в щелочах, слабых растворах кислот, растворах серных кислот любой концентрации до температуры 50 °С, в морской воде, в среде перегретых водяных паров	Насосы, вентили и другие детали химической и нефтеперерабатывающей промышленности и арматуростроения
Чугун с шаровидным графитом		
ЧН1МШ	Для деталей, указанных для чугунов ЧН1ХМД и ЧН2Х, но с повышенными механическими свойствами и термостойкостью при температуре до 500 °С	Крышки и днища цилиндров дизелей, головки поршней, маслоты поршневых колес

Марка чугуна	Назначение и условия эксплуатации	Характерные детали
ЧН15ДЗХШ	Для деталей с высокой коррозионной и эрозионной стойкостью в щелочах, слабых растворах кислот, растворах серных кислот любой концентрации до температуры 50 °С, в морской воде, в среде перегретых водяных паров. Чугуны имеют высокий коэффициент термического расширения, немагнитны при низком содержании хрома	Насосы, вентили и другие детали химической и нефтеперерабатывающей промышленности и арматуростроения; немагнитные литые детали электротехнической промышленности; вставки гильз цилиндров, головки поршней, седла и направляющие втулки клапанов и выхлопные коллекторы двигателей внутреннего сгорания
ЧН11Г7Х2Ш, ЧН19Х3Ш	Для жаропрочных и ростоустойчивых деталей, работающих под нагрузкой при повышенных температурах (до 600 °С), а также деталей, работающих в щелочных средах, в пищевой промышленности, при изготовлении искусственного шелка и пластмасс	Выпускные коллекторы, клапанные направляющие, корпуса турбонагнетателей в газовых турбинах, головки поршней, корпуса насосов, вентили и немагнитные детали
ЧН20Д2ХШ	Для немагнитных деталей, работающих под нагрузкой при температуре до —110 °С	Насосы и другие детали нефтедобывающей и перерабатывающей промышленности, детали топливной аппаратуры, холодильной техники, компрессоров для сжижения газов
ЧН19С4ХШ	Для деталей с высокой коррозионной стойкостью в разбавленной серной кислоте, морской воде и хорошей жаростойкостью. Не пригоден для работы при температуре 500—600 °С из-за перлитизации	Насосы, вентили, задвижки химической, нефтеперерабатывающей промышленности, клапаны, задвижки промышленных печей, детали двигателей внутреннего сгорания

Таблица 1.47

Коррозионная стойкость никелевого чугуна с ПГ и ШГ

Форма графита	Скорость коррозии (мм/год) при температуре					
	в морской воде			в 20%-ном водном растворе NaCl		
	20° С	30° С	68° С	20° С	30° С	68° С
ПГ	0,0340	0,0487	0,0527	0,006	0,0120	0,0055
ШГ	0,0292	0,0424	0,0210	0,009	0,0167	0,0073

Механические свойства основных никелевых чугунов

Марка чугуна (по ГОСТ или РС)	Механические свойства					HB
	σ_B , кгс/мм ²	$\sigma_{0.2}$, кгс/мм ²	δ , %	E, кгс/мм ²	α_H , (с надре- зом) кгс·м/см ²	
ЧНХТ	>24	—	—	—	—	220—286
ЧН1ХМД	>30	—	—	—	—	220—286
ЧН2Х	>32	—	—	—	—	209—260
ЧН15Д7Х2	>18	—	1,5	—	—	180—200
ЧН19Х3	>18	—	—	—	—	209—255
ЧН11МШ	>25	—	>1,5	14 000—15 000	—	220—286
ЧН11Г7Х2Ш	>40	—	>4,5	15 000—16 000	2,0—4,0	209—255
ЧН15Д3Х2Ш	>35	—	>4,0	—	—	209—255
ЧН20Д2ХШ	>40	>20	>30	—	>4,5	140—170
ЧН19Х3Ш	>40	—	5	—	—	209—255
ЧН19С4ХШ	>40	—	2	—	—	209—255

Примечание.

За рубежом (ИСО и национальные стандарты, например польские) предусматривают значительно большее количество марок, в том числе, что весьма важно, с содержанием Ni выше 20%, например L.NiCr30.3, L.Ni35, S.Ni22, S.NiMn23.4, S.NiCr30.1 (также S.NiCr30.3 и S.NiCr30.5.5), S.Ni35, S.NiCr35.3 (здесь L означает ПГ, S — ШГ, первые цифры относятся к Ni, вторые — ко второму легирующему элементу — Mn, Cr). Все эти чугуны аустенитного класса и характеризуются высокими свойствами: чугуны L.NiCr20.2 и L.NiCr20.3 жаростойки и ростоустойчивы до $t = 600^\circ\text{C}$ и коррозионностойки в щелочи; чугун L.NiSiCr20.5.3 стоек в разбавленной серной кислоте и морской воде; чугуны L.Ni35 и L.NiSiCr30.5.5 и аналогичные с ШГ коррозионностойки при малом коэффициенте линейного расширения $\alpha = (5 \div 6) 10^{-6}/^\circ\text{C}$ и устойчивы против тепловых ударов при $t = 800^\circ\text{C}$; чугуны S.Ni22 и S.NiMn23.4 пригодны для работы под нагрузкой при $t = -196^\circ\text{C}$ и т. д.

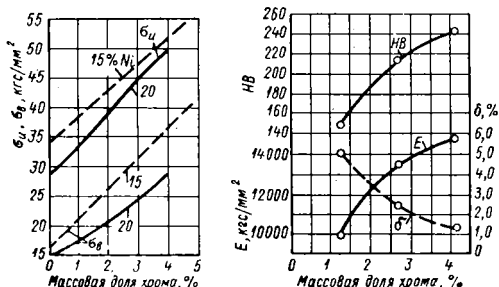


Рис. 1.61. Влияние содержания Ni и Cr на механические свойства аустенитного чугуна с пластинчатым графитом

**Механические свойства аустенитных никелевых чугунов
при повышенных температурах**

$t, ^\circ\text{C}$	$\sigma_B,$ кгс/мм ² (10^7Па)	$E,$ кгс/мм ² (10^7Па)	$\alpha_n,$ (с над- резом), кгс·м/см ²	$\sigma_B,$ кгс/мм ² (10^7Па)	$E,$ кгс/мм ² (10^7Па)	$\alpha_n,$ (с над- резом), кгс·м/см ²
	ЧН19ХЗШ			ЧН11Г7Х2Ш		
20	46	16 350	2,5	48	16 290	3,0
550	28	14 000	2,8	39	13 460	2,7
600	26	12 700	2,4	33	12 360	2,0
700	23	12 400	2,4	25	12 000	2,0

Такие аустенитные чугуны являются немагнитными и, кроме того, обладают рядом других специальных свойств. В табл. 1.45 приведены составы никелевых чугунов с ПГ и ШГ, широко применяемых в качестве немагнитных, коррозионно-стойких, жаропрочных и хладостойких материалов, а в табл. 1.46 указаны области их применения [31]. Никелевые чугуны с успехом применяют также для деталей, работающих в морской воде и 20%-ном растворе NaCl, как это видно из данных табл. 1.47 (для чугуна с 16% Ni, 3,5% Cr и 3,5% Cu).

Аустенитный чугун с ШГ, содержащий более 20% Ni и дополнительно легированный Cr и Mo, может применяться также как жаропрочный материал, причем в этом случае частичная замена никеля марганцем нежелательна, так как скорость ползучести и окалинообразование у Ni—Mn-чугуна при 650—750°С значительно выше, чем у Ni—Cr-чугуна. С целью повышения сопротивления ползучести аустенитные чугуны обычно подвергают гомогенизирующему отжигу при 1020—1050°С в течение 4 ч с последующим охлаждением на воздухе, а затем высокотемпературному отпуску. После отжига тригональные карбиды существенно изменяются, приобретая форму мелких округлых включений или игл, а карбиды цементитного типа почти полностью растворяются в аустените. При этом твердость понижается с HB 170—250 до HB 130—190, а магнитная проницаемость достигает минимальных значений (1,03—1,05). Последний отпуск при температуре на 50—70°С выше эксплуатационной (обычно 550—600°С) приводит к выделению из пересыщенного аустенита дисперсных равномерно распределенных карбидов. Двойная ТО необходима только для высоконикелевых ЧШГ, применяемых в качестве жаропрочных материалов. Чугуны, применяемые для других целей, подвергают только гомогенизирующему отжигу.

Прочность и твердость никелевых чугунов с ПГ и ШГ, как это следует из табл. 1.48 и рис. 1.61, возрастают с увеличением содержания Cr, значения δ — понижаются [39]. Значение σ_B также повышается при увеличении содержания Ni и частичной замене его Mn. При получении ШГ механические свойства чугуна, особенно его пластичность, сильно повышаются.

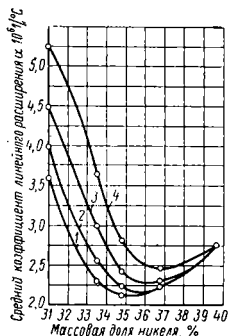


Рис. 1.62. Влияние содержания никеля и температуры на коэффициент линейного расширения аустенитного никелевого чугуна:

1 — для 10—50°С; 2 — для 10—100°С; 3 — для 10—150°С; 4 — для 10—200°С

Механические свойства никелевых аустенитных чугунов при повышенных температурах характеризуются ГОСТ 11849—76 (табл. 1.49).

Легирование чугуна никелем снижает λ и ρ ; значение α при этом возрастает, и при 20% Ni $\alpha = (17+19) \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$. Дальнейшее же повышение количества Ni, а также легирование Cr и Mn понижают α до $12,5 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$, а при 35—37% Ni аустенитный чугун (так называемый монивар) имеет самое низкое значение $\alpha = (1,5+2,5) \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$ в интервале температур 0—200° С (рис. 1.62); однако с повышением температуры значение α возрастает. Удельная теплоемкость высоконикелевых чугунов составляет 0,11—0,12 кал/(г·°С). Значение λ высоконикелевых чугунов с ПГ и ШГ соответственно равно 46 и 15 ккал/(м·ч·°С). Плотность никелевых чугунов колеблется в пределах 7,4—7,6 г/см³, а никелево-хромовых (типа нихард) — 7,6—7,8 г/см³.

Кремнистый чугун

Кремнистый чугун применяется, главным образом, как окалино-, росто- и коррозионностойкий. Составы этого чугуна и области его применения приведены в табл. 1.50 и 1.51. При содержании Si, равном 5—6%, в литом состоянии он практически имеет однофазную ферритную матрицу и обладает хорошей окалиностойкостью и ростоустойчивостью при температурах до 900° С. При 900° С рост чугуна

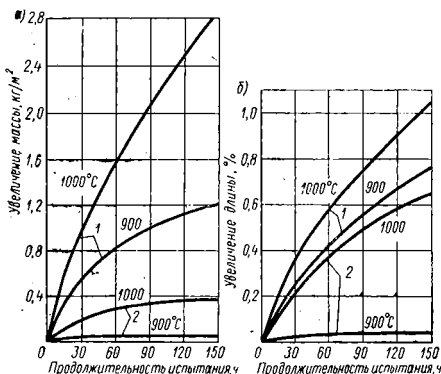


Рис. 1.63. Свойства кремнистых чугунов ЖЧС5 и ЖЧС5Ш при $t = 900^{\circ}\text{C}$ и $t = 1000^{\circ}\text{C}$ в воздушной среде: а — окалиностойкость; б — ростоустойчивость;

1 — ЖЧС5; 2 — ЖЧС5Ш

ЖЧС5 колеблется от 0,2 до 0,8%, а при 1000° С — от 0,6 до 1,0%. Это, по крайней мере, в пять раз меньше, чем рост СЧ. При переходе от ПГ в структуре чугуна к ШГ (ЖЧС5Ш) окалиностойкость и ростоустойчивость чугуна значительно повышаются как в воздушной среде (рис. 1.63), так и в продуктах горения генераторного газа (рис. 1.64).

Дополнительное легирование кремнистого чугуна небольшими количествами Cr и Mn способствует появлению перлитной структуры, что незначительно влияет на его окалиностойкость и ростоустойчивость; однако с увеличением количества перлита (П) рост его (в %) возрастает:

Структура матрицы	Fe	Fe+10% П	Fe+30% П	П
Рост за 150 ч:				
ЖЧС5Ш	0,0	0,4	0,8	—
ЖЧС5	0,6	0,8	—	1,9

Составы кремнистых чугунов.

Марка чугуна	Регламентирующий документ	Массовая доля элементов, %					
		C	Si	Mn	Прочие элементы	S	P
						не более	
ЖЧС5	ГОСТ 7769—75	2,5—3,2	4,5—6,0	≤0,8	0,5—1,0 Cr	0,12	0,3
ЖЧС5Ш	ГОСТ 7769—75	2,7—3,3	4,5—5,5	≤0,8	До 0,2 Cr	0,03	0,1
ЧС13	ГОСТ 11849—76	0,6—1,4	12,0—14,0	0,3—0,8	—	—	—
ЧС15	ГОСТ 11849—76	0,5—0,8	14,0—16,0	0,3—0,8	—	0,07	0,1
ЧС17	ГОСТ 11849—76	0,3—0,5	16,1—18,0	0,3—0,8	—	0,07	0,1
ЧС15М4	ГОСТ 11849—76	0,6—0,9	14,0—16,0	0,6—1,0	3—4 Mo	0,1	0,1
ЧС17М3	ГОСТ 11849—76	0,3—0,6	16,1—18,0	0,6—1,0	2—3 Mo	0,1	0,3

Примечание.

В зарубежных стандартах имеются дополнительные марки. В частности, польский стандарт П № 61/H83111 включает еще три марки чугуна с содержанием 7, 12 и 14% Si и две марки кремнехромовых чугунов с содержанием 4% Si, 2% Cr и 6% Si, 1% Cr.

**Эксплуатационные свойства и области применения отливок
из кремнистых чугунов**

Таблица 1.51

Марка чугуна	Эксплуатационные свойства	Области применения
ЖЧС5	Жаростойкость в топочных и генераторных газах и воздушной среде при температурах до 700° С	Колосники для печей обжига цементной промышленности, сероуглеродные реторты
ЖЧС5Ш	Жаростойкость в топочных и генераторных газах и воздушной среде при температурах до 800° С; стойкость в среде, содержащей сернистый газ	Топочная арматура котлов, дистанционирующие детали пароперегревателей котлов, газовые сопла, подовые плиты термических печей, корпуса газовых турбин, котлы строкоотливных машин для цинкового сплава, детали термических печей, тигли для плавки алюминия, охлаждающие рамы к мартеновским печам, сероуглеродные реторты, колосники и др.
ЧС13	Коррозионностойкость в щелочах и кислотах различной концентрации (за исключением плавиковой, соляной кислот и щелочей при повышенных температурах), в ряде органических кислот (уксусной, муравьиной, лимонной) при разных температурах и концентрациях; стойкость в морской воде и грунтовых водах в условиях анодного растворения	Насосы, вентили, реторты и другие детали химической аппаратуры, работающие при температурах до 200 °С, подверженные воздействию концентрированной серной и других кислот
ЧС15, ЧС17	Высокая коррозионная стойкость во многих концентрированных и разбавленных кислотах, растворах солей и щелочей при различных температурах; стойкость в органических кислотах, морской воде и грунтовых водах в условиях анодного растворения	Детали центробежных и поршневых насосов (цилиндры, поршни, клапаны, рукава, кожухи, реторты, трубы), лопасти мешалок, фитинги, втулки, диски, теплообменники, реакционные аппараты, компрессоры, а также оборудование для различных химических производств
ЧС15М4, ЧС17М3	Стойкость в соляной кислоте любой концентрации при всех технологических температурах, в азотной, пикриновой и фосфорной кислотах, а также в четыреххлористом углероде, железном купоросе и перекиси водорода	Концентрационные колонны, насосы, трубы и арматура для различных химических производств

В химическом машиностроении широкое применение получили сплавы ЧС15 и ЧС17 (ферросилиды). Они обладают высокой коррозионной стойкостью* в серной, азотной и хромовой кислотах, в ряде органических кислот (уксусной, муравьиной, молочной, лимонной) при разных температурах и концентрациях, а также в фосфорной кислоте при комнатной температуре и в ряде растворов солей и щелочей. Ферросилиды также устойчивы против действия окисей азота при повышенных температурах, сухого и влажного хлора, сероуглерода, синильной кислоты и других сред.

Эти сплавы обладают еще хорошей стойкостью в морской воде, в грунтовых водах в условиях анодного растворения, что позволяет применять их для анодных заземлителей станций катодной защиты подводных и подземных сооружений. Следует, однако, иметь в виду, что в алюминиевых квасцах, цинковом и железном купоросе, меднохлоруксусной, пикриновой, виннокаменной и дубильных кислотах, а также в двуххлористом натрии, в азотнокислых солях Cu, Fe, Pb, Na, K и в HCl стойкость ферросилида неудовлетворительна. Для повышения его стойкости в HCl его обычно легируют Mo в количестве до 4%, а иногда добавочно и Ni в количестве до 2,5%, как показано на рис. 1.65 [9, 59]. Эти сплавы известны под названием «антихлор».

Повышение содержания Si, как это следует из рис. 1.65, увеличивает коррозионную стойкость антихлора, но при этом возрастают HB и хрупкость сплава. При содержании в сплаве более 4% Mo его коррозионная стойкость практически не изменяется, однако HB и хрупкость возрастают.

Антихлор устойчив в HCl любой концентрации при всех технологических температурах, в азотной кислоте любой концентрации, в лимонной, пикриновой, серной и фосфорной кислотах, перекиси водорода, четыреххлористом углеводе, железном купоросе. Не рекомендуется применение антихлора при чередовании серной или слабой азотной кислоты с соляной, а также в соляной кислоте и хлористом водороде в присутствии брома, паров плавиковой кислоты, серной кислоты, в расплавленных щелочах. Антихлор применяется для изготовления концентрационных колонн, котлов, насосов, труб и арматуры.

Механические свойства кремнистого чугуна приведены в табл. 1.52.

Из таблицы видно, что с увеличением содержания Si σ_b снижается. Чугун с ШГ сохраняет значительно большую прочность и пластичность, чем чугун с ПГ, причем разница в пластичности, в противоположность прочности, возрастает с повышением температуры (рис. 1.66). При этом ЖЧС5Ш после длительной выдержки (500 ч) при 900°С имеет понижение σ_b на 9%, а ЖЧС5 — на 27% [1]. Ударная вязкость кремнистого чугуна сравнительно низкая — не более 0,5 кгс·м/см² (без надреза).

С целью повышения механических свойств ферросилида последний иногда легируют медью. Добавка 8—10% Cu к ЧС15 повышает σ_b до 20 кгс/мм² (20·10⁷ Па) и a_n до 1,0 кгс·м/см²; однако коррозионная стойкость сплава при этом понижается. Оптимальные механические свойства выявлены у этого чугуна при эвтектическом составе (0,5—0,7% C).

Чугуны ЖЧС5 и ЖЧС5Ш имеют приблизительно одинаковые значения $\alpha = (14 \div 17) \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ в интервале температур 0—900°С; у ферросилидов же α

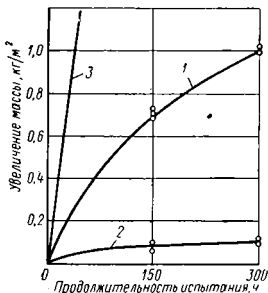


Рис. 1.64. Окалинностойкость кремнистых чугунов при 850—900°С в продуктах горения генераторного газа:

1 — ЖЧС5; 2 — ЖЧС5Ш; 3 — СЧ

* Коррозионная стойкость определяется по десятибалльной системе, установленной ГОСТ 13819—68 (от 1-го балла, оценивающего совершенно стойкий чугун с потерей <0,001 мм/год, до 10-го балла, оценивающего нестойкий чугун с потерей >10 мм/год).

значительно меньше и, в частности, в интервале 0—200°С $\alpha = 4,7 \cdot 10^{-6}$ 1/°С. Теплопроводность чугуна при повышении содержания Si понижается. Например, в чугунах с ПГ она составляет:

Si, %	0,65	1,65	2,3	4,8
λ , кал/(см·с·°С)	0,12	0,09	0,07	0,05

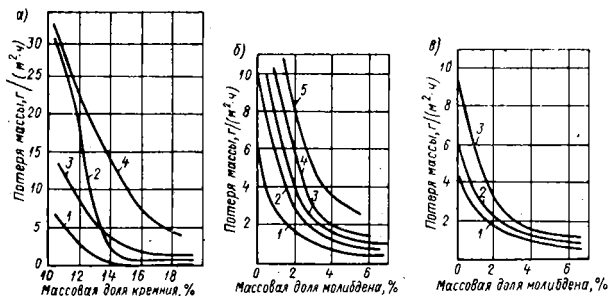


Рис. 1.65. Коррозионностойкость кремнистых сплавов: а — в HCl в зависимости от содержания Si в чугуне (1 — в 10%-ной HCl при 30°С; 2 — в 35%-ной HCl при 30°С; 3 — в 10%-ной HCl при 80°С; 4 — в 35%-ной HCl при 80°С); б — в HCl при 80°С в зависимости от содержания Si и Mo в чугуне (1 — 16,5% Si; 2 — 15,5% Si; 3 — 14,5% Si; 4 — 13,5% Si; 5 — 12,5% Si); в — в 35%-ной HCl в зависимости от содержания Ni и Mo в чугуне (1 — 2,5% Ni; 2 — 1,3% Ni; 3 — при отсутствии Ni)

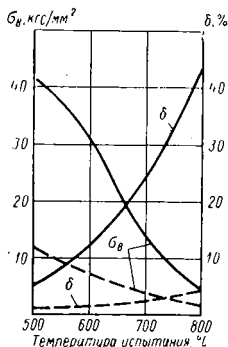


Рис. 1.66. Изменение предела прочности при растяжении и относительного удлинения кремнистых чугунов (5—6% Si) при повышенных температурах: — — — ЖЧС5; — ЖЧС5Ш

Таблица 1.52
Механические свойства кремнистых чугунов

Марка чугуна	$\sigma_{0.2}$, кгс/мм ² (10^3 Па)	$\sigma_{0.1}$, кгс/мм ² (10^3 Па)	l_{300} , мм	НВ
ЖЧС5	10—15	22—30	1,5	140—300
ЖЧС5Ш	25—40	—	—	255—321
ЧС13	10—14	22—30	1,5	270—360
ЧС15	6—10	17—24	1,2	300—400
ЧС17	4—7	14—16	1,0	400—460
ЧС15М4	6—7	14—16	1,0	430—460
ЧС17М3	6—7	10—12	0,5	430—460

В противоположность обычному чугуну теплопроводность у ЖЧС5Ш и ЖЧС5 мало различается и при этом возрастает с повышением температуры (рис. 1.67). У ферросилида она еще меньше и составляет около 0,025 кал/(см·с·°С). Плотность кремнистого чугуна снижается с повышением содержания Si и колеблется в пределах 6,7—7,0 г/см³.

Выплавка чугуна, содержащего 5—6% Si, может производиться в вагранках и других печах,

В то время как плавка ферросилида производится только в дуговых и индукционных печах. Особенностью выплавки высококремнистых сплавов, содержащих 15—17% Si, является повышенная склонность их к газонасыщению, в особенности водородом. Поэтому такие сплавы обычно рафинируют гексахлорэтаном или продуктами термической деструкции полиэтилена (0,05—0,1%). После такой обработки содержание водорода в сплавах снижается до $3 \text{ см}^3/100 \text{ г}$. Модифицирование ферросилида церием и лигатурой ФЦМ5 повышает физическую и химическую однородность сплава. Получение ШГ в кремнистом чугуна производится обычным путем.

Характеризуя литейные свойства кремнистого чугуна, следует указать, что ЖЧС5 и ЖЧС5Ш по жидкотекучести мало отличаются от СЧ. Из числа ферросилидов наиболее пригодными для литья являются чугуны эвтектического состава. Так, сплав ЧС15, имеющий температуру плавления 1170—1195° С, затвердевает в небольшом интервале температур (20—25° С). При содержании С ниже эвтектического повышается склонность к образованию усадочных раковин и трещин, а $\lambda_{\text{ж}}$ ухудшается. Сплавы, близкие к эвтектическим, при перегреве на 30—60° С над ликвидусом имеют $\lambda_{\text{ж}}$ (по длине спирали) соответственно 515 и 740 мм, т. е. близкую к $\lambda_{\text{ж}}$ СЧ. Поверхность жидкого металла постоянно покрыта окисной пленкой, практически не реагирующей с материалом формы; поэтому отливки из ферросилидов получаются чистыми, без следов пригара.

Свободная литейная усадка ЖЧС5 составляет 1,0—1,25%, а ЖЧС5Ш — 1,3—1,6%. Легирование кремнистого ЧПГ хромом в количестве до 1,5% увеличивает $\epsilon_{\text{лит}}$ до 1,45%. По склонности к образованию усадочных раковин кремнистый ЧПГ практически не отличается от СЧ, а ЖЧС5Ш имеет большую склонность к их образованию; однако эта склонность несколько меньше, чем у ВЧШГ, и составляет 4—7% в зависимости от состава чугуна и температуры заливки.

Свободная литейная усадка ферросилидов находится в пределах 1,2—2,6%. У антихлора она также велика и составляет примерно 2,2%. Вместе с тем антихлор имеет еще большую склонность к образованию концентрированных усадочных раковин по сравнению с ферросилидом. Литье этих сплавов производят как в сухие, так и в сырые формы. Для предупреждения образования горячих и холодных трещин удаление отливок из формы следует производить сразу после затвердевания с последующим охлаждением в печи, нагретой до 760—800° С, или же обеспечивать медленное охлаждение в форме с последующим обязательным отжигом.

Отливки из ЖЧС5Ш подвергаются термообработке для снятия напряжений. Отливки из ферросилида и антихлора очень хрупки и поэтому требуют осторожного обращения при механической обработке, монтаже и транспортировке.

Алюминиевый чугун

Сплавы Fe—C—Al со специальными свойствами имеют различные структуры вследствие разной склонности к графитизации и образования специфических фаз. На рис. 1.68 представлены характерные структуры этих чугунов. При содержании в чугуне 5—8% Al его структура представляет собой легированный алюминием Fe + Fe₃Al C_x (γ' -фаза) и некоторое количество графита (рис. 1.68, а). В сплавах, содержащих 11—17% Al, нет графита, и их структура состоит из Fe и γ' -фазы (рис. 1.68, б), отличающейся высокой твердостью HV 640—850; микротвердость феррита равна HV 360—400. Количество γ' -фазы зависит от содержания Al и С. В сплавах, содержащих 11—17% Al, феррит парамагнитен, γ' -фаза ферромагнитна. При 19—25% Al чугун имеет парамагнитную однофазную ферритную матрицу (рис. 1.68, в). Модифицирование этого чугуна церием или его соединениями приводит к появлению ферромагнитной структурной составляющей γ' -фазы, располо-

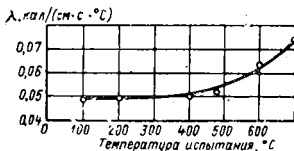


Рис. 1.67. Теплопроводность ЖЧС5Ш при разных температурах

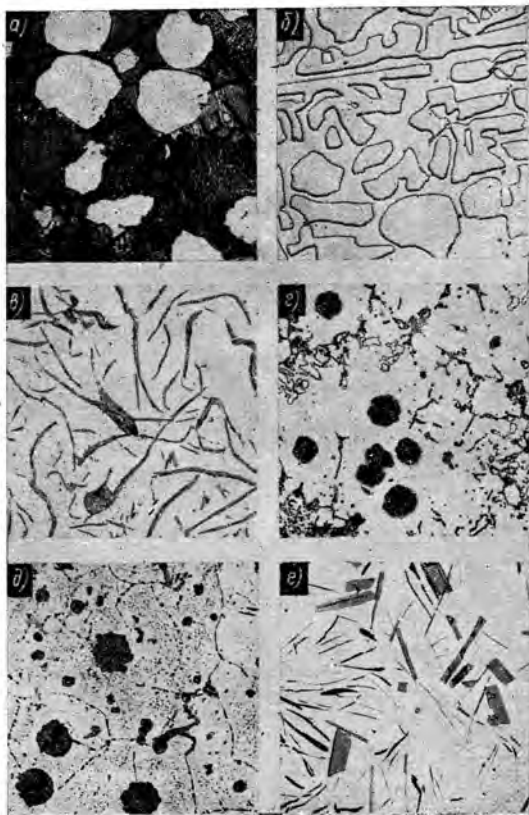


Рис. 1.68. Характерные структуры чугуна с различным содержанием алюминия

Таблица 1.53

Составы высоколегированных алюминиевых чугунов (ГОСТ 7763—76 и РС 593—66)

Марка чугуна	Массовая доля элементов, %							Структура
	C	Si	Al	Cr	Mn	не более		
						P	S	
ЖЧЮ2ХШ	3,0—3,8	2,0—3,0	1,0—2,0	0,5—1,2	0,8	0,1	0,03	Fe+П+Ц+Г
ЖЧЮ6С5	1,8—2,4	4,5—6,0	5,5—7,0	—	0,8	0,3	0,15	Fe+П+Г+Fe ₃ AlC _x
ЖЧЮ7Х2	2,5—3,0	1,5—3,0	5,0—9,0	1,5—3,0	1,0	0,3	0,12	Fe+П+Г+Fe ₃ AlC _x
ЖЧЮ22	1,6—2,5	1,0—2,0	19,0—25,0	—	0,8	0,2	0,08	Fe+Г
ЖЧЮ22Ш	1,6—2,5	1,0—2,0	19,0—25,0	—	0,8	0,2	0,03	Fe+Г+Fe ₃ AlC _x
ЖЧЮ30	1,0—1,2	До 0,5	29,0—31,0	—	0,7	0,04	0,08	Fe+Al ₄ C ₃

Примечание.

В чугунах ЖЧЮ2ХШ, ЖЧЮ22 и ЖЧЮ22Ш допускается содержание Си до 2,0%. Чугун ЖЧЮ2ХШ не является, собственно говоря, высоколегированным, но применяется как чугун со специальными свойствами (см. табл. 1.54).

женной преимущественно по границам зерен феррита. При этом графит приобретает шаровидную форму (рис. 1.68, з). При модифицировании чугуна, содержащего 19—25% Al, кальцием или его соединениями γ' -фаза практически не образуется, а графит имеет более правильную шаровидную форму в сравнении с чугуном, модифицированным церием (рис. 1.68, д). При содержании в чугуне более 26% Al весь C находится в связанном состоянии в виде карбида Al_4C_3 (рис. 1.68, е), имеющего микротвердость $HV\ 960—1000$.

Составы применяемых в промышленности алюминиевых чугунов со специальными свойствами и примерные области их применения приведены в табл. 1.53 и 1.54; их главные свойства — жаростойкость и износостойкость. Уже при 5—8% Al чугун характеризуется достаточным уровнем жаростойкости и при 800°С имеет увеличение массы всего лишь 0,4 г/(м²·ч). Однако при более высоких температурах жаростойкость заметно понижается [1, 5], и для устранения этого явления чугун дополнительно легируют Si, Ni, Cr и Cu, причем максимальная окислительность получается при суммарном содержании Al и Si, равном 10,5%. При увеличении содержания Al в чугуне жаростойкость его непрерывно повышается, так что при 14% Al чугун характеризуется увеличением массы 0,1 г/(м²·ч) при $t = 1000^\circ\text{C}$. Однако, несмотря на хорошую жаростойкость, этот чугун находит весьма ограниченное применение из-за неудовлетворительной обрабатываемости, низких механических свойств и большой хрупкости. Наиболее высокие показатели по окислительности и ростоустойчивости имеет чугун ЖЧЮ22Ш, который практически не окисляется при температурах до 1100°С. Его высокая жаростойкость сохраняется в ряде агрессивных сред, в особенности в средах печных и сернистых газов и в перегретом водяном паре (табл. 1.55).

Алюминиевый ЧШГ сохраняет высокую жаростойкость практически до температуры плавления. При содержании 29—31% Al чугун (так

**Эксплуатационные свойства и области применения отливок
из высоколегированных алюминиевых чугунов**

Марка чугуна	Эксплуатационные свойства	Области применения
ЖЧЮ2ХШ	Жаростойкость в атмосфере воздуха и печных газов при температурах до 650° С, стойкость при воздействии расплавленного стекла	Пресс-формы для стёкольных изделий, детали печного оборудования, ролики рольгангов чистовых клетей листопрокатных станов
ЖЧЮ6С5	Жаростойкость в атмосфере воздуха, печных газов при температурах до 800° С, стойкость в средах, содержащих серу; стойкость против истирания	Детали печной арматуры, колосники агломерационных машин, детали обжиговых печей
ЖЧЮ22	Жаростойкость в воздушной среде при температурах до 1000° С, в среде, содержащей серу, пары воды; износостойкость при нормальной и повышенных температурах, устойчивость против воздействия расплавленного стекла, немагнитность; стойкость в большинстве соединений С и S при низких и высоких температурах, устойчивость в неорганических кислотах большой концентрации	Детали арматуры котлов, дистанционирующие детали пароперегревателей котлов, детали обжиговых колчедановых и цементных печей, нагревательных кольцевых печей, колосники агломерационных машин, детали термических печей, тигли для плавки алюминия, детали обмуровки топок, пресс-формы и детали стекловарочных печей
ЖЧЮ22Ш	То же, что и для чугуна ЖЧЮ22. Высокая прочность при нормальной и повышенной температурах. Жаростойкость в воздушной среде при температурах до 1100° С, устойчивость в условиях ванадиевой коррозии	То же и детали теневой защиты пароперегревателей
ЖЧЮ30	То же, что и для чугуна ЖЧЮ22. Жаростойкость в воздушной среде при температурах до 1100° С, износостойкость при нормальных и повышенных температурах. Не обрабатывается резанием. Склонность к самопроизвольному распаду при нормальной температуре во влажной среде	Детали печей обжига колчедана, детали термических печей, тигли для плавки алюминия

Таблица 1.55

Окалинистойкость алюминиевого чугуна ЖЧЮ22Ш

Температура испытания, °С	Среда	Уменьшение массы (г/м²) при продолжительности испытания, ч					Тип графита
		100	250	500	1000	8760 (1 год)	
900	Водяной пар	33	45	54	63	91	ШГ
900	»	37	50	60	70	100	ПГ
900	SO ₂	14	21	26	31	47	ШГ
900	SO ₂	15	22	27	33	53	ПГ
900	Воздух	7	9	12	15	33	ШГ
1000	»	9	12	16	21	44	ШГ
1100	»	11	15	23	31	85	ШГ
1200	»	33	75	160	308	2700	ШГ

называемый пироксфаль) также обладает высокой жаростойкостью и при 1100° С имеет увеличение массы около 0,2 г/(м²·ч). Относительно высокая жаростойкость пироксфали имеет место как в атмосфере чистого O₂, так и в восстановительной и окислительной атмосферах продуктов горения, в цементационных соляных расплавах при 920° С, азотирующих соляных расплавах при 550° С и в расплавленных буре и бронзе при 1100—1150° С. Наряду с высокой жаростойкостью пироксфаль обладает хорошей износостойкостью при повышенных температурах.

Одной из основных причин, сдерживающих широкое применение в промышленности пироксфали, является склонность его к самопроизвольному распаду при комнатной температуре, что вызывается наличием в его металлической основе карбида Al₄C₃, который при комнатной и пониженных температурах, особенно в присутствии влаги, является нестойким. К недостаткам пироксфали относятся также повышенная склонность к образованию трещин и невозможность обработки резанием обычным инструментом. Присадка в пироксфаль титана в количестве до 0,3%, а также Сг или FeСе улучшает его свойства и повышает устойчивость структуры при нормальной температуре.

Механические свойства алюминиевых чугунов представлены в табл. 1.56. Увеличение содержания Al до 12% приводит к непрерывному снижению прочности, которая в дальнейшем практически больше не изменяется, оставаясь на уровне 8—12 кгс/мм². Прочность чугунов также снижается при увеличении содержания Si. Твердость алюминиевого чугуна изменяется в широких пределах в зависимости от содержания Al, Si и C, причем определяющее влияние оказывает Al. Максимальную твердость имеют чугуны, содержащие 10—17% и более 26% Al. Изменение содержания Si и C в этих чугунах лишь незначительно влияет на их твердость; однако при содержании Al, обеспечивающем максимальную графитизацию, твердость чугуна определяется также содержанием в нем C и может изменяться в широких пределах — от HB 180 до HB 400.

Из всех известных составов алюминиевого чугуна наиболее технологичным является чугун, содержащий 19—25% Al. Значение σ_b у него изменяется от 6 до 12 кгс/мм² при наличии ПГ в структуре и от 32 до 40 кгс/мм² — при наличии ШГ. Значение a_n у ЧШГ превышает в два раза это значение для чугуна с ПГ и составляет примерно 1,0 кгс·м/см² (образцы без надреза). Точно так же и HB у ЧШГ на 50—70 ед. выше, чем у чугунов с ПГ.

Чугуны, содержащие до 8% Al, модифицируются магнием или его лигатурами [5], содержащие 19—25% Al — церием, кальцием или комплексными присадками, содержащими эти элементы. Следует отметить, что чугун, содержащий 5—8% Al, модифицированный магнием, характеризуется большой хрупкостью

Влияние температуры на механические свойства алюминиевых чугунов

Массовая доля элементов, %				Механические свойства при температуре, °C						HB
				20	500	700		800		
C	Si	Mn	Al	σ_B , кгс/мм ² (10 ⁷ Па)		σ_B , кгс/мм ² (10 ⁷ Па)	δ , %	σ_B , кгс/мм ² (10 ⁷ Па)	δ , %	
2,6—3,2	0,8—3,0	0,3—0,8	4,0—8,0	9—20 25—30 *	11—30 35—48	6—9 10—15	1,5—5 5—7	3—4 4—6	3—8 8—15	143—270 187—320 *
1,8—2,5	0,4—3,0	0,3—0,8	10—18	10—17	—	—	—	—	—	380—520
1,5—2,2	0,3—3,5	0,3—1,0	19—24	7—18 30—40 *	10—14 35—42	6—8 25—32	— 1,5—3,0	3—5 14—20	— 4—10	143—285 240—360 *
1,0—1,3	0,3—0,8	0,3—0,7	28—31	18—20	—	—	—	—	—	430—550

* Чугун с шаровидным графитом.

и по этой причине ограниченно применяется в промышленности. Повышение в чугунах содержания кремния до 6% при 11—17% Al позволяет после модифицирования их комплексными присадками, содержащими Ca, Si, Mg и РЗМ, получать шаровидный графит; однако это не снижает их хрупкости. Значение модуля упругости E у алюминиевого чугуна с 19—25% Al, как и у других чугунов, с повышенном температуры непрерывно снижается, но у чугунов с ШГ, как обычно, оно выше, чем у чугунов с ПГ:

$t, ^\circ\text{C}$	20	250	450	600	700	800
$E, \text{кгс/мм}^2$:						
при ЧПГ	9 700	9 300	7 900	7 300	6 900	—
» ЧШГ	17 800	16 900	14 000	12 800	12 400	8800

Вместе с тем алюминиевый ЧШГ, содержащий 19—25% Al, сохраняет высокую прочность даже после длительной выдержки при температуре 1000°C (табл. 1.57).

При содержании 19—25% Al чугун характеризуется удовлетворительной обрабатываемостью, причем с увеличением содержания Si она улучшается. Влия-

Таблица 1.57

Прочность σ_B алюминиевого чугуна после выдержки при 1000°C

в исходном состоянии	$\sigma_B, \text{кгс/мм}^2 (10^7\text{Па})$				
	после выдержки, ч				
	100	200	300	600	1100
41	41	30	36	34	43
43	35	39	33	36	35

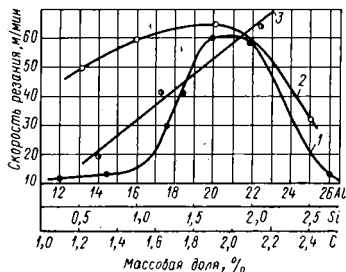


Рис. 1.69. Влияние элементов на обрабатываемость алюминиевого чугуна:

1 — Al; 2 — Si; 3 — C

ние Al, Si, C на обрабатываемость алюминиевого чугуна при точении пластинами ВК2 показано на рис. 1.69. Скорость резания такого чугуна с ШГ вследствие худшей обрабатываемости, обычно в 1,5—2 раза меньше, чем ЧПГ. Для черновой и полустойковой обработок при малых скоростях и увеличенных подачах (более 0,5 мм/об) может быть рекомендован сплав ВК6. При чистовой обработке чугуна с высокой скоростью и малыми подачами (до 0,45 мм/об) следует применять сплавы ВК2, ВК3.

Плотность чугуна, легированного алюминием (5—8%), составляет 6,4—6,7 г/см³ и понижается с увеличением содержания Al, так что при 29—31% Al (пирофераль) она равна 5,3 г/см³. Значения теплопроводности этих чугунов ниже, чем СЧ, на 20—30%, и, например, при 19—25% Al составляют:

$t, ^\circ\text{C}$	100	300	500	600	700	800
$\alpha \cdot 10^6, 1/^\circ\text{C}$:						
при ПГ	14,2	18,9	17,4	26,0	26,9	26,9
» ШГ	17,5	21,0	24,8	25,7	27,5	27,5

Среднее значение α в интервале температур 20— 900°C равно $(22 \pm 23) \times 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$. Электросопротивление равно 150—310 мкОм·см, а теплопроводность λ в интервале температур 200— 500°C составляет 14—23 ккал/(м·ч· $^\circ\text{C}$), причем ρ и λ , как обычно, возрастают с повышением температуры.

Чугуны, легированные алюминием, выплавляют в ИП промышленной и средней частот; температура перегрева не должна быть выше 1550°C , иначе

чугун насыщается водородом, что ведет к образованию пор в отливках. Содержание H в алюминиевом чугуна при перегреве до 1450—1520°С составляет 7—12 см³/100 г, а при 1560—1600°С возрастает до 20—30 см³/100 г. В чугунах, содержащих более 27% Al, высокая температура перегрева способствует образованию грубых быстро распадающихся включений Al₄C₃. Угар Al при выплавке в ИП составляет 0,5—3%.

Следствие понижения растворимости C в чугунах при высоком содержании Al выделяющийся из расплава избыточный графит способствует образованию пористости в отливках; поэтому рекомендуется подбирать шихту таким образом, чтобы содержание C в расплаве было близко к равновесному при заданном содержании Al. Модифицирование алюминиевого чугуна ферросилием производится непосредственно в печи перед выпуском металла. Алюминиевый ЧШГ может быть получен также посредством смешивания отдельно расплавленного Al при температуре до 800°С и чугуна при температуре 1350—1490°С. При этом модифицирующие присадки должны быть растворены в алюминии.

Отливки из алюминиевых чугунов можно получать в сырых и сухих формах; формы должны иметь хорошую вентиляцию; большие поверхности необходимо располагать вертикально или под наклоном. При отливке крупных деталей необходимо применять податливые смеси.

При 18—24% Al температура кристаллизации чугуна на 120—150°С выше, чем у СЧ, и составляет 1230—1280°С; следовательно, перегрев при заливке должен быть соответственно более высокий, чем при СЧ. При понижении содержания Р с 0,2 до 0,06% $\lambda_{ж}$ снижается приблизительно в два раза; при увеличении содержания C в алюминиевом чугуна на 1%, при прочих равных условиях, $\lambda_{ж}$ возрастает в 2—3 раза. При понижении содержания Al в чугуна $\lambda_{ж}$ возрастает, и при содержании 5—8% Al она практически мало отличается от жидкотекучести СЧ.

Значение $\epsilon_{лит}$ такого чугуна составляет 1,5—1,8%, а у ЧШГ и при 19—25% Al она увеличивается до 2—2,6%. Снижение содержания C и Si увеличивает усадку алюминиевого чугуна. Значение $\epsilon_{рас}$ алюминиевого ЧШГ составляет 0,5—1,2%, а ЧПГ — около 0,2%. Объем усадочной раковины, изменяющийся в зависимости от состава чугуна и $t_{зал}$, составляет 2,6—4,0% для ЧПГ и 4,2—7,0% для ЧШГ. Еще хуже литейные свойства пиррофералей.

Остаточные напряжения, возникающие в отливках из алюминиевых чугунов, могут быть снижены последующим отжигом, причем кратковременная выдержка приводит к значительной релаксации напряжений в алюминиевом чугуна только при $t > 700 \div 750^\circ\text{C}$; поэтому для снятия напряжений температура отжига этого чугуна должна быть не менее 750°С.

Марганцовый чугун

Марганец в еще большей степени, чем никель, понижает эвтектичное превращение Fe—C-сплавов и способствует их аустенизации. Однако Mn при содержании более 7% резко тормозит графитизацию. Структура чугуна, содержащего 5—6% Mn, при обычных скоростях охлаждения является мартенситной, а при 8—10% Mn она состоит преимущественно из аустенита и карбидов. На рис. 1.70 [22] показана структурная диаграмма Fe—C—Mn-сплавов после нормализации с $t = 950^\circ\text{C}$. При одинаковой твердости с никелевым аустенитом марганцовый аустенит все же более склонен к наклепу, хуже обрабатывается и имеет меньшее значение ударной вязкости.

Марганцовые чугуны применяются, главным образом, как антифрикционные и немагнитные. В структуре антифрикционных марганцовых чугунов содержится 80—90% аустенита и 5—8% карбидов после закалки и 45—55% аустенита и 10—30% карбидов в сыром состоянии. В марганцовых, как и в высоконикелевых чугунах, медленное охлаждение и отпуск способствуют выпадению большого количества карбидов и снижению степени легированности аустенита. Именно поэтому в сыром состоянии твердость марганцового аустенитного чугуна (HB 180—290) бывает выше, чем закаленного (HB 140—180). ГОСТ 1585—70 на отливки из антифрикционного чугуна предусматривает марку АЧС-5 для работы в нагружен-

ных узлах трения в паре с закаленным или нормализованным валом (см. табл. I.18).

Учитывая высокую чувствительность марганцового чугуна к скорости охлаждения, рекомендуется следующее содержание Мп в зависимости от толщины стенки отливок:

Толщина, мм	5—10	10—20	20—30	30—40	40—60
Мп, %	7,5—8,5	8,5—9,5	9,5—10,5	10,5—11,5	11,5—12,2

Влияние Мп на механические свойства и относительную (в сравнении с обычным чугуном) износостойкость чугуна с ПГ и ШГ, измеряемую по потере массы обоймы при сухом трении скольжения в паре с роликом из закаленной стали 45Г2, приведено в табл. I.58.

Дальнейшему уменьшению износа в 1,5—1,8 раза способствуют дополнительное легирование чугуна молибденом (0,5—0,75%) [14], а также комплексное легирование марганцем и кремнием (С = 3,6%, Si = 4%, Мп = 5,5%) для получения структуры аустенит — мартенсит — карбид — графит. При этом для получения ШГ модифицирование производят чернем*.

Марганцовый чугун применяется также как немагнитный (табл. I.59), причем в основном применяется чугун, содержащий 10—12% Ni и 5—6% Мп, известный в литературе под названием «иомаг» (этот и аналогичные ему чугуны входят в стандарт ИСО на никелевые чугуны). В зависимости от толщины стенок для обеспечения аустенитной структуры рекомендуется различное содержание Мп и других элементов (табл. I.60)**.

Обрабатываемость марганцовых чугунов, вследствие наличия в структуре карбидов, затруднена. Поэтому припуски на обработку должны быть минимальными, а если это возможно, следует предусматривать только шлифовку или обработку абразивным инструментом.

Таблица I.58

Влияние Мп на относительную износостойкость чугуна

Форма графита	Содержание Мп, %	σ_{H^*} кгс/мм ² (10 ⁷ Па)	НВ	Коэффициент трения	Относительный износ
ПГ	0,63	25	156	0,85	1
ПГ	7,5	42	185	0,62	0,012
ШГ	10,3	48	174	0,50	0,002

* Возможны и другие варианты модификаторов. Так, Л. Р. Штейнберг применял для этого 2,5% лигатуры ЖКМК и 1% СаF₂.

** В последнее время, согласно исследованиям С. М. Волощенко и Ю. Г. Бобро, обнаружена возможность получения чисто марганцового АЧ с ШГ, содержащего 15—25% Мп, модифицированного лигатурой ЖКМК. Этот чугун имеет $a_H = 12 \div 18$ кгс·м/см² (без надреза) и $\sigma_B = 50 \div 60$ кгс/мм² [(50 ÷ 60)·10⁷ Па] при меньшей стоимости по сравнению с никелевым чугуном.

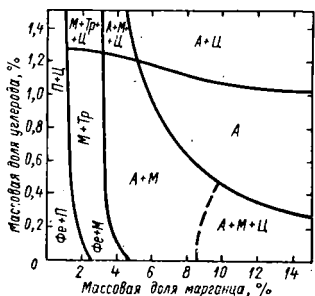


Рис. I.70. Структурная диаграмма Fe—C—Мп-сплавов после нормализации с $t = 950^\circ \text{C}$

Таблица 1.59

**Влияние марганца в аустенитных чугунах на магнитную
проницаемость**

Массовая доля элементов, %					Магнитная проницае- мость μ , Гс/Э
C	Si	Mn	Cu	Прочие элементы	
3,80 3,90	2,21 2,25	5,8 7,0	2,10 2,14	— —	4,7 1,09
3,52 3,55	3,43 4,10	6,7 7,0	2,00 2,00	— —	1,94 4,57
3,68 3,70	2,24 2,23	8,26 8,35	2,00 2,14	Al 0,6 Al 1,2	1,05 1,30
3,70 3,70	3,70 3,71	8,10 8,03	4,93 4,98	Cr 1,0 Cr 2,1	1,42 2,90
3,52 3,45	2,95 2,90	7,45 7,53	1,5 2,95	— —	1,38 1,36
3,45 3,08 2,96	2,93 2,45 2,50	7,55 5,2 5,1	— P 0,04 P 0,77	Ni 1,5 Ni 9,95 Ni 9,94	1,43 1,06 1,22

Таблица 1.60

Состав аустенитных марганцовых чугунов для разных толщин отливок

Толщина стенок, мм	Массовая доля элементов, %					
	C	Si	Mn	Cu	Al	P
До 5	3,5—3,9	2,6—3,0	6,8—7,5	1,5—2,0	0,3—0,7	0,3—0,7
5—12	3,5—3,9	2,5—3,0	7,5—8,5	1,5—2,0	0,3—0,7	0,3—0,7
12—20	3,5—3,9	2,4—2,8	8,0—9,5	1,5—2,0	0,3—0,5	0,1—0,3
20—40	3,5—3,9	2,4—2,8	9,0—10,5	1,5—2,0	0,3—0,5	0,1—0,3
Св. 40	3,5—3,9	2,4—2,8	10—12	1,0—1,5	До 0,4	0,1—0,3

Жидкотекучесть марганцового чугуна вполне удовлетворительная, но он обладает повышенной объемной и линейной усадкой и, следовательно, склонностью к образованию усадочных дефектов и трещин.

Ванадиевые и некоторые другие легированные чугуны, удовлетворяющие принципу Шарпи

Характерной особенностью ванадиевых чугунов, особенно белых, является соответствие принципу Шарпи, требующему полной инверсии расположения фаз, т. е. чтобы наиболее твердые структурные составляющие залегали в виде изолированных друг от друга включений, а наиболее вязкие образовывали сплошную матрицу, что в наилучшей степени обеспечивает не только высокие антифрикционные и износостойкие свойства сплавов, но и прочность, вязкость, стойкость в условиях теплосмен и т. д. [26]. Такая инверсия расположения фаз в составе аустенитно-карбидной эвтектики может быть достигнута легированием (что впервые было указано в японском патенте *), сочетанием легирования и ТО [48], пластической деформацией [15]. При легировании БЧ ванадием (8—12%) образуются эвтектические колонии $\gamma + VC$, имеющие вид сфероидов (рис. 1.71). Они состоят из карбидного скелета в виде «ежа», иглолки которого равномерно расходятся во все стороны из центра колонии, и сплошной аустенитной (перлитной) матрицы, окружающей карбидные иглы. При недостаточно высоком содержании V в чугуне по границам таких сфероидов выпадает эвтектический цементит, и принцип Шарпи нарушается. В дальнейшем была решена [3] задача снижения критической концентрации, необходимой для инверсии микроструктуры БЧ, за счет дополнительного легирования элементами, повышающими термодинамическую активность C, и определенной корреляции между C и V (рис. 1.72). При этом содержание V в БЧ указанного класса удалось снизить до 3,5—4,5%.

Указанные чугуны обладают исключительно высокой стойкостью в условиях трения, в 2—7 раз превышающей стойкость стали ШХ15, закаленной и отпущенной из HRC 61, и практически равной износостойкости быстрорежущей стали марки P18 с твердостью HRC 66. Эти данные относятся к чугунам в сыром состоянии, имеющим твердость HB 388, сравнительно легко обрабатываемым твердосплавным инструментом и дающим прочную витую стружку.

Свойства комплексно-легированных ванадиевых БЧ с инвертированной микроструктурой характеризуются следующими значениями: $\sigma_b \leq 100$ кгс/мм² ($100 \cdot 10^3$ Па) и $\delta \leq 2,5\%$. При температуре аустенитного состояния они приобретают высокую пластичность, которая обеспечивает возможность их пластической деформации. Последнее свойство, очевидно, также является следствием благоприятного взаимного расположения и формы твердой и мягкой фаз. Химические составы некоторых ванадиевых чугунов, обеспечивающие инверсию микроструктуры, приведены в табл. 1.61.

Инверсия микроструктуры может быть достигнута также путем высокотемпературной ТО доэвтектических БЧ с высоким содержанием Mn [48], который уменьшает количество цементита в составе эвтектики, что вызывает и изменения в ее морфологии. Эвтектика получает возможность расти в виде конгломерата фаз с преобладанием вязкого и пластинчатого аустенита при намечающейся изоляции карбидных включений (рис. 1.73, а). В процессе выдержки (5—6 ч) при 1000—1050°С карбидные включения полностью изолируются друг от друга, что



Рис. 1.71. Микроструктура белого ванадиевого чугуна, содержащего 2,8% С и 11,1% V, с полной инверсией расположения фаз ($\times 600$)

* Патент № 7603 от 9.II.1962 г. «Белый вязкий чугун с высоким содержанием Mn и V», РЖМ, 1963, № 12, 4378 и.

Химический состав чугунов с полной или частичной инверсией микроструктуры

Вид чугуна	Массовая доля элементов, %						
	C	Si	Mn	Cr	V	Cu	Ti
Белый ванадиевый	1,7—3,0	0,5—2,5	До 0,7	До 0,1	3—10	До 1,5	—
Частично графитизированный ванадиевый, с пластинчатым графитом	3,3—4,0	2,0—3,3	» 0,5	» 0,05	1,5—4,5	0,5—1,2	—
То же, с шаровидным графитом *	3,5—4,0	3,0—4,2	» 0,5	» 0,05	1,5—4,5	0,5—1,2	—
Белый аустенитный комплексно-легированный, с ванадием	2,7—3,8	0,5—1,5	7,5—20	7—12	3—8	—	—
Белый мартенситно-аустенитный комплексно-легированный, с ванадием	2,7—3,8	0,5—1,5	3,5—5	7—11	4—8	—	—
Белый комплексно-легированный, с титаном	2,3—2,8	До 0,6	0,5—8	7—12	—	—	1,5—3,0
Белый марганцовый	1,7—2,5	0,5—1,5	15—35	—	—	—	0,2—0,5

* Модифицированный лигатурой ЖКМК.

приводит к формированию структуры, соответствующей принципу Шарпи, причем наилучшие результаты получены для чугунов, заливаемых в кокиль (рис. 1.73, б). Они имеют повышенную пластичность и вязкость и поддаются пластической деформации (изгибу) даже при приложении ударной нагрузки. Вместе с тем эти чугуны обладают повышенной твердостью ($HRC \approx 40$) и хорошо сопротивляются абразивному износу. В них обнаружена необычная структурная составляющая, подобная перлиту, но с аустенитом вместо феррита (рис. 1.73, в), которая образуется из сильно пересыщенного аустенита.

Особенно значительное повышение износостойкости достигнуто при комплексном легировании белого чугуна марганцем, ванадием и углеродом (табл. 1.61). Структура таких сплавов после кристаллизации состоит из двух видов эвтектики: $\gamma + VC$ и $\gamma + M_2C_3$ (рис. 1.74, а). При субкритических температурах, в частности при комнатной, аустенит частично претерпевает мартенситное превращение, и структура состоит из мартенситно-аустенитной матрицы и карбидов VC и M_2C_3 . Поверхность, подвергаясь износу, при такой структуре легко наклепывается почти без ударного воздействия абразивных частиц, что, наряду с высокой исходной твердостью ($HRC\ 57-65$), обеспечивает

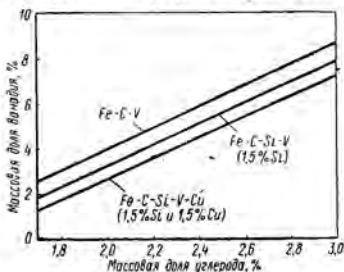


Рис. 1.72. Зависимость между содержаниями ванадия и углерода в белых ванадиевых чугунах с инвертированной микроструктурой



Рис. 1.73. Микроструктуры марганцовых белых чугунов, залитых в кокиль (2,5% С; 31,2% Мп): а — в сыром состоянии ($\times 900$); б — после термической обработки ($\times 900$); в — с участками перлитоподобной составляющей ($\times 1450$)

высокую износостойкость. Такой чугун может быть рекомендован для дробетных лопаток, быстроизнашиваемых деталей землеройных машин и т. д.

Ванадий в комплексно-легированных чугунах может быть заменен титаном. Структура таких чугунов состоит из двух видов эвтектики: $\gamma + TiC$ и $\gamma + M_2C_3$ (рис. 1.74, б). По свойствам эти чугуны не отличаются от $Mn-Cr-V$ -чугунов.

В обычных СЧ принцип Шарпи, как правило, не соблюдается: феррит обычно выделяется в центре эвтектических колоний и в осевой зоне дендритов избыточного аустенита. На начальных стадиях отбела СЧ включения ледебуритного цемента располагаются сеткой вокруг эвтектических аустенитно-графитных колоний или в виде прослоек в междуветвях дендритной структуры. Вместе с тем известны определенные средства для инверсии такого неблагоприятного расположения



Рис. 1.74. Микроструктуры комплексно-легированных белых чугунов ($\times 300$): а — 3,56% С; 4,0% Мп; 8,19% V; 4,21% Cr; б — 2,5% С; 7,5% Cr; 1,5% Ti; 3,5% Мп

структурных составляющих. Примером этого могут служить чугуны, содержащие 1,6—3,5% Al. В них формируется аустенитно-ферритная матрица, причем аустенит содержит повышенное количество Al и кристаллизуется в виде дендритов. При охлаждении отливок эти дендриты претерпевают распад с образованием особого эвтектоида, содержащего вместо цемента γ' -фазу (раствор внедрения углерода в упорядоченном растворе замещения Fe—Al). Образуется характерная инвертированная феррито-перлитная структура (рис. 1.75, а), обеспечивающая повышенную износостойкость сплавов этого типа.



Рис. 1.75. Микроструктуры алюминиевых и алюминий-цериевых чугунов ($\times 115$): а — 3,5% С; 2,6% Al; б — 3,5% С; 2,6% Al; 0,2% Ce

Микролегирование таких чугунов церием повышает компактность графитных зерен и способствует сохранению γ' -фазы в структуре без эвтектоидного распада включений (рис. 1.75, б). Это обеспечивает высокую износостойкость Al—Ce-чугунов в условиях сухого трения, повышенные механические свойства (σ_b до 50 кгс/мм²) и высокую окалиностойкость. Несмотря на несколько повышенную твердость (HB 285), они хорошо обрабатываются резанием, так как имеют сильно дифференцированную по твердости структуру — твердые включения γ' -фазы в мягкой матрице из сильно обедненного алюминия феррита.

Примером структуры, соответствующей принципу Шарпи, могут служить также частично графитизированные ванадиевые чугуны (табл. 1.61), в которых

значительная часть С присутствует в виде ПГ или ШГ, а часть связана в карбидах ванадия. В сыром состоянии и особенно после отжига такие сплавы с ШГ имеют высокую пластичность (δ_5 до 7,5%), пониженную твердость (НВ 250) и хорошо обрабатываются резанием. После закалки и отпуска они приобретают твердость HRC 56—60 и высокую износостойкость; их σ_B достигает 150 кгс/мм² (150×10^7 Па).

7. ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СИНТЕТИЧЕСКИХ ЧУГУНОВ

Сущностью процесса производства синтетического чугуна является выплавка его на стальных отходах с соответствующим науглероживанием различными карбюризаторами. Исходными материалами являются обычно стальной лом в виде отходов прокатного или кузнечного производства, динамной и трансформаторной стали, стальная стружка, высечка, обрезь, собственные отходы *, карбюризатор (электродный бой, графитизированный порошок, кокс, каменный уголь и т. п.)

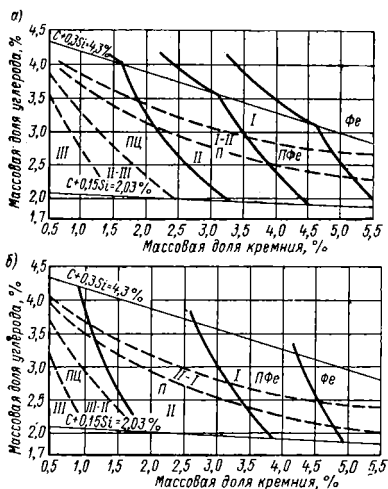


Рис. 1.76. Структурные диаграммы синтетического чугуна: а — немодифицированного; б — модифицированного СК30 (I, II, III объяснены в подписи к рис. 1.30)

и ферросплавы (ФС, ФМн, ФХ и др.). Для выплавки синтетического чугуна применяют обычно электрические печи индукционные [40] или дуговые [19], что позволяет регулировать его состав и температуру в жидком состоянии подбором оптимальных условий термовременной обработки.

Синтетический чугун существенно отличается от обычного низким содержанием S (0,015—0,03%), P (0,02—0,04%), H (около 0,0003 %), N (около 0,004%),

* На практике применяют иногда также чугунистую стружку, но получаемый при этом чугун нельзя назвать синтетическим в отличие от чугуна, выплавленного только из стали и собственных отходов.

О (около 0,002%) и других примесей, а также неметаллических включений [13, 52, 58]. Этим объясняются особенности его свойств в жидком состоянии: несколько повышенное поверхностное натяжение, большая склонность к переохлаждению, что способствует кристаллизации по метастабильной системе и образованию отбела [29, 52] и междендритного графита, как это видно из сопоставления рис. 1.30 и 1.76. При этом можно отметить, что модифицирование синтетического чугуна графитизирующими присадками (ФС75, СК30 и т. п.) расширяет структурные области перлита и неориентированного графита, как и у обычного чугуна.

Константа графитизации K_r , а значит, и графитизирующая способность как функция содержания С и Si у синтетического чугуна (1.4) несколько меньше, чем у обычного (1.5), в особенности при отсутствии модифицирования, вследствие чего для получения одинаковой структуры содержание Si в синтетическом чугуне должно быть больше, чем в обычном:

$$K_r' = C + (C/2,1) Si; \quad (1.4)$$

$$K_r = C + (C/1,5) Si. \quad (1.5)$$

Эта тенденция сохраняется и при модифицировании; поэтому количество модификатора, вводимого в синтетический чугун, должно быть на 0,1—0,2% больше. Размер включений графита в нем меньше, а перлит — более дисперсный, чем в обычном чугуне. Это обуславливает его более высокие механические свойства, чему в большой степени способствует также и меньший коэффициент концентраций напряжений (K_k) [41]:

Форма графита	ШГ	ВГ	ПГ
Размер включений, мкм	60—30	60—40	100—40
K_k синтетического чугуна	2,1—2,9	1,8—3,5	3,2—4,6
K_k обычного чугуна	2,4—3,3	2,5—4,5	4,2—7,5

При модифицировании синтетического чугуна сфероидизирующими присадками (Mg, лигатурой Ni—Mg, сплавами ФЦМ-5, ЖКМК и др.) их действие оказывается более стабильным, а расход таким же, как и в случае применения рафинированного чушкового чугуна завода «Азовсталь», о чем свидетельствуют значения Mg_{min} * для разных слитковых материалов. Так, для отливки с приведенной толщиной стенок $R_{пр} = 15$ мм из металла, выплавленного на чушковом чугуне завода «Азовсталь», и из синтетического чугуна $Mg_{min} = 0,03\%$, в то время как при плавке на обычных чушковых чугунах Mg_{min} достигает 0,05—0,07% [13]. Как видно из рис. 1.77, размер включений графита и их количество в синтетическом чугуне меньше, чем в обычном, что находится в соответствии с большей величиной переохлаждения ΔT (табл. 1.62).

Таблица 1.62

Значения ΔT обычного и синтетического чугунов, °C

Тип чугуна	Немодифицированный		Модифицированный	
	$C_3 = 0,8$	$C_3 = 1,2$	$C_3 = 0,8$	$C_3 = 1,2$
Обычный чугун	22	12	12	4
Синтетический чугун	26	16	14	6

* Mg_{min} — наименьшее количество $Mg_{ост.}$ необходимое для получения 100% ШГ в чугуне; характеризует жидкое состояние чугуна в зависимости от его состава, природы слитковых материалов и условий плавки [13].

При производстве КЧ главными особенностями синтетического чугуна являются меньшее содержание Р и соответствующее увеличение пластичности и вязкости, особенно при низкой температуре. Вместе с тем имеет место и некоторое увеличение длительности отжига, в особенности его II стадии в связи с избытком Мп (вследствие низкого содержания S) и повышенной концентрацией Сг в стальном леме. Однако модифицирование алюминием или, что еще лучше, увеличение содержания Si до 1,5—1,8% с одновременным модифицированием ФЦМ-5 устра-

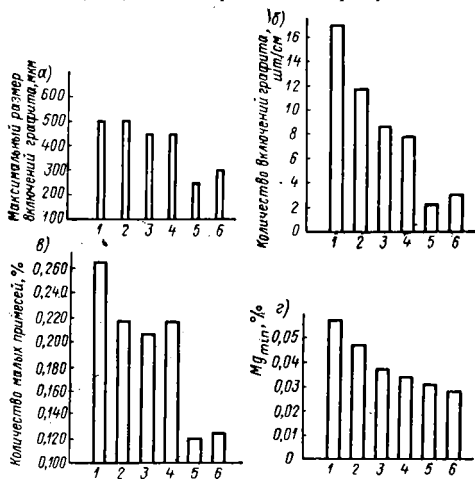


Рис. 1.77. Характеристики чушковых чугунов (а, б, в) и величина $Mg_{\text{млп}}$ в металле при плавке на этих чугунах:

1 — череповецкий литейный; 2 — новотульский литейный; 3 — енакиевский; 4 — криворожский; 5 — синтетический; 6 — рафинированный завода «Азовсталь»

няет это отрицательное влияние, а модифицирование ФЦМ-5 — увеличивает, кроме того, компактность графита, приближая его к ШГ, и одновременно повышает свойства чугуна.

Белый синтетический чугун, простой и легированный, отличается большей дисперсностью структуры и большей склонностью к транскристаллизации, для устранения которой целесообразны модифицирование РЗМ (мишметалл, сплавы ФЦМ-5, Ситтийш и т. п.) и увеличение скорости охлаждения отливок (литье в кокиль и т. п.).

Механические свойства синтетического чугуна с ПГ значительно выше, чем у обычного серого чугуна при одном и том же составе металла, как это видно из сравнения рис. 1.78 с рис. 1.35, причем это различие сказывается особенно резко в модифицированном состоянии, и получение высших марок чугуна по ГОСТу (СЧ 40-60 и СЧ 44-64) при этом заметно облегчается. Из обычных элементов наибольшее влияние на механические свойства синтетического чугуна оказывают С и Si, а значит, S_2 и, кроме того, отношение $C : Si$, что следует из уравнения для модифицированного состояния:

$$\sigma_B = 96,5 - 70S_2 - 2,1C/Si, \text{ кгс/мм}^2.$$

По опыту московского завода «Водоприбор» можно поэтому рекомендовать следующее содержание С и Si в синтетическом чугуна в зависимости от требуемой прочности:

σ_B , кгс/мм ² (10^8 Па)	36—40	28—32	18—24
C, %	2,7—3,2	3,3—3,6	3,7—4,0
Si, %	2,6—3,0	1,3—2,0	0,9—1,2

При этом твердость и структура находятся в таком соотношении:

НВ	200—240	180—200	До 180
Структура	П98	П85	П70—П0

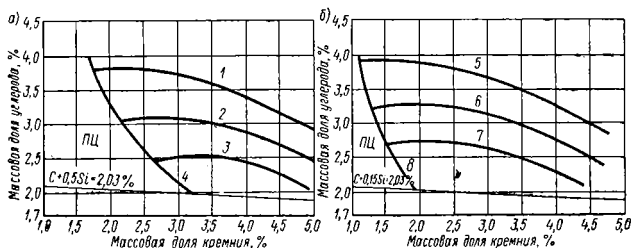


Рис. 1.78. Области равной прочности синтетического чугуна: а — немодифицированного; б — модифицированного:

1 — $\sigma_B \leq 15$ кгс/мм², $\sigma_H \leq 28$ кгс/мм²; 2 — $\sigma_B = 15 \div 18$ кгс/мм², $\sigma_H = 28 \div 32$ кгс/мм²; 3 — $\sigma_B = 18 \div 24$ кгс/мм², $\sigma_H = 32 \div 40$ кгс/мм²; 4 — $\sigma_B = 24 \div 30$ кгс/мм², $\sigma_H = 40 \div 52$ кгс/мм²; 5 — $\sigma_B \leq 18$ кгс/мм², $\sigma_H \leq 32$ кгс/мм²; 6 — $\sigma_B = 18 \div 24$ кгс/мм², $\sigma_H = 32 \div 44$ кгс/мм²; 7 — $\sigma_B = 24 \div 32$ кгс/мм², $\sigma_H = 44 \div 64$ кгс/мм²; 8 — $\sigma_B = 32 \div 44$ кгс/мм², $\sigma_H = 64 \div 84$ кгс/мм².

Существенное влияние на прочность чугуна оказывает также отношение $Mn : S$, которое наиболее благоприятно при значениях 5—10. Весьма важна с точки зрения механических свойств синтетического чугуна также термовременная обработка жидкого металла. Для доэвтектических модифицированных синтетических чугунов можно принять как оптимальную температуру перегрева 1500—1550° С (рис. 1.79); но длительная выдержка металла в печи при этих температурах снижает прочность чугуна. Живучесть модификатора (допустимая длительность выдержки после модифицирования) увеличивается с емкостью ковша и возрастает от 5 мин при емкости 0,15 т до 25 мин при емкости 1 т.

Важной особенностью синтетического чугуна является повышенная статическая вязкость (A_{CT}), которая характеризует конструкционную прочность и определяется как удельная работа разрушения по диаграмме деформации. Так, для модифицированного чугуна, содержащего 2% Si, при вводе в ковш 1,2% СК30 A_{CT} имеет следующие значения:

C, %	2,8	3,0	3,2
A_{CT} , кгс·м/см ² , для чугунов:			
обычного	8,0	7,2	6,4
синтетического	11,0	10,0	9,4

Синтетический чугун с ШГ при нормальной температуре мало отличается по свойствам от обычного ВЧШГ при одинаковых составе и значении Mg_{min} , так как свойства этих чугунов и обуславливающие их структуры зависят главным образом от условий модифицирования (рис. 1.79 и 1.80) и термической обработки и в значительно меньшей степени от исходного жидкого состояния, которое оказывает большое влияние в немодифицированных чугунах.

При повышенных же и особенно при пониженных температурах более высокие свойства по сравнению с обычным имеют место у синтетического чугуна не только с ПГ, но и с ШГ, что главным образом обусловлено более низким содержанием Р, Si и других примесей (влияние Р представлено на рис. 1.81). При этом особенно важно отсутствие провала пластичности в температурном интервале хрупкости, что повышает трещиностойкость синтетического чугуна. Вследствие этого брак по горячим трещинам, например, на заводе «Водоприбор» при литье в кокиль резко уменьшился с 9 до 4,3% при переходе на синтетический чугун, причем одновременно уменьшился и расход кокилей с 21,2 до 11,5 кг/т. Преимуществами этого чугуна являются также повышенная стойкость в условиях знакопеременных нагрузок и очень низкое (ниже -100°C) положение порога хрупкости.

Физические свойства синтетического чугуна практически не отличаются от свойств обычного чугуна, имеющего аналогичные состав и структуру. Из *технологических свойств* можно отметить небольшое ухудшение обрабатываемости в связи с повышением σ_b и HV , а у чугуна с ШГ — и вязкости.

Служебные свойства и в первую очередь износостойкость и герметичность более благоприятны у синтетического чугуна, чем у обычного. Как видно из рис. 1.82, износ у него в условиях трения со смазкой почти в два раза меньше, чем у обычного чугуна той же марки; кроме того, этот чугун может успешно работать при еще более тяжелых условиях: высоком давлении (до 80 кгс/см^2) для марки СЧ 18-36) и большой скорости движения на поверхности трения. При

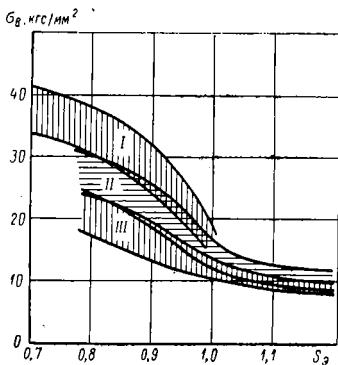


Рис. 1.79. Влияние эвтектичности и условий модифицирования на σ_b синтетического чугуна с ПГ:

I — модифицированный чугун с перегревом до 1550°C ; II — модифицированный чугун с перегревом до 1450°C ; III — немодифицированный чугун

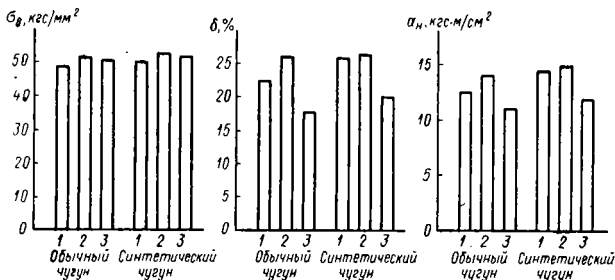


Рис. 1.80. Механические свойства синтетического и обычного чугуна с ШГ при модифицировании:

1 — Ni — Mg-лигатурой; 2 — ЖКМК; 3 — сплавом ФЦМ-5

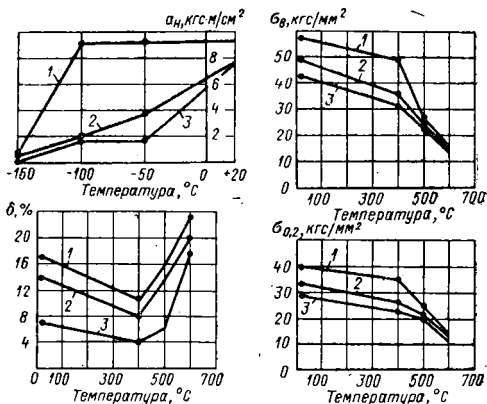


Рис. 1.81. Механические свойства синтетического чугуна с ШГ при повышенных и пониженных температурах при разном содержании Р:

1 — 0,02% Р; 2 — 0,06% Р; 3 — 0,10% Р

этом с повышением марки синтетического чугуна от СЧ 18-36 до СЧ 32-52 допустимое значение Pv может быть увеличено от 86 до 150 $\text{кгс} \cdot \text{м}/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$. Эти преимущества имеют место и у чугуна с ШГ.

Герметичность синтетического чугуна, в особенности с ПГ, значительно выше, чем у обычного, что является следствием меньшего размера графита и большей плотности металла. В связи с этим синтетический чугун даже с ПГ можно успешно применять для деталей гидроаппаратуры и других отливок, работающих при давлениях до 300—350 атм $[(300 \div 350) 10^6 \text{ Па}]$. Поэтому на заводе «Водоприбор» брак этих отливок по негерметичности при переходе с обычного ЧПГ на синтетический сократился с 4 до 2,5%. Отливки из синтетического чугуна с ШГ, как показывают опыты, проведенные в ЛПИ им. М. И. Калинина, могут с успехом применяться в условиях давления до 500 атм $(500 \cdot 10^6 \text{ Па})$ и больше.

Литейные свойства синтетического чугуна несколько отличаются от свойств обычного чугуна. Так, по данным литературных источни-

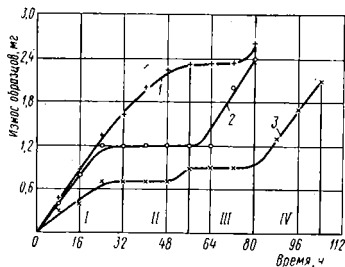


Рис. 1.82. Сравнение износостойкости обычного и синтетического чугуна и ее зависимость от условий трения (Pv):

1 — СЧ 18-36, выплавленный на череповском литейном чугуне ЛК2; 2 — СЧ 18-36, выплавленный на передельном чугуне М2; 3 — синтетический чугун (СЧ 18-36); I — $Pv = 40 \text{ кгс} \cdot \text{м}/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$, $v = 1 \text{ м/с}$; II — $Pv = 46 \text{ кгс} \cdot \text{м}/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$, $v = 2 \text{ м/с}$; III — $Pv = 68 \text{ кгс} \cdot \text{м}/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$, $v = 3 \text{ м/с}$; IV — $Pv = 81 \text{ кгс} \cdot \text{м}/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$, $v = 4 \text{ м/с}$

ков: $\lambda_{ж}$, W_p , $\epsilon_{рас}$, $\epsilon_{д.п.у}$ синтетического чугуна меньше, чем у обычного; $W_{п.}$, $\Sigma W_p + W_{п.}$, $\epsilon_{шз}$, $\epsilon_{лит}$, σ_d — больше, чем у обычного; $\epsilon_{шж}$, $\epsilon_{п.п}$ — не различаются.

Более низкая жидкотекучесть синтетического чугуна устраняется повышенным перегревом в плавильной печи при одной и той же температуре заливки. Это свидетельствует о том, что данное явление связано с жидким состоянием и, вероятно, с зародышами, образующимися при науглероживании. Вообще следует отметить, что различие в литейных свойствах, связанное с природой шихтовых материалов, возможно перекрыть изменением $\Delta t_{пер}$ и содержания С и Si или модифицированием, и поэтому ухудшение некоторых литейных свойств (например, $\lambda_{ж}$) при замене обычного чугуна синтетическим не требует существенного изменения технологии (например, повышения содержания Р), так как при этом ухудшились бы его ценные свойства.

Приведенные особенности свойств синтетического чугуна свидетельствуют о целесообразности его применения для улучшения качества отливок из конструкционных чугунов, в особенности в следующих случаях:

1) для отливок с повышенными механическими свойствами, особенно при повышенных и пониженных температурах, в условиях действия знакопеременных и динамических нагрузок;

2) для отливок с повышенной герметичностью, работающих при высоких давлениях в жидких и газообразных средах;

3) взамен легированных конструктивных чугунов, когда легирование преследует цель повышения механических свойств;

4) для отливок сложной конфигурации при значительном торможении усадки, склонных к образованию горячих трещин и значительной деформации в процессе изготовления и эксплуатации;

5) при наличии на предприятии большого количества отходов металлообработки или при расположении в непосредственной близости от источников таких отходов.

ПЛАВКА ЧУГУНА

1. МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ПЛАВКЕ

Основные металлические материалы

В качестве основных металлических шихтовых материалов применяются чушковые чугуны (табл. II.1—II.3), чугунный и стальной лом (табл. II.4), ферросплавы (табл. II.5—II.16) и отходы собственного производства. Чугуны поставляются в виде чушек с одним или двумя пережимами толщиной не более 30 мм, массой не более 20 кг (для специализированных предприятий не более 18 кг). Поверхность чушек должна быть чистой, без приставшего мусора, шлака и других включений; допускается налет извести и графита.

В литейном рафинированном продувочной магнием чугуне графитная спель не допускается, излом чушек плотный, без раковин, микроструктура характеризуется мелкодисперсным графитом. Содержание кислорода в чугуне резко снижено: с 0,0049—0,0170% до 0,0010—0,0030%. Точно так же и в передельном рафинированном чугуне не допускается графитная спель, излом чушек должен быть плотным, без раковин.

Легирующие, рафинирующие и модифицирующие добавки

Никель (ГОСТ 849—70) поставляется шести марок: Н-0, Н-1у, Н-1, Н-2, Н-3, Н-4. При плавке чугуна обычно применяют никель менее дорогих марок: Н-3 и Н-4, в которых содержание Ni и Co в сумме составляет соответственно 98,6 и 97,6% (в том числе Co около 0,7%), а содержание примесей следующее: до 0,6 и 1,0% Cu, до 0,1 и 0,15% C, до 0,03 и 0,04% S. Никель марок Н-3 и Н-4 поставляется в виде слитков или гранул.

В настоящее время при плавке чугуна в вагранках используется также ферроникель, получаемый из окисленных никелевых руд. Применение ферроникеля обеспечивает механические свойства чугуна на 15—20% выше, чем при обычном способе легирования никелем. Поэтому ферроникель представляет интерес для использования в различных плавильных агрегатах.

Медь (ГОСТ 859—66) поставляется десяти марок (М00бк, М0, М0б, М1, М1р, М2, М2р, М3, М3р, М4). При плавке чугуна обычно применяют медь наиболее дешевой марки М4 с содержанием Cu 99,0% и с примесями (не более): 0,005% Bi, 0,2% Sb, 0,1% Fe, 0,3% Pb, 0,02% S, 0,15% O и 0,2% As.

Алюминий (ГОСТ 295—73) поставляется в виде чушек массой до 16 кг с пережимом или без пережима. Химический состав Al для раскисления металла приведен в табл. II.17.

Теллур технический (ГОСТ 17614—72) выпускается в виде порошка темно-серого или черного цвета или в виде слитков массой 5—10 кг четырех марок: Т00, Т0, Т1, Т2 с 99,9; 99,8; 99,0 и 96,0% Те соответственно. Основные примеси допускаются в пределах: Se до 0,05—1,5%; Pb до 0,006—1,0%; Cu до 0,004—0,3%; S до 0,02—0,2%; Fe до 0,006—0,15%.

Классификация литейных чугунов

Марка чугуна	C	Si	Массовая доля элементов, %				
			Mn для групп			P для классов	
			I	II	III	A	Б
Чугун коксовый (ГОСТ 4832—72)							
ЛК1	3,5—4,0	3,2—3,6	≤0,50	0,51—0,90	0,91—1,50	≤0,08	0,081—0,12
ЛК2	3,6—4,1	2,8—3,2					
ЛК3	3,7—4,2	2,4—2,8					
ЛК4	3,8—4,3	2,0—2,4					
ЛК5	3,9—4,4	1,6—2,0					
ЛК6	4,0—4,5	1,2—1,6					
ЛК7	4,1—4,6	0,8—1,2					
Чугун, рафинированный магнием (ГОСТ 5.1751—72)							
ЛКР0	3,4—3,9	3,26—3,75	≤0,50	0,51—0,90	—	≤0,10	0,11—0,20
ЛКР1	3,5—4,0	2,76—3,25					
ЛКР2	3,6—4,1	2,26—2,75					
ЛКР3	3,7—4,2	1,76—2,25					
ЛКР4	3,9—4,4	1,26—1,75					
ЛКР5	4,0—4,5	0,75—1,25					
Чугун валковый (ГОСТ 4834—49)							
ВК1	—	0,51—1,00	0,20—0,60	—	—	≤0,40	—
ВК2	—	0,10—0,50					
ВД1	—	0,81—1,30	0,20—0,70	—	—	≤0,40	—
ВД2	—	0,30—0,80					

Марка чугуна	Массовая доля элементов, %							
	Р для классов			S для категорий				
	В	Г	Д	1	2	3	4	5
Чугун коксовый (ГОСТ 4832—72)								
ЛК1 ЛК2 ЛК3 ЛК4 ЛК5 ЛК6 ЛК7	0,13—0,30	0,31—0,70	0,71—1,20	≤0,02	≤0,03	≤0,04	≤0,05	≤0,06
Чугун, рафинированный магнием (ГОСТ 5.1751—72)								
ЛКР0 ЛКР1 ЛКР2 ЛКР3 ЛКР4 ЛКР5	—	—	—	≤0,01	—	—	—	—
Чугун валковый								
ВК1, ВК2 ВД1, ВД2	— —	— —	— —	≤0,03 ≤0,06	— —	— —	— —	— —

Примечания:

1. Чугун всех марок поставляется с ограничением содержания Сг до 0,04%, 0,05%, 0,10%, а валковый до 0,04%.
2. Чугун рафинированный марок от ЛКР0 до ЛКР5 поставляется с ограничением содержания Тi до 0,05—0,06%, Сг до 0,04%, V до 0,05%, Al до 0,005%, Pb до 0,005%.
3. Пример обозначения чугуна марки ЛК2 группы II класса Б категории 1: ЛК2-II-Б-1.

Классификация литейных природнолегированных чугунов

Марка чугуна	C	Si	Массовая доля обычных элементов, %									
			Mn для групп			P для классов		S для категорий				
			I	II	III	В	Г	1	2	3	4	5
Чугун хромоникелевый (ТУ 14-15-3—74)												
ЛК1-ХН	3,5—4,0	3,2—3,6	≤0,05	0,51— 0,90	0,91— 1,50	0,13— 0,30	0,31— 0,70	≤0,02	≤0,03	≤0,04	≤0,05	—
ЛК2-ХН	3,6—4,1	2,8—3,2										—
ЛК3-ХН	3,7—4,2	2,4—2,8										—
ЛК4-ХН	3,8—4,3	2,0—2,4										≤0,06
ЛК5-ХН	3,9—4,4	1,6—2,0										≤0,06
ЛК6-ХН	4,0—4,5	1,2—1,6										≤0,06
Чугун титановый (ТУ 14-15-4—74)												
БТЛ3	—	2,4—2,8	≤0,9	—	—	≤0,5	—	≤0,02	≤0,03	—	—	—
БТЛ4	—	2,0—2,4										
БТЛ5	—	1,6—2,0										
БТЛ6	—	1,2—1,6										
БТЛ7	—	0,8—1,2										

Марка чугуна	C	Si	Массовая доля обычных элементов, %									
			Mn для групп			P для классов		S для категорий				
			I	II	III	В	Г	1	2	3	4	5
Чугун титаномедистый (ТУ 14-15-4—74)												
БТМЛ3	—	2,4—2,8	≤0,9	—	—	≤0,5	—	≤0,02	≤0,03	—	—	—
БТМЛ4	—	2,0—2,4										
БТМЛ5	—	1,6—2,0										
БТМЛ6	—	1,2—1,6										
БТМЛ7	—	0,8—1,2										
Марка чугуна	Массовая доля легирующих элементов, %											
	Cr для типов				Ni для типов				Cu			Ti
	22-10	12-10	12-4	4-4	22-10	12-10	12-4	4-4	Степень легирования			
									1	2	3	
Хромоникелевые От ЛК1-ХН до ЛК6-ХН	2,21— 3,20	1,21— 2,20	1,21— 2,20	0,40— 1,20	≥1,0	≥1,0	≥0,4	≥0,4	—	—	—	—
Титановые От БТЛ3 до БТЛ7	≤0,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,3—1,2
Титаномедистые От БТМЛ3 до БТМЛ7	≤0,8	—	—	—	—	—	—	—	1,0—2,0	2,0—2,5	2,5—3,0	0,3—1,2

Классификация переловных чугунов, применяемых в чугунолитейном производстве

Марка чугуна	Массовая доля элементов, %												
	C	Si	Mn для групп			P для классов				S для категорий			
			I	II	III	A	Б	В	Г	1	2	3	4
Чугун мартеновский (ГОСТ 805—69)													
M1	—	0,91—1,30	≤0,5	0,5—1,0	1,0—1,5	≤0,15	≤0,20	≤0,30	—	≤0,02	≤0,03	≤0,04	≤0,06
M2		0,51—0,90											
M3		До 0,50											
Чугун высококачественный (ГОСТ 805—69)													
ПВК1	—	0,91—1,30	≤0,5	0,5—1,0	1,0—1,5	≤0,02	≤0,03	≤0,04	0,05	≤0,015	≤0,020	≤0,025	—
ПВК2		0,51—0,90											
ПВК3		До 0,50											
Чугун высококачественный рафинированный (ТУ 14-15-5—74)													
ПВКР1	4,0—4,5	0,91—1,30	≤0,5	0,5—1,0	1,0—1,5	—	—	—	0,05	≤0,010	—	—	—
ПВКР2		0,51—0,90											
ПВКР3		До 0,50											

Лом и отходы черных металлов (шихтовые), применяемые при производстве чугунного литья (ГОСТ 2787—83)

Наименование шихтового материала	Состояние поставки	Степень чистоты	Габарит и масса
Стальной лом и отходы для вагранок (A1)	Куски, приведенные в состояние, удобное для загрузки печей, а также брикеты из стальной стружки. Не допускаются проволока и проволочные изделия	Не допускается наличие цветных металлов. Засоренность безвредными примесями не должна превышать 2%	Размеры куска не более 300×200×150 мм, толщина — не менее 6 мм; масса — не менее 0,5 кг и не более 40 кг
Брикеты из стальной стружки (A5)	Брикеты из стальной стружки горячего (I класс) и холодного (II класс) брикетирования	Используется чистая стальная стружка. Брикеты из легированной стружки должны быть только одной группы или марки. Засоренность безвредными примесями не должна превышать 1%, а в брикетах холодного прессования — 3%	Брикеты горячего прессования массой не менее 2 кг при плотности не менее 5 кг/дм³; холодного прессования — массой не менее 1 кг при плотности не менее 4 кг/дм³. Количество осевшей стружки при транспортировке не должно превышать 3% и 4,5% от массы партии соответственно для брикетов горячего и холодного прессования. Масса брикета для вагранок не должна превышать 40 кг

Наименование шихтового материала	Состояние поставки	Степень чистоты	Габарит и масса
Чугунный лом и отходы для вагранок (A7)	Куски машинного литья, поддоны, изложницы, прокатные валки (I класс). Куски чугуна с повышенным и высоким содержанием Р (печное, посудное, художественное литье), куски КЧ, чугунные трубы, литейный скрап (II класс)	Не допускается наличие цветных металлов. Засоренность безвредными примесями не должна превышать 2%. Допускается примесь трудноудаляемой стали до 5%	Размеры куска не более 300×200×150 мм, масса — не менее 1,0 кг и не более 40 кг (для I класса). Размеры куска не более 300×200×150 мм, масса — не менее 0,5 кг и не более 40 кг (для II класса)
Брикеты из чугунной стружки для вагранок (A8)	Брикеты из чугунной стружки горячего (I класс) и холодного (II класс) брикетирования	Используется чистая чугунная стружка; не допускается стальная стружка и стружка цветных металлов. Засоренность безвредными примесями не должна превышать 1 и 3% соответственно для брикетов горячего и холодного прессования	Масса брикетов горячего прессования 2—40 кг, холодного прессования — 1—40 кг при плотности не менее 5 кг/дм ³ . Количество стружки, осыпавшейся при транспортировке и разгрузке у потребителя, не должно превышать 3 и 5% от массы партии соответственно для брикетов горячего и холодного прессования
Примечания: 1. Металлолом и стружка не должны быть проржавленными, горелыми или разъеденными кислотами. Налет ржавчины допускается. 2. ГОСТ 13221—67 предусматривает требования по обеспечению взрывобезопасности при использовании лома и отходов черных металлов.			

Таблица 11.5

Классификация доменных марганцовых ферросплавов

Марка	Массовая доля элементов, %				
	Mn	Si не более	P, не более		S не более
			группа А	группа Б	
Доменный ферромарганец (ГОСТ 5165—49)					
Mn5	≥75,1	2,0			
Mn6	70,0—75,0	2,0	0,35	0,45	0,03
Mn7	70,0—75,0	1,0			
Зеркальный чугун (ГОСТ 5164—49)					
ЗЧ1	20,1—25,0		0,22		
ЗЧ2	15,1—20,0	2,0	0,20		0,03
ЗЧ3	10,0—15,0		0,18		

Таблица 11.6

Классификация ферромарганца (ГОСТ 4755—70)

Тип	Марка	Массовая доля элементов, %				
		Mn не ме- нее	C	Si	P	S
			не более			
Малоуглеродистый	ФМн0,5	85	0,5	2,0	0,3	0,03
Среднеуглеродистый	ФМн1,0А	85	1,0	1,5	0,1	
	ФМн1,0			2,0	0,3	
	ФМн1,5		1,5	2,5		
Углеродистый	ФМн78А	78	7,0	2,0	0,05	
	ФМн78К			1,0	0,35	
	ФМн78			2,0		
	ФМн75К	75		1,0	0,45	
	ФМн75			2,0		
	ФМн75АС			2,0—4,0	0,05	

Примечание.

По требованию потребителя ферромарганец поставляют с массовой долей Р не более 0,20% для марок ФМн0,5, ФМн1,0, ФМн1,5; не более 0,25% для марок ФМн78К, ФМн78 и не более 0,35% для марок ФМн75К и ФМн75.

Классификация феррохрома (ГОСТ 4757—67)

Тип	Марка	Массовая доля элементов, %						N, не менее
		Cr, не ме- нее	C	Si	S	P		
						класс А	класс Б	
не более								
Безуглероди- стый	ФХ001	68,0	0,01	0,8	0,02	0,02	0,03	—
	ФХ002		0,02	1,0	0,03			
	ФХ003		0,03					
	ФХ004		0,04					
	ФХ005	65,0	0,05	1,5	0,03	0,03	0,06	
	ФХ006		0,06					
Малоуглероди- стый	ФХ010	65,0	0,10	1,5	0,03	0,03	0,06	
	ФХ015		0,15					
	ФХ025		0,25	2,0				
	ФХ050		0,50					
Среднеуглеро- дистый	ФХ100	65,0	1,0	2,0	0,04	0,04	0,06	
	ФХ200		2,0					
Углеродистый	ФХ650	65,0	6,5	1,5	0,06	0,04	0,06	
	ФХ800		8,0	2,0				
Азотированный	ФХ100Н	70,0	0,05	1,0	0,03	0,02	0,03	0,9
	ФХ400Н	65,0	0,06		0,04	0,03	0,04	4,0
	ФХ600Н	60,0	0,03					6,0

Классификация силикокальция (ГОСТ 4762—71)

Марка	Массовая доля элементов, %					
	Si	Fe	Al	С, не более		Р, не более
				класс А	класс Б	
СК10 СК15	10—15 15—20	≥ 25 ≥ 20	$\leq 1,0$	0,2	0,5	0,02
СК20	20—25	—	—	—	—	—
СК25 СК30	25—30 >30	≤ 10 ≤ 6	$\leq 2,0$	0,5	1,5	0,04
Примечания: 1. По соглашению сторон СК25 поставляется с массовой долей Fe не более 12%. 2. По требованию потребителя СК25 и СК30 поставляются с массовой долей Al не более 1,5% и S — не более 0,07%.						

Таблица 11.9

Классификация электропечного ферросилиция (ГОСТ 1415—70)

Марка	Массовая доля элементов, %								
	Si	C	S	P	Al	Mn	Cr	Ti	Ca
		не более							
ФС90	≥ 89	—	0,02	0,03	3,0	0,2	0,2	—	—
ФС75ч	74—80	0,1	0,02	0,03	1,3	0,3	0,2	0,2	0,1
ФС75	74—80	—	0,03	0,05	2,5	0,4	0,4	—	—
ФС65	63—68	—	0,03	0,05	2,0	0,4	0,4	—	—
ФС45	41—47	—	0,03	0,05	2,0	0,6	0,5	—	—
ФС25	22—29	0,6	0,03	0,06	1,0	0,9	—	—	—
ФС18	17—22	1,3	0,04	0,10	1,0	1,0	—	—	—
Примечание. По требованию потребителя ферросилиций поставляют: марки ФС90 с массовой долей Si не менее 92%, Ca не более 0,5% и Al не более 2,5%; марок ФС75ч, ФС75 и ФС65 с массовой долей Al не более 1,0%; марок ФС45, ФС25 и ФС18 с массовой долей Cr не более 0,3%.									

Таблица 11.10

Классификация ферротитана (ГОСТ 4781—67)

Марка	Массовая доля элементов, %									Отноше- ние	
	Ti	C	P	S	Cu	Mo	Zr	V	Sn	A1/Ti	Si/Ti
		не более									
Ти0	28,0—35,0	0,10	0,04	0,03	0,05	0,05	0,1	0,2	0,01	0,25	0,12
Ти1	28,0—35,0	0,15	0,04	0,04	2,0	0,4	0,2	0,4	0,04	0,25	0,16
Ти2	25,0—35,0	0,20	0,07	0,07	3,5	1,0	0,7	1,0	0,08	0,40	0,28
Тив	≥60,0	0,20	0,05	0,05	0,3	0,6	0,6	0,6	0,10	0,07	0,012
Тив1	≥60,0	0,40	0,05	0,05	0,5	2,5	2,0	3,0	0,15	0,10	0,02

Таблица 11.11

Классификация феррованадия (ГОСТ 4760—49)

Марка	Массовая доля элементов, %						
	V не менее	C	Si	P	S	Al	As
		не более					
Вд1	35,0	} 0,75	2,0	0,10	} 0,10	1,0	0,05
Вд2			3,0	0,20		1,5	
Вд3			3,5	0,25		2,0	

Таблица 11.12

Классификация силикомарганца (ГОСТ 4756—70)

Марка	Массовая доля элементов, %					S
	Si	Mn не менее	C	P		
				группа А	группа Б	
СМн26	≥26,0	60,0	0,2	0,05		0,03
СМн20	20,0—25,9	65,0	1,0	0,1	0,25	
СМн17	17,0—19,9		1,7	0,1	0,35	
СМн14	14,0—16,9		2,5	0,2		
СМн10	10,0—13,9		3,5	0,35		

Примечание.
По требованию потребителя силикомарганец марок СМн17, СМн14 и СМн10 поставляется с массовой долей Р не более 0,25%.

Таблица 11.13

Классификация ферровольфрама (ГОСТ 17293—71)

Марка	Массовая доля элементов, %											
	W, не менее	Mo	Mn	Si	C	P	S	Cu	As	Sn	Sb	Pb
		не более										
B1	72	1,5	0,4	0,5	0,3	0,04	0,08	0,15	0,04	0,08	0,03	0,03
B2	71	2,0	0,5	0,8	0,5	0,06	0,10	0,20	0,06	0,10	—	—
B3	65	6,0	0,6	1,2	0,7	0,10	0,15	0,30	0,08	0,20	—	—

Таблица 11.14

Классификация ферробора (ГОСТ 14848—69)

Марка	Массовая доля элементов, %						
	B не менее	Si	Al	C	S	P	Cu
				не более			
ФБ0	20	≥ 2	≥ 3	0,05	0,01	0,015	0,05
ФБ1	17	≥ 3	≥ 5	0,20	0,02	0,03	0,10
ФБ2	8	7—15	7—15	—	—	—	—
ФБ3	6	≥ 12	≥ 12	—	—	—	—

Примечание.
По требованию потребителя ферробор марок ФБ0 и ФБ1 поставляется с массовой долей Al не более 1,5% и C не более 0,03%.

Таблица 11.15

Классификация ферромolibдена (ГОСТ 4759—69)

Марка	Массовая доля элементов, %									
	Mo не менее	W	Si	C	P	S	Cu	As	Sb	Sn
		не более								
ФМ1	58,0	0,6	0,8	0,05	0,05	0,10	0,5	0,03	0,02	0,015
ФМ2	55,0	1,0	1,5	0,10	0,10	0,15	1,5	0,05	0,05	0,050
ФМ3	55,0	1,0	2,0	0,20	0,20	0,20	2,5	0,10	0,10	0,100

Классификация ферросиликохрома (ГОСТ 11861—66)

Марка	Массовая доля элементов, %				
	Si	Cr	C	P	S
	не менее		не более		
ФСХ18	18,0	45,0	3,5	0,06	0,04
ФСХ30	30,0	40,0	1,0	0,05	0,04
ФСХ40	40,0	30,0	0,1	0,04	0,04

Примечание.
По требованию потребителя ферросиликохром марки ФСХ40 поставляется с массовой долей С не более 0,03 или 0,05% и Р не более 0,03%.

Таблица 11.17

Классификация алюминия для раскисления (ГОСТ 295—73)

Марка	Al + Mg не менее	В том числе Mg не более	Массовая доля примесей, %				
			Cu	Zn	Si	Pb	Sn
			не более				
AB97	97,0	0,10	0,1	0,1	1,0	0,1	0,1
AB92	92,0	3,0	3,0	0,8	1,0	0,2	0,1
AB91	91,0	3,0	3,0	0,8	3,0	0,3	0,2
AB88	88,0	3,0	4,0	3,0	4,0	0,5	0,5
AB86	86,0	3,0	4,0	3,5	5,0	0,5	0,5

Примечание.
Остальное — Fe + Mn + Ni.

Магний первичный (ГОСТ 804—72) поставляется трех марок в чушках массой 8 кг: Мг96 (более 99,96% Mg), Мг95 (более 99,95% Mg) и Мг90 (более 99,90% Mg). В магнии марки Мг90 содержится до 0,04% Fe; 0,01% Si; 0,001% Ni; 0,005% Cu; 0,02% Al; 0,04% Mn и 0,005% Cl. Чушки должны храниться в сухих закрытых вентилируемых помещениях.

Гранулированный магний поставляется по техническим условиям ТУ 6-01-904—74. Он применяется для обессеривания и модифицирования чугуна, не токсичен, не взрывоопасен, обладает хорошей сыпучестью, имеет температуру самовоспламенения 850—1000° С (с солевой оболочкой). Величина гранул 0,5—1,6 мм. Содержание активного Mg в гранулах марки МГП-1 — не менее 92%, марки МГП-2 — не менее 90%, а содержание ионов хлора — соответственно не более 2,5 и 4,0%.

Предусмотрена поставка гранулированного Mg с содержанием хлорнона менее 0,5% и соответственно с повышенным содержанием активного Mg. Гранулированный Mg упаковывается в герметичную тару; в помещении для его хранения нельзя пользоваться открытым огнем или предметами, нагретыми до $t \geq 500^\circ \text{C}$; не допускается попадание влаги.

Магниевые и цериевые лигатуры разнообразного состава [19] применяют для модифицирования при получении высокопрочного чугуна с шаровидным графитом. В Si—Mg-лигатурах содержится 40—60% Si и 4—35% Mg, а в комплексных, кроме

того, Са, Ва и редкоземельные металлы*. Применяют (например, на ВАЗе) также магниевые лигатуры на основе Ni и Cu. Из цериевых сплавов чаще используют ФЦМ-5 (см. гл. III).

Сурьму (ГОСТ 1089—73) рекомендуют применять марок Cu0 , Cu1Э , Cu2 с 99,6, 99,4, 98,8% Sb соответственно. Основными примесями являются: Pb—0,2—0,6%; As—0,02—0,2%; Fe—0,02—0,1%; S—0,1%; Sn—0,02—0,1%.

Свинец сурьмянистый (ГОСТ 1292—74) поставляется в виде чушек массой 25—40 кг. Для общего назначения производятся пять марок сурьмянистого свинца: ССу1 , ССу2 , ССу3 , ССу8 , ССу10 с содержанием Sb от 2,5 до 12%. Допустимое содержание примесей в марке ССу3 (не более): 0,2% C; 0,03% Zn; 0,05% Bi; 0,01% Fe и 0,03% As. Сурьмянистый свинец остальных марок является более чистым по примесям.

Олово (ГОСТ 860—60) поставляется в виде чушек и прутков. Для присадки в чугун рекомендуется олово марок ОЗ и О4 с массовой долей Sn не менее 98,40 и 96,35%. В этих марках допускается (не более): 0,05% As; 0,05% Fe; 0,1% Cu; 0,3% Sb; 1,0—3,0% Pb; 0,06—0,10% Bi; 0,04—0,05% S.

Висмут (ГОСТ 10928—75) марок Вил и Ви2 с содержанием не менее 97,7 и 96,5% Bi поставляется в виде слитков массой до 16 кг или гранул с поперечным сечением 1—5 мм и длиной до 10 мм. Основная примесь — Pb (в Вил до 2,0%; в Ви2 — до 3%).

Титан губчатый (ГОСТ 17746—72) марки ТГ-Тв (твердый) поставляется в герметичной таре в виде брикетов диаметром 115—160 мм и высотой 20—180 мм. Массовая доля примесей (не более): 2,0% Fe; 0,15% C; 0,3% Cl; 0,3% N, остальное — Ti.

Топливо

Кокс литейный каменноугольный (ГОСТ 3340—71) в зависимости от содержания серы делят на марки, условно обозначаемые КЛ-1, КЛ-2, и КЛ-3. По размеру кусков они делятся на классы: более 80, более 60, более 40, 60—80 и 40—60 мм. По физическим свойствам кокс должен соответствовать нормам, указанным в табл. II.18.

Показатели механической прочности M_{40} и M_{10} определяются остатком на ситах с ячейкой 40 и 10 мм при просеве пробы кокса после испытания ее в специальном барабане диаметром 1000 мм и длиной 1000 мм, вращающемся в течение 4 мин с частотой 25 об/мин. По химическим показателям кокс всех классов крупности соответствует нормам, указанным в табл. II.19.

Термоантрацит литейный (ГОСТ 7749—65) поставляется двух классов по размерам кусков: 40—80 и 80—120 мм. Термоантрацит по показателям качества должен удовлетворять следующим требованиям: массовая доля влаги — не более 2%; зольность для первого сорта — не более 6%, для второго сорта — не более 10%; содержание серы для первого сорта — не более 1,0%, для второго сорта — не более 1,75%; выход летучих веществ — не более 40 $\text{см}^3/\text{г}$; мелочь — не более 5%.

Природный газ применяется в газовых и коксогозовых вагранках, а также в сушилах и других печах. Характеристика природных газов некоторых месторождений приведена в табл. II.20.

Мазут поставляется по ГОСТ 10585—75. В литейном производстве обычно используется мазут марок 40 и 100. Мазуты подразделяются на малосернистый (с массовой долей серы до 0,5%), сернистый (до 2%) и высокосернистый (до 3,5%). Количество золы — не более 0,1% для мазута марки 40 и 0,14% для мазута марки 100; содержание механических примесей — не более 0,80 и 1,5% соответственно. Теплота сгорания в пересчете на сухое топливо — 9500—9700 ккал/кг (39 800—40 600 кДж/кг).

* Комплексные лигатуры выпускает Челябинский электрометаллургический комбинат [19]; составы лигатур приведены в гл. III. На комбинате разрабатывается ряд составов лигатур для одновременного модифицирования и микролегирования чугуна, а также экзотермических ферросплавов и лигатур с низкой температурой плавления для легирования чугуна, в том числе Mo, V, Cr.

Физические свойства литейного кокса

Свойства	Нормы свойств для классов		
	более 80, 60—80, более 60 мм	40—60 мм	более 40 мм
Показатель механической прочности M_{40} , %:			
I группа			
средний	80	—	80
предельный	75	—	75
II группа			
средний	73	76	73
предельный	68	68	68
Показатель механической прочности M_{10} , %, не более	12	12	12
Содержание кусков размером менее нижнего предела, %, не более	15	15	6
Пористость, %, не более	42	42	42
Примечания: 1. Кокс с государственным Знаком качества должен быть I группы с M_{10} до 9% и с содержанием кусков размером менее нижнего предела $\leq 5\%$. 2. Испытания кокса на механическую прочность производятся по ГОСТ 8929—75.			

Таблица 11.19

Химический состав литейного кокса

Показатели	Нормы для марок		
	КЛ-1	КЛ-2	КЛ-3
Содержание серы, %:			
среднее	0,45	0,80	1,2
предельное	0,60	1,0	1,40
Зольность, %:			
средняя	10,5	9,5	10,5
предельная	12,0	11,0	12,0
Влага, %, не более	5,0	5,0	5,0
Выход летучих веществ, %, не более	1,2	1,2	1,2
Примечание. Испытания кокса на содержание серы производятся по ГОСТ 8606—72 для ГОСТ 4339—74; на зольность — по ГОСТ 5889—67; на влажность — по ГОСТ 5807—70; на выход летучих веществ — по ГОСТ 3929—75.			

Средний состав некоторых природных газов *

Месторождение	Объемная доля составляющих, %								Теплотворная способность Q_H , ккал/м ³ (4,2 кДж/м ³)
	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	CO ₂	N ₂	H ₂ S	
Ставропольское (хадумский горизонт)	98,7	0,35	0,12	0,06	—	0,1	0,67	—	8530
Ставропольское (горизонт Зеленая свита)	85,0	4,4	2,4	1,8	1,3	0,1	5,0	—	9400
Волгоградское (верейский горизонт)	98,5	0,5	0,1	—	—	—	0,9	—	8530
Елшанское (Саратовская обл., верейский горизонт)	94,0	1,8	0,4	0,1	0,1	0,1	3,5	—	8440
Степановское (Саратовская обл., девонский горизонт)	95,1	2,3	0,7	0,4	0,8	0,2	0,5	—	9030
Бугурусланское	81,7	5,0	2,0	1,2	0,6	0,4	8,5	0,6	8770
Дашавское (УССР)	98,3	0,3	0,12	0,15	—	0,1	1,03	—	8520
Шебелинское (УССР)	93,5	4,0	1,0	0,5	0,5	0,4	0,4	—	9130
Березанское (Краснодарский край)	89,6	4,1	0,7	0,1	1,3	3,8	0,4	—	8930
Ленинградское (Краснодарский край)	90,9	5,2	1,3	0,2	1,5	—	0,9	—	9440

Месторождение	Объемная доля составляющих, %								Теплотворная способность Q_H , ккал/нм ³ (4,2 кДж/нм ³)
	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	CO ₂	N ₂	H ₂ S	
Краснооктябрьское, Осиновское, Кирюшкинское (Куйбышевская и Оренбургская обл.)	78,3	6,4	1,7	—	—	0,6	12,8	—	8060
Вой-Войжское, Нибельское, Верхне- и Нижне-Омринское (Коми АССР)	85,0	3,3	1,2	0,5	—	0,1	9,9	—	8180
Джебольское (Коми АССР)	91,5	3,3	1,4	—	1,6	0,2	2,0	—	9200
Березовское (Тюменская обл.)	94,6	0,5	0,3	0,2	—	1,1	3,3	—	8310
Деминское (Тюменская обл.)	92,6	0,4	0,3	0,2	0,1	0,5	5,9	—	8150
Усть-Вилуйское (Якутская АССР)	90,0	4,5	0,9	0,3	1,1	0,2	3,0	—	9050
Собо-Хаинское (Якутская АССР)	93,8	2,9	1,0	0,6	—	—	1,7	—	8840
Карадагское (Азербайджанская ССР)	96,4	1,5	0,1	0,1	0,1	1,8	—	—	8565
Мубарсекское, Джаркакское (Узбекская ССР)	90,4	2,7	0,9	0,2	0,6	—	5,2	—	8610
Майли Су IV (Киргизская ССР)	94,8	0,8	0,2	0,1	0,6	—	3,5	—	8520
Кызыл-Тумшукское (Таджикская ССР)	85,5	—	0,9	0,2	0,4	—	10,0	—	7960
Кызыл-Кумское (Туркменская ССР)	93,5	2,6	1,4	2,5	—	—	—	—	9410

* См. Равич М. Б. Топливо и эффективность его использования. М., «Наука», 1971. 360 с.

Флюсы

В качестве флюсов используют известковый камень, известь, а также плавиковый шпат.

Известковый камень (по ГОСТ 10726—74) должен быть от светло-серого до темно-серого цвета и удовлетворять следующим требованиям: содержание SiO_2 — не более 0,8%; CaCO_3 — не менее 97%; MgCO_3 — не более 1,7%; Fe_2O_3 — не более 0,2%; Al_2O_3 — не более 0,5%; размер кусков 70—150 мм (куски размером менее 70 мм составляют до 5%, а размером более 150 мм — до 5%). Нормы показателей установлены на сухой известняк. С согласия потребителя допускается поставка известняка с содержанием CaCO_3 не менее 91% в виде кусков размером 40—350 мм.

Шпат плавиковый (по ГОСТ 7618—70) обычно применяют с концентрацией CaF_2 65—85% марок ФК, ФГ и ФО (ФК — флюорнт кусковой сортированный; ФГ — концентрат гравитационный; ФО — окатыши обожженные). Для марок ФК-85, ФГ-85, ФО-85 массовая доля CaF_2 должна быть не менее 85%, а SiO_2 — не более 10%. Для марок ФК-75, ФГ-75, ФГМ-75 массовая доля CaF_2 должна быть не менее 75%, а SiO_2 — не более 20%; для ФК-65 и ФГ-65 — соответственно не менее 65% CaF_2 и не более 30% SiO_2 .

Огнеупорные материалы

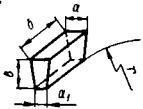
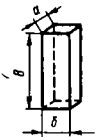
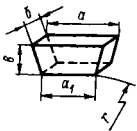
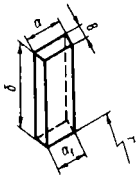
В зависимости от химико-минерального состава огнеупорные материалы по ГОСТ 4385—68 классифицируются следующим образом:

- а) кремнеземистые (диасовые) с содержанием SiO_2 более 80%;
- б) алюмосиликатные (полукислые, шамотные, мулитокремнеземистые, мулитовые, мулитокорундовые и корундовые) с содержанием Al_2O_3 от 28 до 90% и более;
- в) магнезиальные (магнезитовые) с содержанием MgO свыше 80%;
- г) магнезиально-известковые (магнезитодоломитовые, доломитовые, известковые) с содержанием MgO от 35 до 65% и CaO от 10 до 70% и более;
- д) магнезиально-шпинельные (магнезито-хромитовые, хромомagneзитовые, хромитовые, периклазо-шпинельные, шпинельные) с содержанием MgO от 25 до 60% и более и SiO_2 — от 5 до 70%;
- е) магнезиально-силикатные (периклазофорстеритовые, форстеритовые и форстеритохромитовые) с содержанием MgO от 45 до 80% и SiO_2 — от 10 до 35%;
- ж) углеродистые (графитированные, неграфитированные, углеродсодержащие) с содержанием C от 5 до 98%;
- з) карбидкремневые с содержанием SiC от 20 до 90% и выше;
- и) цирконистые с содержанием ZrO_2 от 35 до 90% и выше;
- к) окисные (из окислов BeO , MgO , CaO , Al_2O_3 , ZrO_2 , ThO_2 , UO_2 и др.);
- л) неокислородные — нитриды, бориды, карбиды (за исключением SiC), силициды и другие неокислородные соединения.

В зависимости от огнеупорности материалы подразделяются на огнеупорные (стойкие при температуре от 1580 до 1770°С), высокоогнеупорные (от 1770 до 2000°С), высшей огнеупорности (свыше 2000°С). В зависимости от пористости они делятся на особо плотные (пористость открытая* до 3%), высокоплотные (пористость открытая 3—10%), плотные (пористость 10—16%), уплотненные (пористость 16—20%), обычные I подгруппы (пористость 20—24%), обычные II подгруппы (пористость 24—30%), легковесные (пористость 45—85%), ультра-легковесные (пористость $\geq 85\%$). Кроме того, ГОСТ 4385—68 подразделяет огнеупоры по форме на прямые и клиновые. Кирпич малого формата имеет размеры: прямой $230 \times (113; 115) \times (65; 75)$ мм; клиновой $230 \times (113; 115) \times (65 \times 55; 65 \times 45; 75 \times 65; 75 \times 55)$ мм. Кирпич большого формата имеет размеры: прямой $250 \times (123; 125) \times (65; 75)$ мм; клиновой $250 \times (123; 125) \times (65 \times 55; 65 \times 45; 75 \times 65; 75 \times 55)$ мм.

* Открытая (кажущаяся) пористость показывает, какую часть (в %) объема огнеупорного изделия занимают открытые поры, т. е. такие, которые могут заполняться водой.

Размеры, предельные отклонения, объем и масса огнеупорных
шамотных изделий для футеровки вагранок (ГОСТ 3272—71)

Наименование изделий	Номера изделий	Размеры, мм				Объем, см ³	Масса, кг	Радиус окладки, мм
		<i>a</i>	<i>a</i> ₁	<i>b</i>	<i>a</i>			
Клин ребровый 	1	65±2	45±2	230±4	113±3	1430	2,9	260
	2	65±2	55±2	230±4	113±3	1560	3,1	633
Клин прямой 	3	65±2	—	113±3	230±4	1690	3,4	—
Клин трапеце- идальный 	4	230±4	195±4	75±2	125±3	1990	4,0	700
	5	210±4	170±4	75±2	125±3	1780	3,6	534
	6	230±4	205±4	80±2	150±3	2610	5,2	1294
	7	265±4	227±4	80±2	150±3	2950	5,9	900
Клин ребровый 	8	140±3	120±3	230±4	65±2	1940	3,9	393

Физико-механические и служебные свойства легковесных огнеупорных изделий (ГОСТ 5040—68)

Показатели	Шамотные и полукислые								Каолиновые		Высокоглиноземистые			Динасовые	
	ШЛА-1,3	ШЛБ-1,3	ШЛБ-1,0	ШЛБ-0,9	ШЛБ-0,8	ШЛБ-0,6	ШЛБ-0,4	ШЛБ-0,4 высшей категории качества	КЛ-1,3	КЛ-0,9	ВГЛ-1,4	ВГЛ-1,3	ВГЛ-1,0	ДЛ-1,4	ДЛ-1,2
Огнеупорность, °С, не менее	1730	1670	1670	1670	1670	1670	1670	1670	1730	1750	1830	1750	1750	1680	1670
Кажущаяся плотность, г/см ³ , не более	1,3	1,3	1,0	0,9	0,8	0,6	0,4	0,4	1,3	0,9	1,4	1,3	1,0	1,4	1,2
Температура обжига, создающего дополнительную усадку не более 1,0%, °С	1400	1350	1350	1300	1250	1200	1150	1150	1400	1400	1600	1550	1400	—	—
σ_c , кгс/см ² (10 ⁵ Па), не менее	45	35	30	25	25	20	10	12	35	30	35	30	25	55	45
α при 600° С на горячей стороне, ккал/(м·ч·°С) [1,163 Вт/(м·К)], не более	0,60	0,60	0,50	0,40	0,40	0,25	0,20	0,20	0,50	0,40	0,60	0,50	0,50	0,60	0,60
Температура эксплуатации, °С, не выше	1400	1300	1300	1270	1250	1200	1150	1150	1400	1400	1600	1550	1400	1550	1550

Примечание.

В соответствии с ГОСТ 5402—62 дополнительная усадка — это необходимые изменения размеров в результате нагревания при высоких температурах.

Фасонные огнеупоры бывают: простые, сложные, особо сложные и специальные промышленного и лабораторного назначения: тигли, трубки, лодочки и т. п.

Требования к огнеупорам по каждому типу изделий регламентированы ГОСТами или ТУ. Ниже приведены требования к огнеупорам, наиболее часто употребляемым в чугунолитейном производстве.

Огнеупорные шамотные и полукислые изделия для футеровки вагранок (ГОСТ 3272—71) в зависимости от состава и огнеупорности делятся на марки: ШАВ — шамотные изделия с огнеупорностью не ниже 1730° С, предназначенные для футеровки горна, плавильного пояса и фурменной зоны; ШБВ — шамотные изделия с огнеупорностью не ниже 1670° С и ПБВ — полукислые изделия с огнеупорностью не ниже 1670° С, предназначенные для футеровки остальных зон вагранок. По физико-химическим свойствам огнеупоры для футеровки вагранок должны иметь такие же показатели, как и шамотные изделия общего назначения. Размеры шамотных изделий для футеровки вагранок приведены в табл. II.21. Для теплоизоляции зон печей, которые не подвергаются действию металла и шлака, могут использоваться огнеупорные легковесные изделия по ГОСТ 5040—68. Физико-механические показатели и служебные свойства их должны соответствовать табл. II.22.

Набивные футеровки для тиглей индукционных печей применяют кислые и нейтральные, реже — основные. Согласно исследованиям ЦНИИТмаша [6], стойкость различных набивных масс в индукционной печи ИЧТ-1 характеризуется следующими данными. Футеровка из овручского и первоуральского кварцита с 40% зерен размером 1—2 мм и 60% размером до 1 мм, прокаленного при 1200—1500° С, с добавкой 1,3—1,5% борной кислоты выдержала соответственно 40 и 45 теплосмен. На Горьковском автозаводе при непрерывной работе печи для плавки чугуна стойкость футеровки на первоуральском кварците достигала 300 плавков; однако в этом случае плавку вели без применения флюсов.

Наилучшие результаты были получены на заводе «Водоприбор» при использовании нейтральной дистенсилманитовой набивной футеровки (состав ее приведен ниже, в п. 6, с. 210).

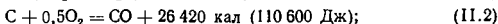
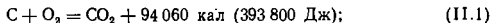
В качестве основной футеровки были испытаны набивные массы на основе магнезита и хромомagneзита. Состав магнезитовой футеровки: магнезит металлургический с величиной зерна 4—2 мм — 10%; 2—1 мм — 40%; до 1 мм — 50%; плавиковый шпат — 1%; глина огнеупорная — 0,7%; вода — 5%. Состав хромомagneзитовой футеровки: магнезит металлургический с величиной зерна 4—2 мм — 10%; 2—1 мм — 17,5%; до 1 мм — 15%; магнезитохромистый порошок (дробленый кирпич) с величиной зерна 4—2 мм — 7,5%; 2—1 мм — 17,5%; до 1 мм — 23,25%; магнезит каустический — 7,5%; шпат плавиковый — 1%; глина огнеупорная — 0,75%; вода — 5%.

Магнезитовая футеровка выдерживает 23, а хромомagneзитовая — 22 теплосмены [6], причем на заводе «Серп и молот» при непрерывной работе стойкость хромомagneзитовой футеровки составляет 80—100 плавков. Такая футеровка устойчива к высокоосновным шлакам, в том числе и к шлакам с большим количеством плавикового шпата и железной руды.

2. ПЛАВКА В КОКСОВЫХ ВАГРАНКАХ

Тепловые и металлургические процессы плавки

Тепловые процессы при плавке в вагранке определяются горением топлива, теплообменом между топливом, продуктами его сгорания и шихтовыми материалами, а также химическим взаимодействием между металлическими компонентами, шлаком и газовой фазой. В качестве топлива в коксовых вагранках, кроме кокса, иногда используются различные виды коксобрикетов, термоантрацит и литейный антрацит. Основной горючей составляющей в них является углерод, горение которого может протекать по следующим реакциям:



$$\text{CO} + 0,5\text{O}_2 = \text{CO}_2 + 67\,640 \text{ кал (283\,200 Дж);} \quad (11.3)$$

$$\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO} - 41\,220 \text{ кал (172\,600 Дж).} \quad (11.4)$$

Содержание CO и CO_2 в отходящих газах колеблется в широких пределах в зависимости от качества и расхода кокса, температуры, количества дутья и ряда других причин (табл. 11.23).

Основным продуктом реакций в кислородной зоне является CO_2 . В восстановительной зоне преимущественно идет реакция (11.4). Высота кислородной зоны при холодном дутье равна 6—8 диаметрам кусков кокса, а при подогреве воздуха до 500°C — 4—6 диаметрам. Изменение расхода дутья не оказывает заметного влияния на высоту зоны. Температурный режим иллюстрируется рис. 11.1.

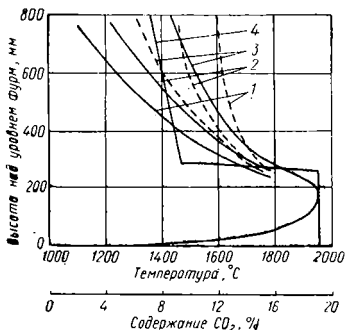


Рис. 11.1. Изменение температуры (—) и содержания CO_2 (---) в газах по высоте вагранки (температура дутья 450°C):

1 — расход кокса 10%; 2 — расход кокса 14%; 3 — слой горящего кокса без металлозавалки; 4 — температура поверхности горящего кокса

В связи с интенсивным отбором тепла от газов на плавление и перегрев чугуна реакция восстановления CO_2 идет неполностью и практически прекращается при температуре газов около 1000°C в так называемой третьей, подготовительной зоне.

В соответствии с теплотехническими процессами вся шахта вагранки может быть разделена на зоны: нагрева шихты до температуры плавления; плавления; перегрева жидкого металла; охлаждения металла (горн). Как показали исследования [15], температура металла находится в прямой зависимости от высоты расположения h зоны плавления и при подогреве дутья, например, до 450°C рассчитывается по уравнению

$$t_{\text{Me}} = 1380 + 0,215(h - 200), \quad (11.5)$$

которое справедливо для $h = 200 \div 600$ мм, причем h зависит от условий теплообмена в зоне нагрева и интенсивности снижения температуры газов в нижней части вагранки главным образом за счет реакции восстановления CO_2 .

Из факторов, влияющих на температуру металла (t_{Me}) при плавке в вагранке, основными являются: количество и температура подогрева дутья, степень обо-

Таблица 11.23

Состав отходящих газов коксовой вагранки

Расход кокса, %	Состав отходящих газов, %					
	при холодном дутье			при горячем дутье		
	CO	CO ₂	$\frac{\text{CO}_2 \cdot 100}{\text{CO} + \text{CO}_2}$	CO	CO ₂	$\frac{\text{CO}_2 \cdot 100}{\text{CO} + \text{CO}_2}$
8	—	—	—	8,0—12,0	12,5—15,0	50—65
10	8,0—12,0	12,5—15,0	50—65	10,0—16,0	10,0—14,0	39—60
12	10,0—14,0	11,5—14,0	46—60	14,0—20,0	7,5—11,0	27—44
14	12,0—18,0	9,0—12,5	33—50	16,0—24,0	5,5—10,0	18—39

гашения его кислородом, расход и качество кокса, количество стального скрапа в шихте, угар элементов и др. Например, подогрев дутья на каждые 100° С или обогащение его кислородом на 1% повышает температуру в кислородной зоне на 70—75° С, а t_{Me} на 15—25° С. Увеличение расхода кокса с 8—10% до 12—14% повышает t_{Me} на 60—100°. Дальнейшее увеличение расхода кокса оказывает заметное влияние на t_{Me} только тогда, когда из-за недостаточного объема шахты вагранки, крупногабаритной шихты или чрезмерного форсирования дутья нагрев шихты до температуры плавления происходит в условиях незавершенного теплообмена. При увеличении расхода дутья уровень начала расплавления поднимается, а уровень его окончания — снижается; максимальный нагрев чугуна обеспечивается в кислородной зоне, поэтому полное расплавление шихты должно заканчиваться на возможно более высоком уровне, во всяком случае выше границы между редуccionной и кислородной зонами. Такое расположение зоны плавления уменьшает угар элементов, получающий наибольшее развитие в кислородной зоне. Однако при этом нужно учитывать, что угар 1% Si повышает t_{Me} на 220°, а угар 1% Mn — на 65°.

Оптимальный удельный расход воздуха, обеспечивающий максимальную высоту среднего уровня зоны плавления и, соответственно, максимальную температуру металла, зависит от приведенной толщины кусков шихты ($R_{\text{пр}} =$

$$= 4 \frac{\text{Объем куска}}{\text{Площадь поверхности куска}}):$$

$R_{\text{пр}}, \text{ мм}$	100	150	200	250	300
Удельный расход воздуха в зоне плавления, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$	140—150	130—140	120—130	100—110	90—100

Для того чтобы уменьшить высоту зоны плавления и сохранить преимущества от высокого удельного расхода дутья, полезно применять вагранки с доменным профилем шахты. При таком профиле зона плавления находится в наиболее широкой части шахты — в распаре, а зона горения — в наиболее узкой части — в горновой, и поэтому высота зоны плавления при иных равных условиях будет минимальной.

Металлургические процессы заключаются в диссоциации известняка, образовании шлака, угаре элементов и других окислительно-восстановительных реакциях между газовой фазой, шихтой и шлаком.

Содержание влаги в шихте невелико (1,5—2,5% в известняке, 3—6% в коксе), и испарение ее происходит в самом верхнем слое шахты вагранки. В этой же зоне происходит выделение из кокса летучих веществ, составляющих обычно не более 1% от массы кокса. Интенсивное разложение известняка происходит при $t = 900 \div 1000^\circ \text{C}$, когда упругость его диссоциации, увеличивающаяся с подъемом температуры, превышает парциальное давление CO_2 . В этих условиях образующаяся при разложении известняка CO_2 легко удаляется из его внутренних пор, увеличивая реакционную поверхность и ускоряя тем самым процесс диссоциации. Известняк подается в вагранки для образования жидкотекучего шлака из посторонних продуктов, поступающих вместе с шихтой, из оплавленной футеровки, золы кокса, продуктов окисления шихты. Состав шлака определяет его основные свойства: температуру плавления, вязкость и основность. Наиболее тугоплавкими являются окислы SiO_2 ($t_{\text{пл}} = 1625^\circ \text{C}$), CaO ($t_{\text{пл}} = 2370^\circ \text{C}$), Al_2O_3 ($t_{\text{пл}} = 2060^\circ \text{C}$). Образование двойных и тройных соединений этих окислов, особенно эвтектического состава, понижает $t_{\text{пл}}$ шлака (например, эвтектика, состоящая из 62% SiO_2 , 14,75% Al_2O_3 и 23,75% CaO , имеет $t_{\text{пл}} = 1155^\circ \text{C}$ [10]). Характерные составы шлаков [13] приведены в табл. II.24.

Наиболее подвижными являются шлаки состава: 45—50% CaO ; 35—40% SiO_2 ; 10—15% Al_2O_3 . Уменьшение содержания CaO до 35% незначительно сказывается на вязкости шлака, а увеличение его содержания свыше 50% приводит к резкому ее повышению; окислы FeO , MnO , MgO в обычных концентрациях, наоборот, значительно снижают вязкость шлака, чему также способствует присадка в качестве флюса, кроме известняка, плавикового шпата. Количество и основ-

Составы ваграночных шлаков

Процесс	Мольная доля составных частей, %								Основность $\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2}$
	SiO_2	CaO	Al_2O_3	MgO	$\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$	MnO	P_2O_5	S	
Кислый	40—60	20—35	5—20	1—5	1—10	1—5	0,1—0,5	0,05—0,3	0,4—0,9
Основной	25—35	40—50	5—20	1—5	0,5—3,0	1—3	0,5—1,0	0,5—1,0	1,2—2,0

ность шлака определяются, главным образом, расходом известняка (рис. 11.2). В футерованной вагранке масса шлака может быть определена по уравнению:

$$m_{\text{шл}} = 0,942 + 1,016\text{CaCO}_3 + 0,336\text{MeO}_{\text{шл}} + \text{AK}/100, \quad (11.6)$$

где $\text{MeO}_{\text{шл}}$ — содержание оксидов Fe и Mn в шлаке, %; A — содержание золы в коксе, %; K — расход кокса, %.

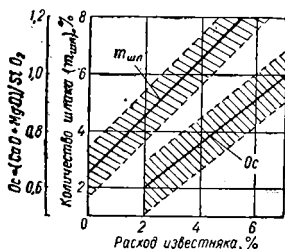


Рис. 11.2. Влияние расхода известняка на количество образующегося в вагранке шлака ($m_{\text{шл}}$) и его основность (Ос)

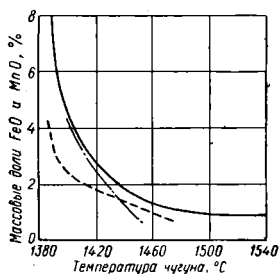


Рис. 11.3. Влияние температуры чугуна на содержание в шлаке FeO и MnO (— — FeO; — — — — MnO при содержании Mn в металле $< 0,7\%$; — · — · — MnO при содержании Mn в металле $> 0,7\%$)

С повышением t_{Me} массовая доля FeO и MnO в шлаке резко снижается (рис. 11.3). Количество шлака, его основность и содержание в нем FeO и MnO наряду с расходом кокса, температурным и шлаковым режимом плавки оказывают большое влияние на угар элементов (табл. 11.25) [13].

Количество шлака при кислом процессе составляет 5—8%, а при основном 8—10% от массы чугуна.

Легирующие элементы Cr, Ni, Cu, Ti, Mo и др., как правило, вводятся в жидкий чугун, так как поставка природно-легированных доменных чугунов литейным цехам сократилась, а загрузка в вагранки высокопроцентных ферросплавов связана с их повышенным угаром и увеличением колебаний химсостава чугуна по этим элементам. Величина угара элементов зависит от условий плавки, конструкции вагранки, состава шихты и других факторов. Влияние этих факторов

Угар элементов при плавке в коксовой вагранке, %

Дутье	Процесс	C	Si	Mn	S	P
Холодное	Кислый	(+10) — (+50)	(-10) — (-25)	(-10) — (-30)	(+40) — (+100)	0
Горячее	»	(+20) — (+300)	(-10) — (+20)	(-10) — (-20)	(+10) — (+50)	0
»	Основной	(+30) — (+360)	(-15) — (-20)	(-5) — (-15)	(-20) — (-50)	(0) — (-10)

Примечание.
Знак «—» — угар; «+» — пригар.

на содержание в чугуне основных элементов (%) выражается нижеприведенными уравнениями [24]:

$$C = (1,3 + 0,00238t_{Me} + 0,027Mn_{Me} - 0,317Si_{Me} - 0,33P_{Me} - 0,36S_{Me}) \alpha \beta \gamma; \quad (11.7)$$

$$Si = 0,24 + 1,093Si_{ш} - 0,08CaCO_3 - 0,064FeO; \quad (11.8)$$

$$Mn = -0,013 + 0,852Mn_{ш} + 0,006CaCO_3 - 0,002FeO; \quad (11.9)$$

$$S = -0,088 + 1,349S_{ш} - 0,018CaCO_3 + 0,003FeO \quad (11.10)$$

(при непрерывном выпуске шлака);

$$S = 0,051 + 0,444S_{ш} - 0,008CaCO_3 + 0,003FeO \quad (11.11)$$

(при периодическом выпуске шлака), где Ml_{Me} , Si_{Me} , P_{Me} , S_{Me} — содержание элементов в чугуне; $Si_{ш}$, $Mn_{ш}$, $S_{ш}$ — содержание элементов в шихте; α , β , γ — коэффициенты, определяемые по рис. 11.4. Коэффициент α определяется в зависимости от содержания углерода; β — в зависимости от отношения CaO/SiO_2 в шлаке; γ — в зависимости от расстояния от лещади горна до оси фурмы.

Как видно из этих уравнений, стабильность состава выплавленного чугуна зависит от стабильности состава шихты и шлака, а также от температуры металла. Минимальные колебания состава чугуна обеспечиваются при применении автоматических систем дозирования, стабильности химического состава шихты и поддержании постоянной t_{Me} . В этом случае колебания химического состава в течение плавки не превышают значений: по C — 0,05%; по Si — 0,15%; по Mn — 0,05%; по S — 0,02%; по P — 0,1%.

Конструкция ваграночных установок

Вагранки классифицируются по степени очистки газов (открытые, полузакрытые и закрытые), по теплотехническим особенностям (без подогрева и с подогревом дутья), по типу применяемого топлива (коксовые, коксгазовые и газо-

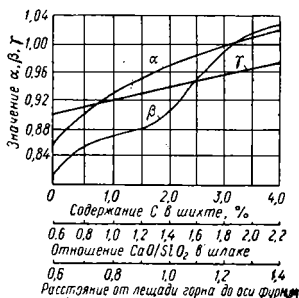


Рис. 11.4. Вспомогательный график для определения коэффициентов α , β и γ в формуле (11.7) при расчете содержания углерода в чугуне

вые). В открытых вагранках производится только грубая очистка газов от крупных частиц пыли в сухих или мокрых искрогасителях, в полузакрытых — очищается только часть газов, в закрытых — эффективной очистке подвергаются все газы.

Перед выбросом в атмосферу газы должны быть дождены для очистки от CO , содержание которой должно быть не более 0,1%.

Эксплуатация коксовых и коксогозовых вагранок открытого типа допускается санитарными нормами только в исключительных случаях при установке на них устройств для дожигания газов и мокрых искрогасителей. Для дожигания газов на уровне загрузочного окна или выше его устанавливают горелки природного газа и принимают специальные меры по уменьшению подсоса через загрузочное окно воздуха, снижающего температуру отходящих газов и разбавляющего их негорючими составляющими. С этой целью загрузочные отверстия в вагранках делают минимальными, а загрузку шихты осуществляют через вибрационные или перекидные лотки. Мокрые пылеуловители, устанавливаемые на трубе открытых вагранок, должны иметь небольшое сопротивление движению газов, которое может быть преодолено за счет естественной тяги из рубы. Именно этим обуславливается их относительно невысокая эффективность. Средний коэффициент полезного действия мокрых искрогасителей составляет 70—85%.

Выделяющееся при дожигании газов тепло может быть использовано в вагранках для подогрева дутья. В зависимости от этого их можно разделить на три группы: вагранки без использования тепла ваграночных газов, с использованием их физического и химического тепла, с использованием только химически связанного тепла.

В установках первой группы дожигание газов производится до их очистки от пыли непосредственно в шахте вагранки выше завалочного окна или в специальной камере дожигания, куда газы отсасываются ниже завалочного окна или на уровне его. Преимуществом этого типа вагранок является простота и безопасность эксплуатации даже при малоквалифицированном обслуживании. Недостатки их: высокие капитальные и эксплуатационные расходы из-за большого объема очищаемых горючих газов, большие габаритные размеры установки, низкий термический к. п. д. вагранки.

В установках второй группы дожигание газов производится либо до их очистки от пыли, либо после предварительной грубой очистки, производимой без снижения температуры газов. Газы в этих вагранках отбираются ниже завалочного окна и поступают сначала на предварительную очистку, затем в камеру дожигания, рекуператор и, наконец, на окончательную тонкую пылеочистку или выбрасываются в атмосферу. Преимущество этих вагранок — наиболее полное использование как физического, так и химического тепла газов; но в полной мере это возможно лишь при очень высоком подогреве дутья (свыше 700°C) и при низком расходе кокса (менее 8%). Недостатки их: периодическая (автоматическая или ручная) очистка рекуператора от пыли; опасность возмещения газов, сопровождаемого взрывами в трубопроводах и устройствах, расположенных до камеры дожигания; большие объемы газов, подвергающихся тонкой очистке.

В установках третьей группы устройства дожигания газов и рекуперации их тепла располагаются после системы пылеочистки. Преимущества таких вагранок: минимальные капитальные и эксплуатационные расходы на очистку газов вследствие минимального объема газов и их невысокой температуры до дожигания ($250\text{—}350^{\circ}\text{C}$); стабильность работы рекуператора при использовании в качестве теплоносителя чистых газов; простота герметизации трубопровода в системе газоочистки при низкой температуре газов. Недостатком этих вагранок является необходимость в дополнительном топливе для обеспечения устойчивого горения газов и разогрева рекуператора перед началом плавки.

Общий недостаток всех трех типов этих вагранок заключается в недостаточной надежности механических тягловых машин, в возможности подсосов воздуха и образования взрывоопасной смеси в системе газоочистки из-за наличия в ней высокого разрежения. Во избежание аварий при работе таких вагранок необходимо устанавливать резервные дымоходы, обеспечивать повышенный контроль за герметичностью газового тракта и состоянием предохранительных клапанов.

С целью исключения указанных недостатков в последние годы разработаны установки (рис. II.5) бездымососных вагранок закрытого типа, в которых перемещение и мокрая очистка газов производятся с помощью водяного эжектора или повышенного давления под колошником. При этом использован способ транспортировки и очистки газов за счет кинетической энергии струи жидкости, подаваемой с высокой скоростью в трубу, имеющую определенную конфигурацию. Конструкция и нормальный ряд вагранок этого типа приведены на рис. II.6 и в табл. II.26.

Вагранки закрытого типа, как правило, работают на подогретом дутье и являются сложными агрегатами, обеспечивающими заданные параметры процесса плавки чугуна и механизацию операций по ее обслуживанию и управлению. Они

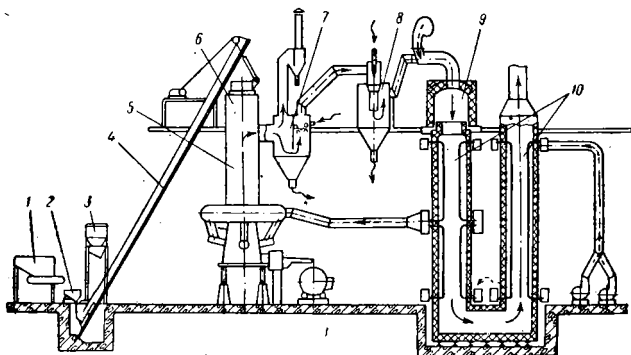


Рис. II.5. Схема установки бездымососной вагранки закрытого типа конструкции института Гипростанок:

1 — бункерная эстакада для металлической шихты; 2 — весовая тележка; 3 — установка для дозирования кокса, известняка и ферросплавов; 4 — подъемник для шихты; 5 — вагранка; 6 — шлюзовая камера; 7 — пылеосадительная камера; 8 — эжекторный скруббер; 9 — камера дожигания; 10 — рециркулятор радиационный

Направление движения; → ваграночные газы; — — — воздух; ~ вода

состоят из собственно вагранки, системы очистки газов от пыли и токсичных составляющих, устройств для подачи и подогрева дутья, устройств для дозирования и загрузки шихтовых материалов, системы автоматического управления и контроля за процессом плавки и вспомогательных механизмов для грануляции шлака, уборки отходов после выбивки и т. д.

Собственно *вагранка*, в которой происходят все металлургические процессы, в общем виде состоит из загрузочного устройства, шахты и опорной части. Шахта имеет, как правило, конический (см. рис. II.6) и реже «доменный» профиль. Корпус шахты по всей высоте или только в нижней (плавильной) части охлаждается водой. Водоохлаждаемая зона, за исключением горна, не имеет огнеупорной футеровки или футеруется тонким слоем (40—70 мм) огнеупора, заменяющего гарнизаж в начале работы вагранки. Для увеличения цикла работы без текущего ремонта вагранки снабжаются водоохлаждаемыми медными фурмами, вдвинутыми внутрь шахты. Такой профиль шахты обеспечивает равномерность распределения газов по сечению, способствует повышению среднего уровня зоны плавления, увеличению длительности работы вагранки без выбивки и стабильности металлургических процессов.

Вагранки без футеровки (например, фирмы «Уайтинг», США) наилучшим образом приспособлены для работы в течение нескольких недель без выбивки и

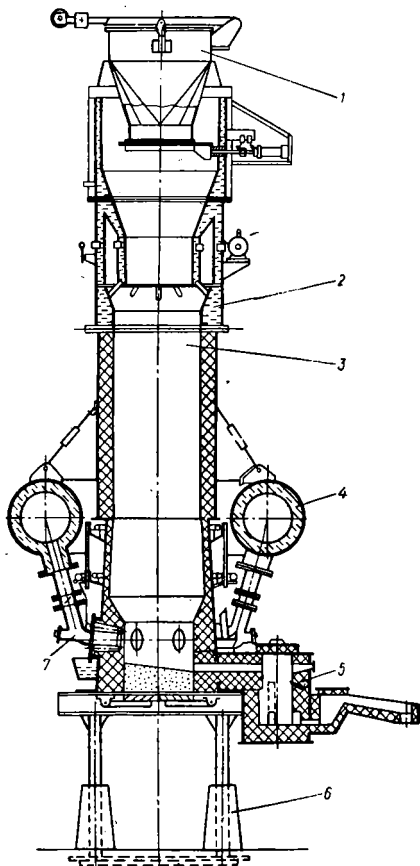


Рис. II.6. Конструкция вагранки института Гипростанок:

1 — узел герметизации загрузки шихты; 2 — узел отбора ваграночных газов; 3 — водоохлаждаемая шахта вагранки; 4 — фурменная коробка; 5 — сифонный шлакоотделитель; 6 — опорная часть; 7 — фурменный прибор с водоохлаждаемой медной фурмой

**Нормальный ряд вагранок закрытого типа конструкции
Гипростанок**

Показатели	Внутренний диаметр вагранок, мм					
	850	1100	1350	1700	2100	2650
Геометрические размеры вагранки, мм:						
диаметр горна вагранки D_r	850	900	1100	1450	1750	—
диаметр фурменной коробки $D_{ф.к}$	3000	3224	3424	4000	4650	—
диаметр фурм $D_{ф}$ и их количество	160×6	180×6	200×6	200×8	200×10	—
полезная высота вагранки $h_{пол}$	5000	5500	—	6000	6500	—
высота опорной части h_o	2000	2500	2500—3000	3000	3500	—
высота горна h_r	600	700	750	800	—	—
высота шихтового затвора h_3	—	1500	—	2500	—	—
высота шлюзовой камеры h_k	2850	3150	—	3500	—	—
Номинальная производительность, т/ч	5	8	12	20	30	45
Диапазон оптимальной производительности, т/ч	4—6	6—9	10—15	15—22	25—32	40—50
Температура металла на желобе, °С	До 1520					
Расход топлива:	10—14					
кокса в рабочую колошу, %						
природного газа в рекуператоре для обеспечения устойчивого горения ваграночных газов, $nm^3/ч$	60	100	150	250	350	500
Расход дутья (максимальный), $nm^3/ч$	5000	7000	12 000	17 000	25 000	40 000
Температура дутья, °С	450—550					

Показатели	Внутренний диаметр вагранок, мм					
	850	1100	1350	1700	2100	2650
Расход воды, м ³ /ч: на охлаждение плавильного верхнего пояса и фурм на очистку ваграночных газов	85	105	130	155	170	220
Установленная мощность, кВт	25	30	40	55	70	105
Длительность работы вагранки без текущего ремонта, сут	~400	~400	~500	~1400	~1400	—
До 6						
Примечание. Расходы кокса и газа приняты средними для монопроцесса; для дуплекс-процесса эти расходы можно уменьшить на 20%.						

ремонта. В них углеродистая футеровка горна защищена от воздействия шлака, а шахта имеет водяное охлаждение по всей высоте. Недостатком этих вагранок является опасность образования настывов на водоохлаждаемых стенках в начальный период плавки при низком качестве кокса и флюса.

В последнее время возобновился интерес к использованию двух рядов фурм с регулируемым распределением по ним воздуха. Оптимальные результаты соответствуют расположению второго ряда фурм на расстоянии 760—1070 мм над первым и подаче через них до 50% дутья. В этих условиях обеспечивается повышение температуры металла на желобе на 40—50° С или снижение расхода кокса на 20—32% при соответствующем повышении производительности на 11—23% [2].

Для непрерывного выпуска металла и шлака применяются различные сифонные устройства [23]. Вагранки для длительного цикла снабжаются, как правило, двумя компрессионными шлакоотделителями (рис. 11.7), имеющими металлический М и шлаковый Ш сифоны высотой (соответственно) 300 и 400 мм для вагранок диаметром 830—1350 мм и 340 и 540 мм для вагранок диаметром 1700—2100 мм. Эти шлакоотделители работают попеременно и обеспечивают удаление всего чугуна и шлака из горна вагранки, благодаря чему исключается воздействие жидких компонентов на футеровку горна.

Большинство вагранок закрытого типа снабжается специальными приспособлениями для отбора ваграночных газов в систему газоочистки. Эти приспособления должны препятствовать проникновению в систему газоочистки кислорода из атмосферы и не допускать выбивания газов в помещенные цеха через отверстие для загрузки шихты. Достигается это двумя способами. При первом шахта вагранки загружается шихтой на 3,0—4,5 м и выше узла отбора газов. На уровне отбора газов в шахте автоматическое поддерживается минимальное положительное давление, препятствующее проникновению воздуха через «шихтовую пробку» из загрузочного окна в систему газоочистки. Надежность работы этой системы обеспечивается только при строгом соблюдении уровня загрузки шихты. При снижении уровня шихты в конце плавки шахта вагранки перекрывается специаль-

ной крышкой. Автоматическая система контроля постоянно следит за давлением в узле отбора газов и содержанием кислорода в газах, идущих в систему газоочистки, и в случае обнаружения кислорода или разрежения отключает газоочистку от вагранки. При втором способе изоляция системы очистки от атмосферы достигается за счет загрузки шихты через герметичные шлюзовые камеры, что чаще всего применяется в бездымососных вагранках закрытого типа (см. рис. II.6).

В газоочистных системах производят осаждение пыли и химическую очистку газов от CO и SO_2 . В зависимости от условий плавки, применяемых шихты и кокса в неочищенных газах содержится пыли от 5 до 50 г/м³. По санитарным нормам к. п. д. (η) системы пылеочистки вагранки закрытого типа должен составлять 98—99,5%. Ваграночная пыль — мелкодисперсная, и в связи с этим эффективная

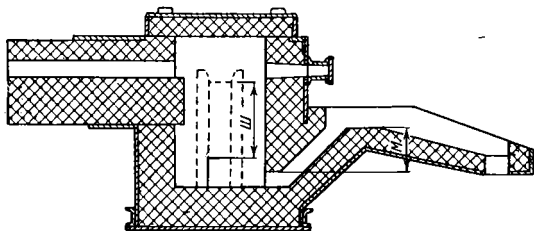


Рис. II.7. Компрессионный металлоприемник-шлакоотделитель с металлическим М и шлаковым Ш сифонами

очистка газов от нее возможна лишь в скоростных мокрых пылеуловителях (типа труб Вентури), рукавных фильтрах или электрофильтрах. Очистка от сернистых газов обычно производится одновременно с осаждением пыли в мокрых пылеуловителях, так как они хорошо растворяются в воде, а очистка от CO — дожиганием этих газов.

Очистка от мелкодисперсной ваграночной пыли осуществляется в многоступенчатых системах. На первой ступени для осаждения наиболее крупных частиц пыли обычно применяют сухие или мокрые инерционные пылеосадители: одннарные и батарейные циклоны, мокрые камерные пылеосадители и скрубберы различных конструкций. Наибольшее распространение для предварительной очистки газов нашли циклоны и мультициклоны различных конструкций; они при температуре газов выше 400° С футеруются. Циклоны задерживают 99,9% пыли, размер частиц которой более 40 мкм, и лишь 20% с размером частиц менее 1 мкм. К. п. д. циклонов по очистке ваграночных газов — около 80%. Мокрые пылеосадители для предварительной очистки газов (полые скрубберы, камеры с форсуночным орошением и др.) обычно применяют в тех цехах, где имеются системы гидрошламоудаления.

Тонкая очистка газов представляет большие трудности из-за наличия мелких фракций. Согласно исследованиям НИИОгаза, пыль, отобранная после первой ступени очистки газов вагранок закрытого типа, имела следующий дисперсный состав *:

Размеры частиц пыли, мкм	<2	2—5	5—10	10—20	20—30	>30
Массовая доля пылевых фракций, % . . .	50	10	3	2	5	30

* По данным ФРГ, в этой пыли имеется 30—40% частиц размером мельче 10 мкм, по другим данным, — 50—75% частиц размером мельче 1 мкм.

Все исследователи отмечают плохую смачиваемость ваграночной пыли при мокрой ее очистке из-за наличия на поверхности частиц пленок органических веществ. Наиболее широко для тонкой очистки используются турбулентные скоростные мокрые пылеуловители, тканевые рукавные пылеуловители, дезинтеграторы, а также сухие и мокрые электрофильтры, к. п. д. (η) которых определяется остаточной концентрацией пыли ($P_{ост}$) в газах.

Скоростные мокрые пылеуловители с трубами Вентури, имеющие $\eta = 97 \div 98\%$ и $P_{ост} = 0,1 \div 0,05$ г/м³, состоят из коагулятора мелких частиц пыли, каплеосадителя и газодувки (дымососа). Вода подается в горловину трубы Вентури. Газовый поток, движущийся со скоростью 80—200 м/с, дробит воду на мелкие капли, обеспечивает хорошее перемешивание газов с каплями воды и осаждение на каплях мельчайших частиц пыли. Пыль, скоагулировавшаяся на каплях воды, улавливается в каплеосадителях инерционного типа (циклоны, скрубберы и т. д.). Высокая степень очистки достигается при скорости газового потока в горловине 150—200 м/с; при этом гидравлическое сопротивление пылеуловителя, преодолеваемое за счет газодувки, составляет 1500—2000 мм вод. ст. ($0,15-0,2 \times 10^5$ Па). Преимущества этих пылеуловителей: простота эксплуатации, небольшие габаритные размеры, низкая стоимость сооружения. Недостатки: большие затраты электроэнергии, повышенная трудоемкость и малая надежность работы газодувки, опасность образования хлопков и взрывов в системе газоочистки из-за подсоса воздуха.

Мокрые пылеуловители с эжекторными трубами Вентури, имеющие $\eta = 96 \div 97\%$ и $P_{ост} = 0,15 \div 0,10$ г/м³, состоят из коагулятора мелких частиц пыли, каплеосадителя и водяных насосов высокого давления. Газы проходят через горловину трубы Вентури с невысокой скоростью (10—15 м/с), а вода подается в газовый поток с большой скоростью (40—150 м/сек) в направлении перемещения газов. За счет разности скоростей воды и газов, пористости водяного факела и определенного угла его раскрытия обеспечивается коагуляция пыли на каплях воды и эжекция газового потока. Преимущества этих пылеуловителей: высокая надежность, простота эксплуатации, отсутствие разрежения в системе газоочистки, исключение газодувки из тракта газоочистки. Недостатки: ограниченные возможности в бездымососном варианте для преодоления гидравлического сопротивления устройств, обеспечивающих дожигание и утилизацию тепла ваграночных газов.

Тканевые фильтры, имеющие $\eta = 99\%$ и $P_{ост} = 0,05 \div 0,07$ г/м³, состоят из пучка матерчатых труб или мешков, размещенных в герметичном металлическом каркасе, имеющем в нижней части бункер для сбора пыли. Запыленные газы через бункерную часть каркаса проходят внутрь труб или мешков, фильтруются через ткань и выходят из фильтра через клапан чистого газа. Ткань очищается от пыли за счет периодического встряхивания или обратной продувки воздуха. При температуре газов 100—300° С применяются синтетические волокна или стеклоткань. Преимущества тканевых фильтров: высокая степень очистки, низкий расход электроэнергии, низкое гидравлическое сопротивление. Недостатки: большие капитальные затраты и габариты; температура очищаемых газов ограничена интервалом 70—300° С.

Дезинтеграторы, имеющие $\eta = 85 \div 98\%$ и $P_{ост} = 0,5 \div 0,05$ г/м³, состоят из улиткообразного корпуса, ротора с разбрызгивателем и лопатками, шламоотстойника и каплеосадителя. Газы подаются в центральную часть корпуса и за счет вращения ротора с лопатками и неподвижных прутьев, укрепленных на корпусе, перемешиваются с водой, подаваемой через разбрызгиватель. Центробежной силой капли воды, насыщенные пылью, отбрасываются на стенки корпуса и по ним стекают в шламоотстойник. Окончательное осаждение пыли производится в каплеотстойнике инерционного типа. Преимущества этих пылеуловителей: небольшие габаритные размеры, совмещение в одном аппарате коагулятора пыли и дымососа, возможность регулирования степени очистки за счет изменения мощности двигателя. Недостатки: сложность и высокая точность изготовления и ремонта, высокое разрежение, создаваемое в системе газоочистки, и связанная с этим опасность подсоса воздуха, вызывающего хлопки и взрывы.

Электрофильтры, имеющие $\eta = 0,99$ и $P_{ост} = 0,03 \div 0,05$ г/м³, представляют собой каналы, стенки которых соединены с положительным полюсом высокого

напряжения. Внутри каналов располагаются электроды, соединенные с отрицательным полюсом. Частицы пыли, проходя по каналам, ионизируются, приобретают электрический заряд и под его влиянием оседают на электродах. Для очистки ваграночных газов применяют как сухие, так и мокрые электрофилтры. Преимущества электрофилтров: очень высокая степень очистки, низкий расход электроэнергии и низкое гидравлическое сопротивление. Недостатки: большие габариты и высокая стоимость сооружения, опасность возникновения хлопков и взрывов при очистке недожженных ваграночных газов.

Рекуператоры и воздухоподогреватели, применяемые для подогрева дутья, используют тепло отходящих газов или тепло сжигаемого дополнительного топлива. Для ваграночного дутья чаще всего применяют металлические рекуператоры. Как рекуператоры, так и воздухоподогреватели, используемые для подогрева ваграночного дутья, делятся по способу передачи тепла на конвективные, радиационные и комбинированные (радиационно-конвективные).

Конвективные рекуператоры работают, как правило, при температуре теплоносителя на входе не выше 800°C (редко 900°C). Воздух при этом подогревается до $300\text{—}450^{\circ}\text{C}$. При температуре дымовых газов выше $900\text{—}1000^{\circ}\text{C}$ применяют радиационные рекуператоры. Большая теплостойкость этих рекуператоров позволяет им работать при температуре газов до 1300°C и подогревать в них воздух до $500\text{—}700^{\circ}\text{C}$. Высокий коэффициент теплопередачи радиационные рекуператоры имеют только при температуре газов более 800°C . Поэтому в тех случаях, когда рационально использовать теплоноситель полнее, в большом интервале температур — от высоких ($1100\text{—}1200^{\circ}\text{C}$) до низких ($200\text{—}300^{\circ}\text{C}$), применяют комбинированные радиационно-конвективные рекуператоры. Такие рекуператоры имеют наибольший коэффициент использования тепла, содержащегося в дымовых газах.

За рубежом чаще применяются конвективные рекуператоры с игольчатыми трубами или термоблочные, реже — радиационные рекуператоры. В СССР нашли применение два типа радиационных рекуператоров: щелевые и трубчатые. Первые состоят из двух концентрических цилиндров, сваренных из листов жаропрочной стали толщиной 4—8 мм. По внутреннему цилиндру проходят дымовые газы, а в кольцевом пространстве между цилиндрами — нагреваемый воздух. Эти рекуператоры устойчиво работают в том случае, если диаметр внутреннего кольца не превышает 1,5 м, а давление воздуха в кольцевом зазоре не выше 1000 мм вод. ст. (10^4 Па). При больших размерах рекуператоров жесткость их часто оказывается недостаточной, и при эксплуатации наблюдается деформация внутреннего цилиндра, приводящая к выходу рекуператора из строя.

Значительно большую стойкость при высоких температурах и повышенных давлениях воздуха показали трубчатые радиационные рекуператоры (рис. II.8), состоящие из большого количества трубок малого диаметра, расположенных близко друг к другу по периметру футерованной шахты. Дымовые газы проходят по шахте и омывают трубы, по которым прогоняется воздух. Преимущества радиационных трубчатых рекуператоров: хорошая тепловая компенсация металлических труб, простота изготовления, монтажа, ремонта и обслуживания. Недостатки: высокое гидравлическое сопротивление на воздушной стороне; большие габаритные размеры рекуператора; большой объем огнеупорной кладки, повышающей инерционность рекуператоров. Комбинированные радиационно-конвективные подогреватели, как правило, применяют для нагрева ваграночного дутья только за счет сжигания природного газа.

Копильники и миксеры для жидкого чугуна могут быть стационарными, поворотными или поворотными и передвижными. Стационарные копильники применяются в цехах крупного и тяжелого литья, где выдача металла на разливку осуществляется не чаще двух-трех раз в час. Во всех остальных случаях применяются поворотные копильники-миксеры с индукционным или газовым обогревом (рис. II.9). Иногда в целях экономии блок из двух-трех вагранок снабжается одним передвижным копильником. Емкости копильников выбирают в зависимости от массы литья, серийности производства и требований к стабильности состава (табл. II.27). Подача металла в копильники может осуществляться сверху или через сифон. Первая конструкция проще в эксплуатации, но требует повышенного расхода природного газа для поддержания температуры металла.

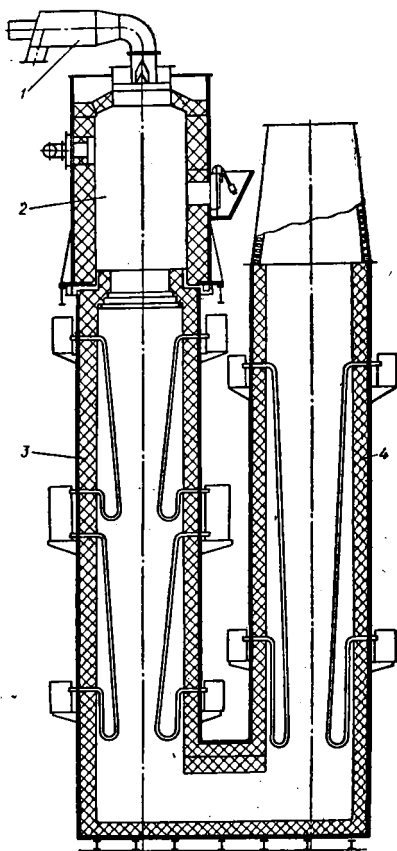


Рис. II.8. Радиационный трубчатый рекуператор конструкции института Гипростанок

1 — горелка ваграночных газов; 2 — тонка рекуператора; 3, 4 — шахты рекуператоров с теплообменниками

Воздуходувные машины (табл. II.28) для подачи дутья в вагранки выбираются в зависимости от производительности и наличия рекуператора или воздухоподогревателя.

Системы набора, дозирования и загрузки шихтовых материалов осуществляют набор и взвешивание всех компонентов шихты (колоши) и загрузку их в шахту вагранки. Для подачи к массоизмерительным устройствам металлических компонентов используются чаще всего расходные бункера с питателями траковыми, инерционными, электровибрационными или (реже) расходные закрома и кран с магнитной шайбой. При использовании негабаритной шихты обычно наблюдается завышение материала в бункерах. В этих случаях существенную помощь оказывает встряхивание бункера дополнительным механизмом. Недостатком системы является неизбежное падение тяжелых кусков шихты с полотна питателя во взвешивающее устройство, что вызывает динамические нагрузки, отрицательно действующие на весовые механизмы и могущие быть причиной выхода их из строя.

В последние годы все чаще применяют, в особенности для крупных вагранок, системы набора и подачи шихты с помощью электромагнитной шайбы с регулируемой грузоподъемностью, подвешенной на специальном кране или другом грузоподъемном устройстве. Преимущества этих систем — возможность применения крупногабаритной шихты, простота используемых механизмов и сброс кусков шихты с меньшей высоты. Процесс дозирования с помощью электромагнитной шайбы производится либо за счет предварительного набора некоторого заведомо большего количества шихты и последующего сброса лишнего кусков обратно в закрома по показателям кранового массоизмерительного устройства, либо за счет постепенного сброса шихты в бункерные весы до заданной массы.

Применение расходных бункеров с питателями целесообразно для вагранок небольшого диаметра, где обязательна мелкая разделка шихты до размера не больше $1/3$ диаметра вагранки. Размеры кусков шихты, надежно сходящих с питателя, не должны превышать 300—350 мм при массе не более 40 кг. Применение

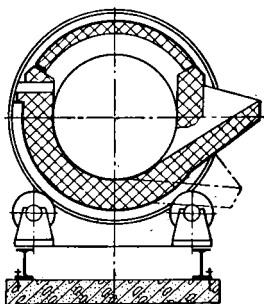


Рис. II.9. Копильник поворотный с газовым обогревом

Таблица II.27

Выбор емкости копильников для вагранок

Внутренний диаметр вагранки, мм	Диапазон производительностей вагранок, т/ч	Емкость (т) для производства			
		мелкосерийного		крупносерийного и массового	
		копильников поворотных с газовым подогревом	индукционных тигельных и канальных миксеров	копильников поворотных с газовым обогревом	индукционных канальных миксеров
850	4—6	2,5; 5	2,5; 6	5; 8	6; 10
1100	6—9	5; 8	6; 10	8; 12	10; 16
1350	10—14	5; 8; 12	6; 10; 16	8; 12; 16	10; 16; 25
1700	15—22	8; 12; 16	10; 16; 25	12; 16	16; 25; 40
2100	25—32	12; 16	16; 25; 40	16	25; 40

Характеристика воздуходувных машин для вагранок

Диаметр вагранок, мм	Марка воздуходувной машины	Производительность, м ³ /ч	Давление, создаваемое машиной, мм вод. ст. (9,8 Па)	Завод-изготовитель
850	ТВ-80-1,2	5 000	2 000	Узбекхиммаш (Чирчик)
1 100	B2M10/1250 200-11-1	10 000 12 000	1 250 1 800	«Станколит» (Москва) Энергетического машиностроения (Хабаровск)
1 350	ТВ-200-1,25	14 000	2 500	Узбекхиммаш (Чирчик)
1 700	B20/2050 400-12-2	20 000 24 000	2 050 2 100	«Станколит» (Москва) Энергетического машиностроения (Хабаровск)
2 100	700-13-1	42 000	3 000	То же

Таблица II.29

Дозаторы и массоизмерители для ваграночной шихты

Наименование	Марка	Диапазон измерения, кг	Погрешность измерения, кг	Габаритные размеры, мм	Диаметр вагранки, мм
Для топлива, флюсов, ферросплавов					
Дозатор автоматический для известняка и ферросплавов	ДВИ-40м	10—40	±0,5	213×960× ×1290	До 1100
	ДВИ-100м	40—100	±1,0	213×960× ×1290	» 2100
Дозатор автоматический для кокса	ДВК-100м	25—100	±1,0	2250×160× ×1730	» 850
	ДВК-250м	70—250	±2,5	2250×160× ×1730	» 1700
Для металлических компонентов шихты					
Воронка-массоизмеритель	488В0,5	100—500	±5,0	1310×1310× ×2415	До 850
Массоизмеритель бункерный электро-механический	1076В3,2	160—3200	±20	1750×2080× ×1450	1100— 2100
Электрическая массоизмерительная тележка	Платформенная Т111Т-2	До 2000	±10	2800×1340× ×2375	До 1350
	Бункерная Т122Т-3,2-1	До 3200	±20	4500×2250× ×2680	1700— 2650
	Бункерная 103БТ2,0	» 2000	±10	3700×1900× ×3000	До 1350
Монорельсовый циферблатный массоизмеритель	ВМЦ-1М	» 1000	±10	1835×1045× ×805	» 850
Массоизмеритель крановый	1075-ЭК-3,2	160—3200	±20	—	1100— 2100
	191ЭК-5	До 5000	±20	—	До 2650

подвешной электромагнитной шайбы с регулируемой подъемной силой целесообразно для вагранок любой производительности и в первую очередь для больших.

Для подачи в устройства немагнитных компонентов применяются ленточные, пластинчатые и вибрационные питатели. Массонизмерительные устройства, достаточно надежно работающие в установках дозирования шихтовых материалов, приведены в табл. II.29.

Загрузка шихты в вагранки производится подъемно-транспортными устройствами периодического или непрерывного действия. В бадью или ковш сразу загружаются, как правило, все компоненты шихты: металл, кокс, флюсы, ферросплавы и другие добавки. Для загрузки такой колоши в вагранку применяются монорельсовые тележки в сочетании с шахтными подъемниками, наклонные подъемники с дистанционным или автоматическим управлением, пластинчатые и подвесные конвейеры. Наибольшее распространение получила система загрузки шихты с помощью наклонного подъемника.

Технология плавки в коксовых вагранках

Технология плавки должна обеспечивать получение нужного и стабильного состава чугуна и высокой температуры металла при заданной производительности. Выполняются эти требования за счет выбора соответствующего расхода кокса и дутья (иногда и за счет изменения температуры подогрева дутья). Сложность управления процессом заключается в том, что изменение расходов кокса

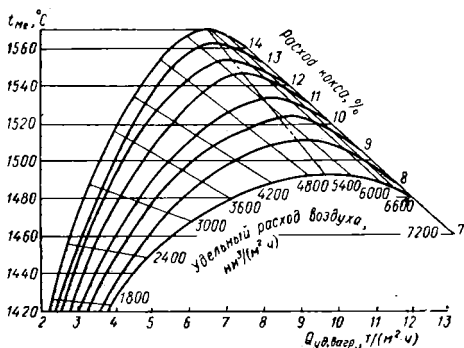


Рис. II.10. Сетчатая номограмма взаимосвязи параметров ваграночного процесса.

$Q_{уд. вагр}$ — удельная производительность вагранки, т/(м²·ч)

или воздуха изменяет одновременно как температуру металла, так и производительность вагранки. Поэтому для изменения только производительности или только температуры металла, как правило, необходимо изменять и расход кокса, и расход дутья, как это видно из номограммы на рис. II.10 [2]. Оперативное регулирование процессом обеспечивается только за счет изменения температуры или расхода дутья и содержания в нем кислорода. Изменение же расхода кокса влияет на ваграночный процесс с задержкой в 30—60 мин, т. е. после достижения измененной порции кокса холостой колоши. В определенном интервале можно регулировать производительность вагранки только за счет изменения расхода дутья. При этом температура металла сохраняется практически постоянной. Применение

подогрева дутья, доменного профиля шахты вагранки и подача 50% дутья через фурмы, расположенные на высоте 700—1000 мм от первого ряда, позволяет значительно увеличить диапазон допустимого изменения производительности вагранки только за счет изменения подачи дутья. В табл. 11.30 приводятся пределы изменения средней удельной производительности в различных конструкциях вагранок, при которых температура металла и расходы кокса сохраняются постоянными.

Таблица 11.30

Удельные производительности вагранок разных типов

Показатели	Вагранки		
	о цилиндрическим профилем и холодным дутьем	с доменным профилем и подогретым дутьем	о вторичным дутьем и переменной температурой дутья
Средняя удельная производительность ($\text{м}^3 \cdot \text{ч}$)	7,0—7,5	8,0—8,5	7,0
Диапазоны изменения удельных производительностей, %	± 15	± 30	± 60

Необходимость изменять производительность вагранки возникает в первую очередь при серийном поточном производстве, где требуется синхронность производительности вагранки с металлоемкостью заформованных опок. Уменьшить колебания производительности вагранки можно за счет применения миксеров большой емкости (см. табл. 11.27), сглаживающих неравномерность потребления металла в течение смены и его химсостава.

Тепловой к. п. д. работы вагранок различен при нагреве шихты, плавлении ее и нагреве жидкого металла. В зоне нагрева шихты к. п. д. имеет наибольшее значение и составляет 50—60%, в зоне плавления 30—40%, а в зоне нагрева капель жидкого металла — всего 10—15%.

Оптимальный режим работы вагранок — получение чугуна в интервале температур 1340—1400° С при холодном дутье и 1400—1450° С при подогретом дутье. Получение более высокой температуры металла в вагранке (до 1550° С) возможно, но требует высокотемпературного дутья и повышенного расхода кокса; поэтому экономичнее использовать для перегрева электрические индукционные и дуговые миксеры. Выплавка чугуна с более низкими температурами, хотя и позволяет снизить расход кокса, приводит к технологическим трудностям по обслуживанию вагранки из-за зашлаковывания фурм, настывлей, опасности «закосления» вагранки при незапланированных простоях и др.

Методы интенсификации ваграночного процесса направлены либо на повышение температурного режима в вагранке, либо на перегрев жидкого металла на желобе, в горне или копыльнике. Для повышения температуры металла применяется подогрев дутья, обогащение его кислородом, подача дутья через два ряда фурм, применение карбиды кальция и подача части дутья через горн.

Подогрев дутья и обогащение его кислородом обеспечивают повышение температуры металла примерно на 15—25° С на каждые 100° подогрева дутья или на 1% повышения содержания кислорода в дутье. Наиболее простым методом обогащения дутья кислородом является его подача в воздухопровод перед фурменной коробкой. Во многих случаях обогащение дутья кислородом применяют в начальный период плавки. В этом случае увеличение содержания кислорода на 2% повышает температуру первого выпуска чугуна на 70°. По зарубежным данным, в связи с ростом цен на чушковые чугуны и кокс, применение кислорода экономически оправдано при объеме выплавки чугуна более 15 т/сут.

Отвод части дутья через горн и стационарный копыльник расширяет высокотемпературную кислородную зону и может привести к повышению температуры

металла на 30—50° в вагранках малого диаметра. Положительные результаты при этом методе обеспечиваются только в случае правильного распределения дутья, продуваемого через горн и шахту вагранки в отношении 20—25% и 75—80%, и увеличения общего расхода дутья.

Карбиды кальция или кремния подаются в вагранку вместе с коксом рабочей топливной колоши в количестве 2% от металлозавалки. Благодаря высокой температуре плавления, карбид кальция плавится в кислородной зоне и сгорает, выделяя 5500 ккал/кг (23.10⁶ Дж/кг) и повышая температуру в этой зоне. Присадка 2% карбида кальция повышает температуру металла на 40—50° и приводит к снижению содержания серы в чугуне. Положительные результаты получаются только при применении литейного карбида кальция эвтектического состава с температурой плавления 1650° С.

Для перегрева жидкого металла применяется также электроконтактный и электрошлаковый подогрев на желобе вагранки либо продувка кислородом жидкого металла в копыльнике или на желобе. Однако эти методы не нашли широкого применения из-за сложности и небезопасности в обслуживании и могут считаться только временной мерой для периодического перегрева чугуна. Техника же ведения процесса плавки должна обеспечивать нормальную, безаварийную эксплуатацию вагранки. Поэтому предпочтительнее вагранки с подогревом дутья и очисткой ваграночных газов, хотя они требуют более жесткой регламентации всех приемов по подготовке и проведению плавки. Кроме того, арсенал приемов и возможностей ведения плавки в них значительно шире, чем в вагранках с холодным дутьем.

Ремонт и подготовка вагранки к плавке заключаются в ремонте футеровки, металлоконструкций, механизмов и оборудования, обеспечивающего нормальную работу вагранки. Ниже рассматриваются периодичность и технология ремонта футеровки в вагранках с длительным и односуточным циклом работы.

Капитальный ремонт трубы вагранки выше завалочного окна производится не чаще одного раза в год. После удаления всей старой футеровки труба выкладывается шамотным кирпичом — клином ребровым и клином прямым марки ШБВ (ГОСТ 3272—71) — на ремонтной глинке «на ребро» или «на ребро и плашку»; толщина футеровки 120 или 180 мм. Зазор между кирпичами — не более 2—3 мм.

Капитальный ремонт шахты вагранки выше зоны плавления до защитных кирпичей или загрузочного окна выполняется не чаще одного раза в квартал. При этом удаляется внутренний ряд футеровки. Нарушенные места наружного ряда кладки закладываются подтесанным кирпичом. Кладку выполняют шамотными кирпичами марки ШБВ (клин ребровый, прямой, трапециевидный) на жидком растворе ремонтной глины. Толщина шва — не более 1,5 мм. Продолжительность сушки на воздухе — не менее 24 ч. После капитального ремонта розжиг вагранки требуется проводить на 0,5—1 ч дольше, чем после текущего ремонта, загрузив дополнительное количество кокса.

Текущий ремонт шахты вагранки в плавильном поясе производят после каждой выбивки вагранки. При этом сначала удаляют шлак, прогоревшие кирпичи и настыли, но сохраняют ошлакованную поверхность шахты. Новую футеровку выполняют кирпичом марки ШАВ, набивным футеровочным составом или торкретной массой. Толщина футеровки в вагранках без водяного охлаждения 180—250 мм, в водоохлаждаемых — 65—120 мм. Вагранки с длительным циклом работы либо вовсе не имеют футеровки, либо обмазываются ремонтной глиной толщиной 8—20 мм, либо выкладываются «на плашку» лещадкой или кирпичом «клин ребровый».

Текущий ремонт зоны фурм и горна вагранки выполняется после каждой выбивки. При ежедневной выбивке вагранок после одной или двух смен работы они футеруются слоем толщиной 180—500 мм так же, как и плавильный пояс. При работе без выбивки в течение недели и более горн выкладывается высокоглиноземистым кирпичом (муллитокорундовым) класса ВГО-72 от подны до уровня фурм. Зона фурм при доменном профиле набивается шамотной массой или выкладывается кирпичом марки ШАВ. Вся зона может набиваться графитовой массой.

Текущий ремонт переходного канала, сифонного шлакоотделителя и летки производят после каждой выбивки. При холодном дутье для такого ремонта

используют наиболее качественный кирпич марки ШАВ с толщиной шва не более 1,5 мм, при длительном цикле работы — высокоглиноземистый кирпич, блоки ДВ-5, ДВ-6 (ГОСТ 10381—63), выкладываемые на высокоглиноземистом мертеле марки ВТ-1.

В качестве набивных масс для ремонта футеровки применяются: шамотная масса (24% глины, 36% песка, 40% шамота); углеродистая масса (коксик молотый 70%, мертель высокоглиноземистый 20%, пек каменноугольный 10%); масса на основе кремнезема (песок 92—94%; мертель 6—8%), наносимая шприцмашиной (фирмы SAS, Франция); ремонтная глина (глина огнеупорная 35%, песок 65%). Кроме этого, во всех случаях добавляется вода в количестве 6—15%.

Подготовка вагранки к плавке заключается в проверке исправности всех узлов и систем, обеспечивающих ее эксплуатацию. Особое внимание при этом нужно обращать на прочность крепления и исправность днища вагранки, фурм, устройств для набора, взвешивания и загрузки шихты. В вагранках с очисткой газов, подогревом дутья и использованием природного газа необходимо проверять плотность фланцевых соединений смотровых люков, задвижек, шиберов, предохранительных и взрывных клапанов в системе газоочистки и трубопроводах природного газа, воды и воздуха. При подготовке вагранки закрытого типа к плавке необходимо проверить исправность всех систем дистанционного и автоматического управления, приборов КИП и работу звуковой и световой аварийной сигнализации.

Розжиг кокса холостой колоши в открытых вагранках происходит за счет естественной тяги трубы. Загрузка кокса проводится частями в 2—3 приема. Разжигают холостую колошу чаще всего природным газом, а в случае его отсутствия — дровами. После загрузки первой порции кокса (35—50%) в отверстие рабочего окна вставляется предварительно зажженная переносная горелка для природного газа (типа ИГК-2-10). После того, как кокс у рабочего окна разгорелся, горелки поочередно переставляют в фурмы, следя за равномерностью розжига холостой колоши по сечению. После розжига первой порции загружают последующие части холостой колоши. Розжиг завершается продувкой холостой колоши и замером ее высоты. Уровень холостой колоши должен быть на 1200—1500 мм выше фурм независимо от диаметра вагранки и применяемого давления дутья. Розжиг продолжается 3—4 ч. В закрытых вагранках розжиг можно производить так же, как и в открытых, или же за счет принудительной тяги через систему газоочистки. В последнем случае появляется возможность в определенных пределах регулировать интенсивность розжига холостой колоши, создавая то или иное разрежение под колошником вагранки. В период розжига за счет принудительной тяги должны быть приняты все меры против образования взрывоопасной смеси газов с воздухом в системе газоочистки. В различных конструкциях эти меры обеспечиваются за счет надежной герметизации загрузочного отверстия или установки запальника для дожига образовавшейся смеси на входе в систему газоочистки. При принудительной тяге вся холостая колоша загружается в вагранку полностью до начала розжига. Период розжига может быть сокращен до 1,5—2 ч. Продувка холостой колоши и замер ее высоты, как правило, не проводятся.

Шихтовые материалы и массовая доля каждого из них, зависящая от требований к качеству чугуна и конструкции вагранки, приведены в табл. II.31.

Шихтовые материалы нужно хранить и складировать повагонно. К ним прилагаются сертификатные данные, подтвержденные анализом заводской лаборатории. Стальной и чугунный лом должны быть рассортированы по классам. Габаритные размеры материалов — не выше $1/3$ диаметра вагранки, масса — не более 35—40 кг. Масса металлической части колоши принимается равной $1/10$ — $1/12$ часовой производительности печи, а масса коксовой колоши — 8—14% от металлической. Загрузка первого столба шихты зачастую проводится с соблюдением следующих особенностей: в первых четырех-пяти колошах доля металлозавалки уменьшается на 20%, доля стального лома увеличивается в 1,5—2 раза, чтобы уменьшить пригар С; исключается применение для этих колош массивных кусков лома (боя изложниц). В пятую колошу загружается удвоенная порция топлива. Перед пуском дутья закрывают летки для металла и шлака или (при наличии сифонного металлоприсосника-шлакоотделителя), переход-

Составы шихты, применяемой при плавке в вагранке, %

Наименование шихтовых материалов, ГОСТ или ТУ	Отливки из чугуна марок до СЧ 18-36 с равномерной толщиной стенок		Отливки из чугуна марок СЧ 21-40 и выше с разными толщинами стенок, отливки из КЧ и ВЧШГ	
	I	II	I	II
Чугун литейный коксовый чушковый, ГОСТ 4832—72	20—30	—	30—40	10—30
Чугун передельный коксовый, ГОСТ 805—69	До 10	20—40	—	До 10
Лом чугунный и возврат собственного производства	25—40	20—40	20—40	20—50
Лом стальной кусковой или пакетированный	0—20	10—40	25—40	30—80
Брикеты из чугунной стружки	До 5	До 15	—	До 5
Брикеты из стальной стружки	—	» 10	—	» 5
Ферросилиций ФС-18, ГОСТ 1415—70	0—1	1—3	0—1	0—2
Ферромарганец доменный, ГОСТ 5165—49	0—1	0—1	0—1	0—1
Примечание. I — для вагранок с холодным дутьем без механизмов дозирования шихты; II — для вагранок с горячим дутьем и с механизированной дозировкой шихты.				

ный канал. Металлическая летка закрывается притычной глиной с бруском, из готовленным по размеру летки из боя стержней. Шлаковая летка заделывается горелой и наполнительной формовочной смесью. Переходный канал шлакоотделителя забивается на всю длину гарью или сухим кварцевым песком, а сверху притрамбовывается формовочной смесью. Расчет шихты производится с учетом угара элементов, указанного выше (см. стр. 163).

Дутье в вагранку подается сразу же после окончания завалки первого столба шихты. Если по каким-либо причинам пуск дутья задерживается, нужно принять меры к замедлению горения кокса холостой колошн. В вагранках с принудительной тягой для этого уменьшают разрежение на колошнике; в открытых вагранках закрывают гляделки на нескольких фурмах. Закрывать гляделки всех фурм до пуска дутья в вагранку категорически воспрещается из-за возможности образования взрывоопасной смеси в фурменной коробке и в воздухопроводе. В вагранках с дожигом газов, производимым в специальных камерах или топках, перед пуском дутья необходимо убедиться в том, что приняты необходимые меры для устойчивого горения ваграночных газов (включены запальники, созданы необходимые разрежение и температура в камере дожига). Давление дутья вначале рекомендуется устанавливать в размере 40—50% от оптимального. При правильном ведении розжига первые капли металла появляются у фурм через 15—20 мин; после этого давление дутья увеличивается до оптимального. Первый выпуск металла производят в зависимости от конструкции вагранки, емкости горна или копильника через 15—40 мин после появления первых капель у фурм. При выпуске первого металла через сифонный шлакоотделитель необходимо кратковременно уменьшать давление дутья в вагранке во избежание выброса металла из металлоприемника давлением газов.

Управление работой вагранки в период плавки заключается в обеспечении своевременного выпуска чугуна и шлака, нормальной работы всех механизмов и

**Неполадки при плавке в вагранках закрытого и открытого типов
и меры по их устранению**

Неполадки	Причины	Меры по устранению
В вагранке		
Низкая температура металла в начале плавки	Низкая начальная высота холостой колоши; мелкий кокс с малой механической прочностью; большое снижение высоты холостой колоши из-за длительного или интенсивного розжига	Дать одну или две удвоенные топливные колоши; уменьшить временно расход дутья (до подхода пересыпки к зоне плавления)
Снижение температуры выпускаемого металла	Снижение уровня зоны плавления и температуры подогрева дутья	Дать удвоенную топливную колошу; проверить правильность назначения и дозирования кокса и массы металлической колоши; принять меры к подъему температуры подогрева дутья
Прорыв металла через подину	Некачественная набивка подины; размыв подины водой, поступающей через неплотности водоохлаждаемых узлов вагранки; большое давление дутья в начале плавки	Прекратить подачу дутья в вагранку; выпустить из нее весь металл (до шлака); закрыть огнеупорной глиной (леточным составом) место прорыва; исключить попадание воды в вагранку
Замерзание металла в летке или переходном канале сифонного шлакоотделителя в начале плавки	Пониженная температура металла; плохая забивка летки или переходного канала (не на всю длину); недостаточная просушка переходного канала и шлакоотделителя; попадание куска кокса в переходной канал	Прекратить подачу дутья в вагранку; прожигать летку кислородом. При необходимости принять меры к повышению температуры металла
Прекращение стока металла через переходной канал сифонного шлакоотделителя	Резкое снижение температуры металла; попадание в переходной канал куска кокса, обгоревшего кирпича	Остановить дутье; выпустить металл из шлакоотделителя; прочистить ломиком или прожечь кислородом переходной канал или немедленно выбить вагранку; принять меры к повышению температуры металла
Подъем шлака в вагранке к фурмам и прекращение удаления его через сифонный шлакоотделитель	Недостаточное давление дутья в вагранке; несоблюдение размеров сифонного шлакоотделителя; попадание в переходной канал куска кокса	Поднять давление дутья до максимального. Прочистить летку «иглой», а если это не дает результата, прекратить подачу дутья в вагранку, выпустить металл через нижнюю летку; снизить металлический и шлаковый пороги

Неполадки	Причины	Меры по устранению
Верхнее зависание шихты Нижнее зависание шихты (зависание шихты на шлаковых настилах)	Применение крупной шихты; наличие выбоин и выступов в футеровке шахты вагранки Применение мелкого кокса с высоким содержанием золы либо некачественного флюса; обвалы футеровки из-за некачественного ремонта	Прекратить подачу дутья в вагранку. Соблюдая правила предосторожности, пробивать шихту через загрузочное окно или люки в шахте закрытых вагранок, предварительно выключив в них устройство, создающее разрежение в системе газоочистки, и открыв люки в верхней части шахты. После устранения зависания давать удвоенную топливную колошу Дать одну или две топливные колоши крупного кокса и легкоплавкого флюса и, если устранить зависание не удается, выбить вагранку во избежание образования «козла»
В системе газоочистки		
Не закрывается нижняя крышка шлюзовой камеры загрузки шихты закрытых вагранок Зависание шихты в бункере шлюзовой камеры Повышение давления в узле отбора газов в систему газоочистки выше заданного	Перегрузка шахты вагранки; верхнее зависание шихты Применение негабаритной шихты; большая масса колоши Забивка шламопроводов; прекращение слива воды от аппаратов газоочистки; засорение газохода ваграночных газов	Перевести управление крышкой в наладочный режим; попробовать закрыть крышку через 10—15 мин. Принять меры по устранению верхнего зависания Остановить дутье; выключить устройство, создающее разрежение в системе газоочистки; открыть верхнюю крышку шлюзовой камеры и закрепить ее; проветрить бункер и, соблюдая правила предосторожности, устранить зависание шихты; работы выполнять в противогазе с гопкалиновым патроном Прекратить подачу дутья в вагранку и подачу воды к аппаратам газоочистки; проверить слив шлама из аппаратов газоочистки и при необходимости прочистить шламопроводы

Неполадки	Причины	Меры по устранению
Увеличение температуры газов в системе газоочистки выше допустимой Разрушение или прогар взрывных клапанов в системе газоочистки	Понижение уровня шихты в вагранке; зависание шихты; отсутствие подачи воды в систему газоочистки Высокая температура ваграночных газов; взрыв в системе газоочистки	Снизить расход дутья; принять меры по загрузке шихты в вагранку; устранить зависание; проверить исправность системы подачи воды к аппаратам газоочистки; устранить замеченные неисправности; увеличить расход воды в газоочистке Прекратить подачу дутья и выключить устройства, создающие разрежение в системе газоочистки; отключить узел с вышедшим из строя клапаном от вагранки; открыть доступ ваграночных газов в атмосферу непосредственно из шахты вагранки; заменить вышедший из строя взрывной клапан; герметизировать систему газоочистки; включить систему отсоса ваграночных газов
В системе подачи и подогрева дутья		
Отсутствие разрежения в топке или камере дожигания рекуператора Превышение заданной температуры дыма на выходе из топки рекуператора Проскок пламени в горелку ваграночных газов	Засорение теплообменника пылью; неплотное закрытие люков и лазов рекуператора Повышенный расход кокса в вагранке, природного газа в рекуператоре или низкое качество кокса Малая скорость газовой смеси на выходе из горелки	Проверить герметичность дымового тракта рекуператора; уменьшить расход дымовых газов через рекуператор (снизить расход дутья или уменьшить расход природного газа) Уменьшить расход газа в топке рекуператора; увеличить подсос воздуха в топку рекуператора; принять меры к снижению расхода кокса Увеличить подачу воздуха в горелку и, если это не дает результата, прекратить подачу дутья в вагранку; дать смеси остыть

приборов, в изменении при необходимости режима плавки, в кратковременных остановках вагранки и устранении неполадок в ее работе (табл. II.32). Если заранее известно о необходимости остановки вагранки, то за 30—40 мин до этого необходимо загружать удвоенную топливную колошу. При непредвиденных остановках более чем на 15—20 мин удвоенную колошу нужно загружать сразу же после пуска вагранки. Время простоев вагранки не должно превышать 10 мин в первый час работы, 30 мин — во второй и третий часы работы, не более 1—1,5 ч во все последующее время работы.

Период окончания плавки начинается с прекращения загрузки шихты. По мере проплавания столба шихты следует снижать давление дутья в фурменной коробке, сохраняя постоянным его расход при уменьшающемся сопротивлении столба шихты. В вагранке закрытого типа уменьшают расход дутья с таким расчетом, чтобы температура газов на колошнике до полного проплавления шихты не превышала 700—800°С. В вагранке с горячим дутьем после прекращения подачи дутья в вагранку его нужно пропускать через рекуператор для охлаждения теплообменников еще в течение 30—40 мин. Перед выбивкой вагранки следует выпустить весь металл и шлак из нее и сифонного устройства, убедиться в отсутствии воды и влажного грунта под вагранкой. Разгерметизация вагранки и выключение запальника в камере дожигания закрытых вагранок производятся только после полной выбивки вагранки.

Специальные требования техники безопасности при ремонте и плавке заключаются в следующем. Работы внутри шахты вагранки, в рекуператоре и других узлах должны проводиться только после их проветривания и охлаждения до 30°С и в присутствии второго рабочего. Перед выполнением этих работ необходимо убедиться в отсутствии в этих узлах угарного газа. Рабочий, находящийся внутри узла, должен постоянно поддерживать связь с рабочим, находящимся снаружи. Удаление прогоревшей футеровки начинают сверху, новую футеровку выполняют в обратном порядке — снизу вверх.

Перед началом ремонтных работ необходимо убедиться в плотности закрытия задвижек, шиберов и затворов на трубопроводах воздуха, ваграночного и природного газа. В период розжига вагранки, завалки первого столба шихты и после прекращения подачи дутья запрещается находиться против открытых фурм. При прекращении подачи дутья фурмы должны быть открыты, закрываются они не раньше, чем через 30—40 с после возобновления подачи дутья. Прекращать подачу дутья следует шибером, расположенным на трубопроводе как можно ближе к фурменной коробке. В вагранках с сифонными шлакоотделителями запрещается наращивать металлические и шлаковые пороги в процессе плавки. В вагранках с герметичной загрузкой шихты запрещается производить какие-либо работы, связанные с нарушением герметичности в системе газоочистки, до полной остановки вагранки и устройств (дымососов, эжекторов), обеспечивающих разрежение в системе газоочистки. Аварийные работы на колошнике и у системы газоочистки разрешается проводить только в противогазе с голкалиновым патроном Н1 и в присутствии второго рабочего или мастера.

Целесообразно оснащение вагранок *системой автоматического управления* процессом плавки и контроля. Наличие устройств для подогрева дутья, очистки газов, водяного охлаждения, набора и массоизмерения шихты, выдачи металла, уборки отходов очень затрудняет обслуживание ваграночной установки при необходимости визуального наблюдения за работой всех систем и узлов вагранки и местного управления отдельными приводами и снижает надежность ее работы. Поэтому снабжение системой КИП и центральным пультом управления превращается из желательного элемента культуры производства в неперемное условие безаварийной работы вагранки. В этом случае решаются три основные задачи: управление тепловым режимом ваграночного процесса; управление процессом дозирования шихтовых материалов; управление электроприводами, локальными системами регулирования и контроль за параметрами процесса, обеспечивающими нормальный безаварийный режим работы установки.

Управление тепловым режимом ваграночного процесса заключается либо в поддержании заданных значений режимных параметров, таких, как расходы кокса и воздуха, температура подогрева дутья и др., либо в регулировании производительности или температуры металла по одному из параметров режима

плавки, либо, наконец, в поддержании в заданных пределах всех целевых переменных, таких, как производительность печи, температура металла, состав его и минимальная стоимость производства за счет отработки в счетно-решающем устройстве оптимальных значений режимных параметров и автоматического их поддержания.

Поддержание заданных с пульта управления или шкафов КИП параметров режима плавки осуществляется автономными локальными системами регулирования с помощью стандартных электронных регулирующих приборов с датчиками. Регулирование производительности вагранки и температуры металла по одному или двум параметрам режима плавки (например, по расходу и температуре дутья) осуществляется с помощью одно- или двухканального оптимизатора. Примерами таких систем являются одноконтурный, экстремальный регулятор или двухконтурный и двухканальный регулятор конструкции ИПЛ АН УССР.

Управление ваграночным процессом, обеспечивающее заданные значения всех целевых переменных, осуществляется с помощью специальных УВМ для автоматизации технологических процессов (АСУ ТП). Схема управления ваграночным процессом с помощью такой системы представлена на рис. II.11. В счетно-решающее устройство машины вводятся заданные целевые параметры и программа с данными по конструкции установки. Счетно-решающее устройство вырабатывает управляющие параметры ваграночного процесса и передает их для выполнения соответствующим автономным системам регулирования. Одновременно счетно-решающее устройство вырабатывает промежуточные переменные, служащие для контроля процесса плавки. Фактически достигнутые целевые и промежуточные параметры сопоставляются с заданными, и в случае рассогласования счетно-решающее устройство вводит необходимые коррективы в управляющие команды.

Система управления процессами дозирования шихтовых материалов обеспечивает точность состава колош и заданное соотношение металл—кокс и металл—флюсы. Добиться точного соответствия массы каждой составляющей шихты в колоше заданной дозе с помощью механизированных дозирующих установок не представляется возможным. Поэтому применяются различные автоматические системы для корректировки состава шихты. В одних случаях ошибка в массе каждой компоненты шихты в предыдущем взвешивании (перевес или недовес) учитывается в последующем взвешивании за счет изменения задаваемой дозы на величину ошибки предыдущего взвешивания. Дозы кокса, флюса и ферросплавов, задаваемые обычно в процентах от массы металлической колоши, можно с помощью автоматической системы регулировать в зависимости от фактически набранной массы металлической колоши. Применение для автоматизации ваграночного процесса быстродействующих счетно-решающих устройств позволяет предложить для обеспечения точности химического состава шихты и другой метод его корректировки: автоматическое устройство рассчитывает химический состав фактически набранной металлической колоши, срав-

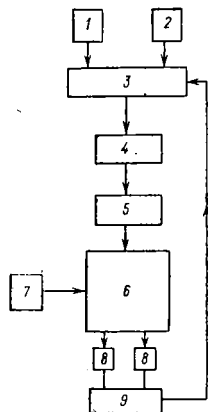


Рис. II.11. Схема автоматизации управления ваграночным процессом:

1 — целевые параметры: производительность, температура, химический состав чугуна; 2 — программа с данными по конструкции вагранки; 3 — управляющее вычислительное устройство; 4 — управляющие корректирующие команды; 5 — системы управления (с исполнительными механизмами); 6 — ваграночная установка; 7 — переменные нарушения: качества кокса, размеров кусков шихты и ее состава, влажности кокса, дутья и др.; 8 — датчики промежуточных переменных; 9 — основные и дополнительные промежуточные переменные: производительность вагранки, температура и химический состав чугуна, химический анализ ваграночных газов и шлака, температура ко-лошинкового газа

с помощью автоматической системы регулировать в зависимости от фактически набранной массы металлической колоши. Применение для автоматизации ваграночного процесса быстродействующих счетно-решающих устройств позволяет предложить для обеспечения точности химического состава шихты и другой метод его корректировки: автоматическое устройство рассчитывает химический состав фактически набранной металлической колоши, срав-

нивает его с заданным и рассчитывает дозы соответствующих ферросплавов, которые нужно добавить в металлическую колошу для доведения ее состава до заданного.

Система управления электроприводами, локальными системами регулирования и контроля за параметрами плавки включает в себя целый ряд подсистем управления отдельными узлами ваграночной установки.

3. ПЛАВКА В ГАЗОВЫХ ВАГРАНКАХ

Тепловые и металлургические процессы плавки

В газовых вагранках для получения максимальной температуры при стабильном протекании процесса необходимо качественное перемешивание газа и воздуха перед сжиганием и сжигание смеси с оптимальным коэффициентом расхода воздуха. При этом в зависимости от конструкции горелок изменяется относительная длина l_{ϕ} открытых факелов (отношение их длины к диаметру выходного отверстия сопла) для случаев смешения газа с воздухом: при двухпроводной газовой горелке внешнего смешения с рядом расположенными соплами $l_{\phi} = 114$; при двухпроводной газовой горелке внешнего смешения с концентрически расположенными соплами $l_{\phi} = 68,5$ (а при наличии завихрителя на пути воздуха $l_{\phi} = 19,4 \div 37,2$); при турбулентной газовой горелке (двухпроводной с внутренним перемешиванием) $l_{\phi} = 2,6 \div 10$; при газовой горелке с полным внутренним перемешиванием (с подачей готовой газозоудушной смеси) $l_{\phi} = 3,1$.

Наименьшую относительную длину имеет факел при предварительном перемешивании газа и воздуха. Наилучшее перемешивание достигается применением предварительного смешения многоструйного подвода газа в закрученный поток воздуха под максимально возможным углом встречи потоков.

При высокотемпературном сжигании газа максимальная температура в закрытом факеле t_{ϕ} достигается при коэффициенте расхода воздуха $\alpha < 1$.

Максимальная температура $t_{\max}$ зависит от температуры подогрева воздуха t_n [рис. 11.12 и формула (11.12)] и достигается при оптимальном коэффициенте расхода воздуха $\alpha_{\text{опт}}$ [формула (11.13)]:

$$t_{\max} = 1845 + 0,4t_n; \quad (11.12)$$

$$\alpha_{\text{опт}} = 1,557 - 0,00032t_{\max} = 0,966 - 0,000128t_n. \quad (11.13)$$

Рациональные конструкции горелочных систем для газовых вагранок представлены двумя типами: 1) многосопловая; 2) состоящая из отдельных горелок. В первой (рис. 11.13) имеются один общий смеситель 2 и коллектор 3 для распределения смеси по подводящим трубкам 4, через которые смесь подается

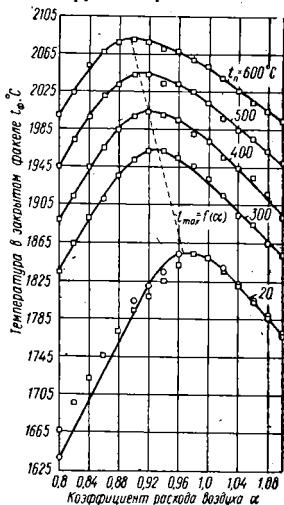


Рис. 11.12. Зависимость температуры в закрытом факеле от коэффициента расхода воздуха при различных температурах подогрева воздуха:

t_n — температура подогрева воздуха, °C; $\square$ — расчетная; $\circ$ — по замерам в высокотемпературной зоне закрытого факела

в сопла 11 для сжигания ее в туннелях 12, расположенных в газовой вагранке. Воздух подается по трубе 1, и в его поток в смесителе 5 поступают струи газа; затем смесь, закрученная завихрителем 6 в выходном патрубке, через конфузор 7 поступает к коллектору. На подводящих трубках установлены соединительная муфта 8, кран 9 и гляделка 10.

Однако эта горелочная система хорошо работает только при постоянном расходе газовоздушной смеси; при резком же его уменьшении, например при повышении сопротивления движению газов, когда скорость истечения газовоздушной смеси из сопла горелки меньше 20 м/с, в коллектор и смеситель может

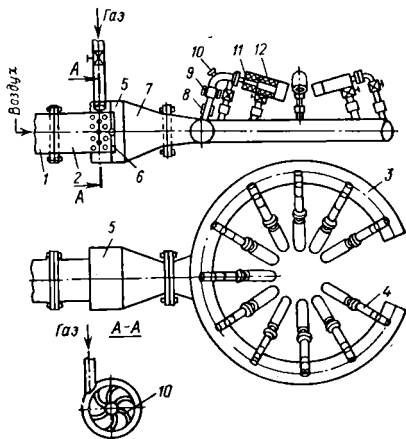


Рис. II.13. Многосопловая горелочная система газовой вагранки

проскочить пламя, т. е. может возникнуть «хлопок». Кроме того, большое количество сопел и туннелей усложняет ремонт футеровки в камере перегрева.

С учетом сказанного предпочтительнее применение отдельных горелок (рис. II.14), тем более, что по своим показателям они не уступают многосопловым системам. Горелка имеет смеситель 1, в торцевую часть которого входит распределитель газа 2. С помощью фланца 3 смеситель жестко соединяется со втулкой 4, в которую со стороны камеры сжигания вставляется хвостовик 5 с кольцевой проточкой со стороны смесителя и конусной поверхностью со стороны сопла 6. Литое чугунное сопло 6 имеет посадочную конусную часть, которой оно надевается на хвостовик 5, и продольный сужающийся канал 7 в виде незамкнутого кольца (или сочленения нескольких незамкнутых колец). В центре сопла — продольный сквозной цилиндрический канал 8. На боковой поверхности распределителя газа 2 выполнено большое количество отверстий малого диаметра для подачи углеводородов в смеситель 1, а на торцевой части — отверстия для подачи углеводородов в факел. В посадочную резьбовую часть распределителя газа 2 вставлена переходная трубка 9, на передний конец которой надевается сменное сопло 10, входящее в продольный сквозной канал 8.

В смеситель 1 по отдельным трубопроводам подаются воздух и газ. Образующаяся в результате интенсивного перемешивания газовоздушная смесь посту-

пает из смесителя в изогнутый канал 7 сопла, где поток газозвушной смеси стабилизируется. Выходя из сопла, газозвушная смесь воспламеняется и сгорает в виде фигурного пламени. Часть углеводородов из распределителя газов 2 по калиброванному отверстию в торцевой части попадает в переходную трубку 9 и далее в сопло 10, откуда поступает в продольный сквозной канал 8. Углеводороды отбирают тепло от корпуса сопла 6 и, выходя из канала 8, попадают

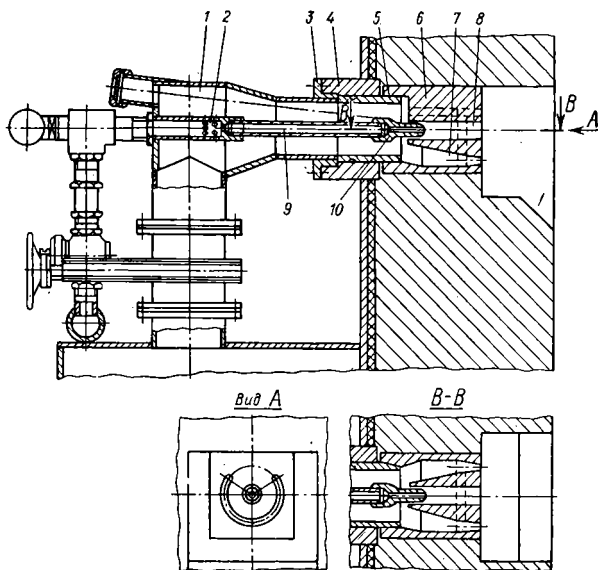


Рис. II.14. Газовая горелка с изогнутым щелевым отверстием сопла

в высокотемпературную вихревую область факела, где разлагаются на сажи-стый углерод и водород. Продукты разложения углеводородов увеличивают светимость факела, а следовательно, и его излучательную способность. Наличие сажи-стого С и H_2 в факеле снижает окислительную способность продуктов сгорания.

Изгиб щелевого отверстия сопла по дуге, являющейся частью окружности, способствует уменьшению длины факела по сравнению с прямолинейным отверстием, причем более благоприятные условия для уменьшения длины факела возникают, когда кромки щелевого отверстия являются полуокружностями.

Для определения основных параметров горелочной системы предлагается номограмма (рис. II.15), по которой можно определить: длину закрытого факела l_f в зависимости от диаметра (ширины) отверстия сопла горелки и скорости истечения газозвушной смеси из сопла горелки (рис. II.15, а); скорость v_0 выхода газозвушной смеси из сопла горелки в зависимости от диаметра D_0 или ширины b_0 отверстия сопла горелки с выделением области приближения к автомодельному режиму горения, включающей оптимальные скорости выхода

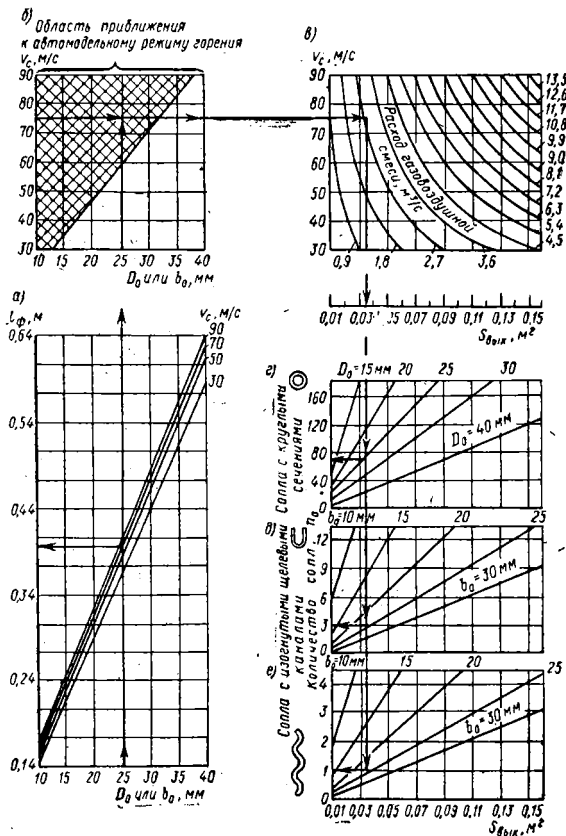


Рис. 11.15. Номограмма для определения основных параметров горелочной системы газовой вагранки

газовоздушной смеси из сопла горелки (рис. II.15, б); расход газовой смеси в зависимости от общей площади выходных сечений каналов сопла $S_{\text{вых}}$ и скорости выхода газовой смеси из сопла горелки (рис. II.15, в); количество круглых сопел в зависимости от диаметра и общей площади отверстий (рис. II.15, г); количество сопел с U-образными отверстиями в зависимости от ширины и общей площади их отверстий (рис. II.15, д); количество сопел с волнообразноизогнутыми отверстиями в зависимости от ширины и общей площади их отверстий (рис. II.15, е). Номограмма построена для условий сжигания «холодной» газовой смеси при $\alpha = 0,98$, критерии Рейнольдса $Re > 5500$ и теплотворной способности газа $Q_R = 8420$ ккал/м³ (35 300 кДж/м³).

Из номограммы следует, что при выборе горелочной системы с изогнутыми щелевыми отверстиями сопел количество сопел можно значительно сократить, а это, в свою очередь, свидетельствует о преимуществах горелок с изогнутыми щелевыми отверстиями сопел по сравнению с многосопловой горелочной системой с круглыми соплами. Воздух распределяется по горелкам достаточно равномерно и с малыми потерями кинетической энергии, если соблюдаются следующие соотношения площадей свободных сечений конструктивных элементов горелочной системы (рис. II.16):

$$\begin{aligned} f_{1г.с} &= (1,2 \div 1,6) f_{п.о.с}; \\ f_{2г.с} &= (1,2 \div 1,6)^2 f_{п.о.с}; \\ f_{3г.с} &= (1,2 \div 1,6)^3 f_{п.о.с}; \\ f_{4г.с} &\geq (1,2 \div 1,6)^4 0,5 \Sigma f_{п.о.с}. \end{aligned}$$

При этом должно сохраняться последовательное уменьшение площадей свободных сечений от воздушной коробки до отверстия сопла горелки

$f_{п.о.с}$, кроме смесительной камеры, площадь свободного сечения которой должна находиться в пределах $f_{с.к} = (1,2 \div 1,6) f_{3г.с}$, что способствует турбулизации потока в момент смешения воздуха с газом.

Равномерность распределения газа из газового коллектора по горелкам при прочих одинаковых условиях также обеспечивается последовательным уменьшением площадей свободных сечений газопроводов от коллектора к смесительным камерам:

$$f_{1г.с} \geq (1,2 \div 1,6) \Sigma f_{г.отв}; \quad f_{г.к} = (1,2 \div 1,6) 0,5 \Sigma f_{1г.с}.$$

Сопла с изгибом щелевого отверстия, равным 4 рад, позволяют создавать высокое тепловое напряжение объема закрытого факела и конструктивно просты. Поэтому эти сопла более приемлемы для горелочных систем газовых выгаров.

Из данных анализа продуктов сгорания и по измерениям температуры в камере перегрева при загруженной шахте и при различных значениях α , приведенных в табл. II.33, видно, что с увеличением коэффициента расхода воздуха возрастает содержание свободного кислорода в продуктах сгорания, что может привести к увеличению угара, и уменьшается содержание CO и H₂; содержание CO₂ при повышении α до 1 растет, а затем снижается. Однако следует отметить, что угар элементов возрастает и при $\alpha = \text{const}$, если увеличивается скорость выхода газовой смеси из сопла горелки в связи

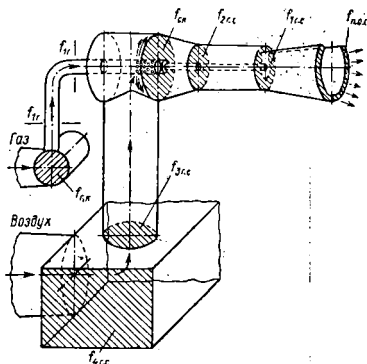


Рис. II.16. Аэродинамическая схема газовой горелки

Таблица 11.33

Состав и температура газов в камере перегрева газовой вагранки

Показатели	Коэффициент расхода воздуха α				
	0,95	0,98	1,00	1,02	1,05
Объемные доли сухих продуктов сгорания в камере перегрева, %:					
CO ₂	9,9	10,9	11,6	11,4	11,1
O ₂	Нет	Нет	0,1	0,5	1,2
H ₂	0,8	0,3	0,1	Нет	Нет
CO	1,6	0,6	0,1	0,1	Нет
Температура в камере перегрева, °C	1680	1700	1695	1690	1675

Таблица 11.34

Состав шихты и угар основных элементов при выплавке чугуна различных марок в газовой вагранке

Показатели	СЧ 15-32	СЧ 18-36	СЧ 21-40	СЧ 24-44
Составляющие шихты, %:				
чугун литейный	42	38	33	30
возврат	30	30	30	30
лом чугуновый	25	30	36	33
лом стальной	—	—	—	5
ферросилиций	3	2	—	—
доменный				
чугун зеркальный	—	—	1	2
Угар, %:				
C	12	11	9	8
Si	12	10	8	8
Mn	15	20	20	20

с некоторым повышением температуры в факеле и диссоциацией продуктов сгорания. При сжигании холодной газовой смеси с $\alpha = 0,98 + 1,0$ и при подаче 2—5% газа от его расхода на сжигание через третий (верхний) ряд многосопловой горелочной системы общий угар углерода в металле находится в пределах 5—12% при угаре кремния 8—12% и марганца 15—20% в зависимости от состава шихты и первоначального содержания элементов в шихте. В итоге газовые вагранки позволяют получать чугун с содержанием C в пределах 2,9—3,3%, что при условии оптимального сжигания газа достигается за счет обычной шихтовки. Для повышения содержания C в составе шихты следует применять переделные и литейные чугуны (ЛК-4, ЛК-5, ЛК-6 и ЛК-7), содержащие свыше 4% C. Содержание Si и Mn регулируется учетом угара этих элементов и добавлением низкопроцентных лигатур в шихту или высокопроцентных лигатур, ФС, ФМи на струю жидкого металла.

В общем расчет шихты производят аналогично плавке в коксовых вагранках, только с обязательным расчетом по углероду (табл. II.34). При этом следует особо подчеркнуть низкое содержание серы в металле при плавке в газовых вагранках (0,03—0,05%, а при использовании собственного возврата — 0,023—0,027%, что на 20—50% меньше, чем в исходной шихте).

Конструкции газовых вагранок

Наиболее работоспособными являются три типа газовых вагранок: с уступами в вертикальной шахте, с выносной камерой перегрева, с перемычкой в шахте и двойным проходом для газов (рис. II.17). Первый тип (рис. II.17, а) представляет собой шахтную печь с копильником. В шахте вагранки выложены два уступа: нижний 6 — для поддержания столба шихты и верхний 5 — для предотвращения проваливания шихты в нижнюю часть шахты. В верхней зоне производится расплавление шихты, а в нижней, называемой камерой перегрева, происходит перегрев металла. Оба уступа имеют водяное охлаждение. В нижней части камеры перегрева, на ее подине, выполняется углубление, которое во время плавки заполняется жидким металлом, в результате чего образуется бассейн. В футеровке над бассейном равномерно по периметру шахты располагается большое количество туннелей 1 для сжигания газа. Туннели представляют собой огнеупорные трубки, которые надеваются на горелочные сопла. Сопла жестко крепятся к кожуху и располагаются в один или два ряда. Количество сопел (и соответственно туннелей) выбирается из условия обеспечения необходимой производительности вагранки. К соплам подается газозоодушная смесь, приготовляемая в смесителях 3 горелочной системы 2 и 4. Выше горелочных туннелей в камере перегрева расположены сопла с туннелями, подводящие газ для подсвечивания продуктов сгорания сажистым углеродом, образующимся в результате термического разложения газа, что необходимо также для уменьшения окисления элементов металла продуктами сгорания.

Перед началом плавки за счет сжигания газа в горелочной системе футеровка в камере перегрева разогревается до 1600 °C; затем подается газ через верхний ряд сопел для подсвечивания продуктов сгорания. После полной регулировки температуры и состава печной атмосферы в шахту вагранки загружается шихта. Горячие газы, проходя между уступами в шахту, плавят металл, который в виде капель и струек стекает с подины нижнего уступа в бассейн; бассейн на подине камеры перегрева заполняется металлом; шлак также попадает в бассейн, но по поверхности металла непрерывно уходит в копильник. Капли и струйки металла, падая в виде «дождя» с уступа в бассейн, разбрызгивают находящийся там металл. На «кипящую» поверхность металла направлено большое количество факелов, создающих над поверхностью бассейна сплошной слой горячих газов, что обеспечивает высокий перегрев металла. Перегретый металл из бассейна непрерывно поступает в копильник, откуда он отбирается по мере необходимости.

Второй тип газовых вагранок (рис. II.17, б) характеризуется выносной камерой перегрева. Вагранка имеет шахту 1 и сдвинутую по отношению к оси шахты камеру перегрева 6, которая служит также копильником для жидкого металла. Подина 11 шахты выполнена с наклоном в сторону камеры перегрева. В месте сочленения с камерой перегрева расположен верхний уступ 2. Нижний уступ 5 выполнен в камере перегрева со стороны шахты. В нижней части камеры перегрева ее стенками и подиной образована ванна 10 для жидкого металла. Над ванной расположены горелки 7 с соплами и короткими туннелями. Горелочные туннели выполняются огнеупорной кладкой. Камера перегрева перекрывается сводом 4, образующим между камерой перегрева и шахтой проход 3 для газов. Для выпуска металла имеется летка 9, а для шлака — летка 8. Несмотря на конструктивное отличие, принцип действия этой вагранки в основном такой же, как и вагранки с уступами в шахте; однако эта конструкция более доступна для обслуживания и ремонта.

Третьей конструктивной разновидностью является газовая вагранка с перемычкой в шахте и двойным проходом для газов (рис. II.17, в). Она представ-

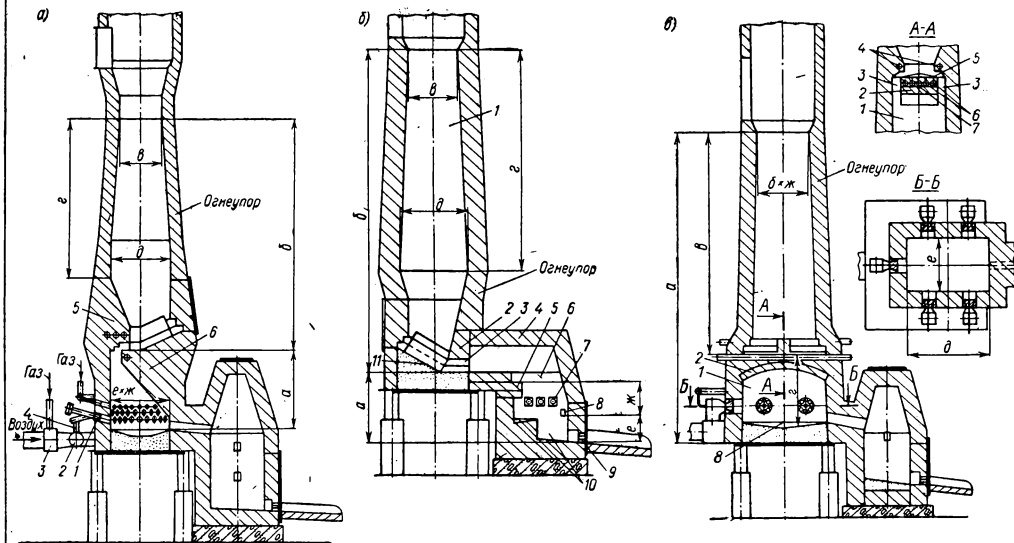


Рис. II.17. Типы газовых вагранок: а — с уступами в шахте; б — с выносной камерой перегрева; в — с перемычкой в шахте

ляет собой шахтную печь (с копильником или без него), обеспечивающую противоток газа и металла. В шахте выполнена водоохлаждаемая перемышка 7, образующая с двух сторон между стенками шахты проходы 3 для газов. Выше перемышки 7, над ее площадкой 5, шахта имеет водоохлаждаемые выступы футеровки 4, препятствующие попаданию твердой шихты в камеру перегрева 1. Ниже труб водяного охлаждения 6 перемышки выполнен свод 2 из высокоогнеупорных материалов. Камера перегрева 1 имеет на своей подине бассейн 8, который служит для перегрева жидкого металла. Над бассейном по периметру камеры перегрева расположены горелки для сжигания газа. Горячие газы, образующиеся в результате сжигания углеводородов в камере перегрева, поступают через проходы с двух сторон перемышки в шахту и плавят металлическую шихту. Жидкий металл стекает в виде капель и струек с площадок перемышки и, контактируя при падении с горячими газами и футеровкой, перегревается. Дальнейший перегрев металла осуществляется в бассейне на подине камеры перегрева, где в высокотемпературной зоне вагранки происходит интенсивное разбрызгивание металла. По мере поступления и накопления жидкий металл выдается в копильник или ковш через переходную лотку или шлакоотделительное устройство.

Исходя из конструктивных параметров и минимально возможной трудоемкости ремонта футеровки экспериментально установлено, что газовые вагранки производительностью от 1,5 до 5 т/ч рационально выполнять с выносной камерой перегрева (рис. II.17, а). Вагранки с уступами в шахте конструктивно выполнены для производительности от 3 до 7 т/ч (рис. II.17, б). Широкий диапазон производительности достигается в вагранках с перемышкой в шахте и двойным проходом для газов (рис. II.17, в). Соответствующие размеры вагранок представлены в табл. II.35.

Таблица II.35

Основные размеры газовых вагранок

Производительность, т/ч	Размеры, мм (см. рис. II.17)						
	а	б	в	г	д	е	ж
С выносной камерой перегрева							
1,5	1000	2500	600	1600	700	250	500
3	1250	3000	700	2100	800	250	750
5	1500	3500	900	2500	1000	250	1000
С уступами в шахте							
3	1800	3000	700	2100	800	1300	1300
5	1800	3500	900	2500	1000	1500	1500
7	1800	4000	1100	2580	1200	1700	1700
С перемышкой в шахте							
5	5500	715	3500	1600	1315	1120	700
7	6000	930	4000	1600	1630	1120	800
10	6500	1240	4500	1600	1940	1120	800
15	7000	1560	5000	1600	2260	1120	800
20	7500	1570	5500	1600	2270	1420	1100
25	8000	2040	6000	1600	2740	1420	1100
30	8500	2360	6500	1600	3060	1420	1100

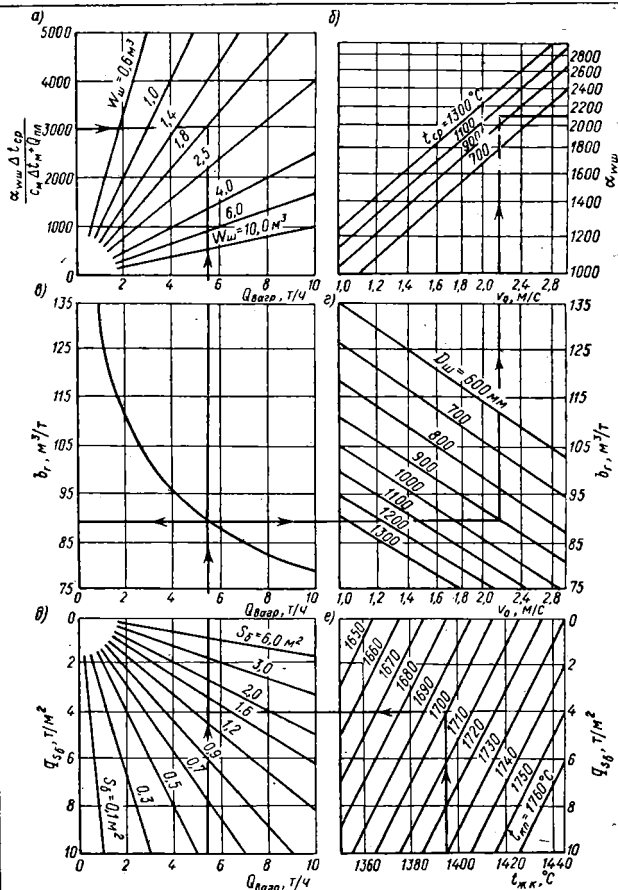


Рис. II.18. Номограмма для определения основных параметров газовых вагранок:

$Q_{газ}$ — производительность вагранки, $\tau/\text{ч}$; S_g — площадь бассейна для перегрева металла, м^2 ; $W_{ш}$ — объем шахты, м^3 ; α_{wb} — коэффициент теплопередачи; $D_{ш}$ — диаметр шахты, м ; t_{cp} — средняя температура газов, $^\circ\text{C}$; $t_{кп}$ — температура газов в камере перегрева, $^\circ\text{C}$; $t_{жк}$ — температура чугуна на желобе копыльника, $^\circ\text{C}$; q_{sg} — сьем металла с 1 м^2 площади бассейна, $\tau/\text{м}^2$; b_r — удельный расход газов, $\text{м}^3/\tau$; v_0 — скорость газов, м/с .

С целью определения площади бассейна для перегрева металла и объема шахты, т. е. ее размеров в зависимости от тепловых условий в газовой вагранке, разработана номограмма (рис. 11.18), включающая в себя шесть разделов (квадратов), каждый из которых взаимосвязывает три параметра. В квадрате *е* номограммы дана зависимость температуры металла от температуры газов и сьема металла с 1 м² площади бассейна: с увеличением сьема металла на 1 т/м² температура чугуна повышается на 5°С, а изменение температуры газов в камере перегрева вызывает примерно такое же изменение температуры металла (имеется в виду температура газов по показаниям термопары, расположенной на высоте 100—200 мм от поверхности бассейна). При сжигании газа в вагранке, конструкция которой обеспечивает тепловое напряжение $(3 \div 4) 10^6$ ккал/(м³·ч) $[(3,5 \div 4,7) 10^6$ Вт/м³] и пирометрический коэффициент $\eta_{\text{пир}} = 0,85$, как это имеет место в вагранке с уступами в шахте, температура газов зависит только от величины теоретической температуры горения, которая, в свою очередь, зависит от состава используемого газа и применения каких-либо методов интенсификации процесса, например подогрева воздуха или обогащения его кислородом (принято, что сжигание газа производится при оптимальных значениях α и скорости выхода газовой смеси из сопла горелки). В квадрате *д* дана зависимость площади бассейна для перегрева металла S_p и сьема металла с 1 м² площади бассейна от часовой производительности вагранки.

Квадраты *в* и *г* номограммы связывают производительность газовой вагранки и удельный расход газа со скоростью газов в шахте при определенном диаметре. Квадрат *г* по оси абсцисс имеет логарифмическую шкалу скорости газов в пересчете на свободное сечение шахты при 0°С (v_0 , м/с), которое определяется исходя из того, что 1 м³ газа при сжигании с $\alpha = 1$ дает 11,3 м³ продуктов сгорания. Потеря газов через шлаковую летку принята 10%, и количество продуктов сгорания, проходящее через шахту, поэтому будет равно (м³/ч)

$$W_r = 10,2 Q_{\text{вагр}} b_r \alpha, \quad (11.14)$$

где $Q_{\text{вагр}}$ — производительность вагранки, т/ч; b_r — удельный расход газа, м³/т. При делении W_r на площадь сечения шахты получается значение v_0 .

Квадрат *б* служит для определения коэффициента теплопередачи $\alpha_{\text{вш}}$ [ккал/(м²·ч·°С)] в зависимости от v_0 и средней температуры газов в шахте $t_{\text{ср}}$. Связь между этими тремя величинами определяется уравнением

$$\alpha_{\text{вш}} = 49 v_0^{0,85} t_{\text{ср}}^{0,45}. \quad (11.15)$$

Квадрат *а* предназначен для определения объема шахты $W_{\text{ш}}$ в зависимости от производительности вагранки и параметра

$$\frac{\alpha_{\text{вш}} \Delta t_{\text{ср}}}{c_m \Delta t_m + Q_{\text{пл}}},$$

где $\Delta t_{\text{ср}}$ — средний температурный напор, т. е. средняя разность температур газа и металла в шахте*, c_m — теплоемкость чугуна; $\Delta t_m = t'_m - t''_m$, т. е. разность между температурой металла, уходящего из зоны плавления, и температурой шихты, загружаемой в шахту.

По объему шахты, загружаемой шихтовыми материалами, могут быть найдены ее размеры. При этом форма горизонтальных сечений и профиль шахты выбираются исходя из оптимальных газодинамических условий.

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{(t'_r - t''_m) - (t'_r - t''_m)}{2,3 \lg \frac{t'_r - t'_m}{t''_r - t'_m}} \quad (t'_r \text{ и } t''_r - \text{температуры газов на входе в шахту}$$

и на выходе из шахты, °С).

Футеровка газовых вагранок

Вопрос об огнеупорности футеровки и ее выполнении является одним из важнейших для газовых вагранок, так как в них футеровка более сложна, чем в коксовых вагранках, и подвергается воздействию более высокой температуры в камере перегрева. В связи с этим для футеровки следует применять

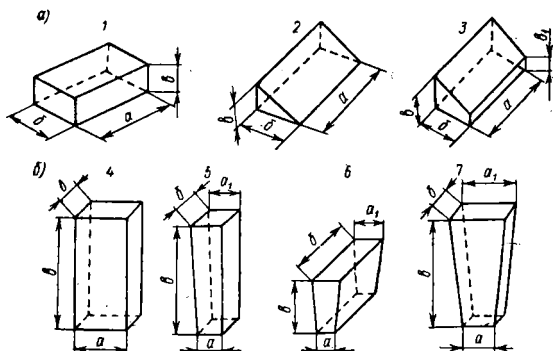


Рис. 11.19. Огнеупоры для вагранок: а — высокоглиноземистые блоки (1 — прямой; 2, 3 — клиновые); б — хромомagneзитовые кирпичи (4 — прямой; 5 — клин торцевой; 6 — клин ребровой; 7 — клин переходной)

более стойкие — высокоглиноземистые и хромомagneзитовые материалы (рис. 11.19, табл. 11.36 и 11.37), огнеупорность которых около 2000° С. Процесс в вагранках при таких огнеупорах должен быть основным.

Таблица 11.36

Характеристики высокоогнеупорных муллитовых изделий марки МЛЛД
(рис. 11.19, а) по ГОСТ 10381—75

Номер изделий	Тип	Размеры, мм				Объем, см ³	Масса, кг
		a	b	c	a ₁		
1	1	550	200	150	—	16 500	42
2		550	200	120	—	13 200	33
3		400	200	120	—	9 600	24
4		400	200	100	—	8 000	20
5	2	550	200	150	75	12 375	30
6		550	200	100	50	8 250	20
7		400	200	120	75	7 800	19
8		400	200	120	50	6 800	17
9	3	550	200	150	—	8 250	19
10		400	200	120	—	4 800	11

**Характеристики хромомagneзитовых кирпичей (рис. II.19, б)
по ГОСТ 5381—72**

Марка	Тип	Размеры, мм				Объем, см ³	Масса, кг
		а	а ₁	б	в		
ХМ-1	4	115	—	65	230	1720	4,8
ХМ-2		150	—	65	300	2925	8,2
ХМ-3	5	45	65	115	230	1460	4,1
ХМ-4		55	65	115	230	1590	4,45
ХМ-5		60	65	115	230	1653	4,6
ХМ-6		62	70	120	200	1580	4,4
ХМ-7	6	45	65	230	115	1460	4,1
ХМ-8		55	65	230	115	1590	4,45
ХМ-9	7	70	115	65	230	1380	3,85
ХМ-10		93	115	65	230	1550	4,35

В качестве связующего используется раствор из высокоглиноземистого пластифицированного мертеля ВТ-1. При помощи крупных блоков удобно выполнять прямоугольные формы, большие своды и т. п., однако кладка неудобна в узких и закругленных местах. Некоторые затруднения при кладке в вагранках вызывает также масса изделий, доходящая до 40 кг. Семилюкским огнеупорным заводом изготавливаются высокоглиноземистые кирпичи, по размерам аналогичные ваграночным, но объем их выпуска невелик, так что использование их в газовых вагранках в широких масштабах пока затруднительно. Цена всех видов огнеупорных высокоглиноземистых изделий в 3—4 раза выше, чем шамотных или хромомagneзитовых.

Можно выполнять также комбинированную футеровку — из нескольких видов огнеупорных материалов. Например, свод вагранки с выносной камерой перегрева можно делать из хромомagneзита, стены камеры — из высокоглиноземистых блоков, а площадку, по которой чугун стекает из шахты в камеру перегрева, целесообразно выполнить из графитошамотных плит.

Ремонт футеровки наиболее целесообразно производить методом торкретирования. Разработаны и проходят испытания конструкции торкрет-аппарата и составы торкрет-масс для ремонта футеровки газовых вагранок. Внедрение в производственную практику комбинированного метода выполнения футеровки и ее ремонта методом торкретирования позволяет значительно снизить соответствующие затраты. Перспективной является также монолитная футеровка из высокоглиноземистого цемента.

Технология плавки в газовых вагранках

Подготовка к плавке, как и в коксовых вагранках, состоит в ремонте футеровки, набивке подины, заправке леток, ремонте желобов, осмотре и, если необходимо, ремонте вспомогательного оборудования. Ремонт футеровки является при этом обычно наиболее трудоемким процессом; степень его сложности зависит от характера и объема разгара. Футеровка больше всего оплавляется в камере перегрева, в районе прохода между стенкой шахты и нижним уступом и между уступами, где она выгорает очень быстро, и уже через 1,5—2 ч на трубах водяного охлаждения остается лишь слой гарниссажа. Характер ремонта и его периодичность зависят, конечно, от продолжительности и режима плавки, качества и вида применяемых огнеупорных материалов.

Текущий ремонт производится после каждой плавки. Он включает в себя осмотр и ремонт футеровки нижней части камеры перегрева, вскрытие ремонтного окна и осмотр зоны плавления, осмотр и зачистку футеровки копильника, очистку от шлака и осмотр переходной летки. При осмотре футеровки в камере перегрева особое внимание следует обратить на состояние нижнего уступа и, в частности, на целостность трубы водяного охлаждения (на трубе должен быть толстый гарниссаж). Особенно ответственны места сочленения туннелей горелок с шахтой. При сильном оплавлении футеровки в этом месте необходимо заменить кладку, так как в противном случае при работе вагранки может прогореть кожу.

Вскрытие верхнего ремонтного окна производится с целью осмотра труб водяного охлаждения и состояния футеровки в зоне плавления. Если на подине нижнего уступа остались настель или отдельные нерасплавившиеся куски шихты, их необходимо удалить. При незначительной длительности плавки (до 5 ч) вскрытие верхнего окна можно не производить и текущий ремонт ограничивать осмотром футеровки в камере перегрева и шахты (осмотр шахты в этом случае производится через завалочное окно) и очисткой от шлака переходной летки и копильника с последующим его закрытием.

Обычная длительность плавки на газовых вагранках — в пределах 10—16 ч. На Гомельском заводе сантехоборудования такие вагранки работают по две смены подряд, а в течение следующего дня их вновь подготавливают к плавке. В этом случае текущий ремонт включает ремонт футеровки в нижней части камеры перегрева и вскрытие верхнего ремонтного окна для осмотра и зачистки зоны плавления.

Перед каждой плавкой обязательно производится набивка подины камеры перегрева, заправка чугуном и шлаковой леток копильника и ремонт желобов для выпуска чугуна и шлака. Набивка подины камеры перегрева является одной из наиболее ответственных операций при подготовке вагранки к плавке, так как от правильности выполнения этой операции зависят температура металла и безаварийная работа вагранки. Бассейн для перегрева металла образуется путем выполнения подины с уклоном в сторону, противоположную переходной летке, или сферической, вогнутой формы. Контроль размеров бассейна при набивке подины осуществляется шаблонами с уровнями. Для набивки подины можно применять свежую формовочную смесь или смесь с некоторой добавкой горелой земли (с целью облегчения набивки). По краям подины у стенок шахты должен выполняться плавный переход в виде галтелей, что уменьшает опасность прорыва между стенкой и подиной. Между увлажненными слоями смеси необходимо прокладывать слой сухого песка или горелой земли. Операции заправки чугуном и шлаковой леток выполняются так же, как и в обычных коксовых вагранках.

Средний ремонт производится через 3—15 плавки в зависимости от их длительности. Он включает в себя все операции текущего ремонта и, кроме того, обновление одного слоя футеровки в камере перегрева, ремонт кладки в поднутренних переходной летки и туннеля в полукольцевом внутреннем поясе, а также футеровку или обмазку вокруг труб водяного охлаждения.

При проведении среднего ремонта особое внимание следует уделить правильности кладки туннелей и района между уступами. От формы и размеров этих частей в значительной степени зависит работа вагранки. При кладке уступов и зоны плавления необходимо следить за точным соблюдением размеров и особое внимание уделять правильности кладки выходного отверстия между уступами. Выходное отверстие по размерам должно соответствовать чертежу. При этом обязательно наличие свободных полостей для выхода газов в поднутрение. Правильность их кладки может быть проверена шаблонами. С особой тщательностью следует производить операцию закладки или обмазки труб. Футеровка вокруг труб должна выполняться кирпичом или обмазкой. В некоторых случаях эти ремонты могут включать в себя также ремонт или замену одного слоя футеровки верхней части шахты и копильника.

Капитальный ремонт, производимый 1—2 раза в год, включает в себя полную замену кладки вагранки и приуроченный к этому времени ремонт кожуха и вспомогательного оборудования.

Пуск газовой вагранки начинается с проверки исправности и работоспособности всего оборудования, т. е. воздуходувки, горелок, газопроводов и воздухопроводов, регулирующей и запорной арматуры, наличия воды для водяного охлаждения и напряжения на всех приборах системы автоматики. Особое внимание следует обратить на состояние газовых кранов: все краны должны быть закрыты, кроме крана продувочного газопровода («на свечу»). Нужно также закрыть шибер воздуходувки и открыть завадное отверстие шахты, которое обычно на время ремонта закрывается. Убедившись в полной исправности всего оборудования и готовности его к пуску, можно приступать к розжигу вагранки.

Система автоматики перед началом розжига должна быть выключена, регулирующие заслонки полностью закрыты, дистанционные датчики должны находиться в нулевом положении. Однако все приборы должны быть включены, чтобы осуществить одновременный пуск всех приборов включением общего питания щита. Управление пуском и ходом плавки осуществляется при помощи системы кранов и задвижек на газовой сети и системы шиберов на воздушной сети. Пуск вагранки осуществляется без участия системы автоматики, поскольку автоматическое регулирование на малых расходах неустойчиво.

Розжиг газовой вагранки производят в следующем порядке: открывают подачу воды в трубы водяного охлаждения и убеждаются, что вода свободно протекает через систему; осматривают водяную систему и убеждаются в отсутствии утечки воды в трубах; подготавливают факел из промасленной ветоши для розжига; открывают задвижку на газорегулировочном пункте цеха, предварительно убедившись по манометрам в наличии газа; открывают клапан блокировки газа с воздухом, задвижку на газопроводе после клапана и затем — задвижку до клапана; в течение 2—3 мин продувают газопровод, а потом закрывают кран «на свечу»; включают воздуходувку, открывают шибер и в течение 2—3 мин продувают шахту вагранки во избежание скопления газа в шахте при его утечке; выключают воздуходувку и закрывают шибер; убеждаются в отсутствии утечки газа в кранах, задвижках и соединениях (работать при утечке газа категорически запрещается; поэтому проверку утечки газа нужно производить обмыливанием опасных мест или «на запах», так как проверить утечку огнем запрещается).

После этого следует убедиться, что кран на газопроводе перед горелкой (горелками) и запальником закрыт; отвинтить и снять крышку с глазка для розжига горелки или запальника, ввести в отверстие зажженный факел и поднести его к запальному устройству, открыть медленно наполовину кран подачи газа в запальник. Необходимо убедиться, что газ в запальнике загорелся, и только после этого можно вынуть факел (в случае потухания запальника следует немедленно прекратить подачу в него газа, затем включить воздуходувку и в течение 3—5 мин продуть шахту; только после продувки можно вновь приступить к розжигу). По истечении нескольких минут после розжига запальника надо медленно прибавлять подачу газа, открывая кран подачи газа в запальник, и закрыть глазок горелки крышкой. После устойчивого розжига запальника следует включить воздуходувку и немного открыть шибер подачи воздуха в воздухопровод и кран подачи воздуха в запальник, убедиться, что запальник горит устойчиво и воздух поступает к запальнику; затем открыть кран подачи газа в горелку, внимательно наблюдая за устойчивостью горения (при наличии красного пламени следует немного увеличить подачу воздуха, а при почти бесцветном пламени и холодных стенках туннеля следует немного увеличить подачу газа).

При стабильном горении с минимальной подачей газа и воздуха надо разогревать вагранку в течение 15—20 мин, пока кладка камеры перегрева не накалится до красно-белого цвета; затем, постепенно прибавляя газ и воздух, довести их подачу до требуемой величины.

При наличии двух или более горелок после розжига одной горелки и достижения заданного режима горения в ней следует приступить таким же образом к розжигу следующих. Затем необходимо привести в рабочее положение клапаны блокировки газа с воздухом и перейти на автоматическое

регулирование подачи газа и воздуха, для чего нужно датчики расхода газа и соотношения газ—воздух поставить в рабочее положение, включить питание щита, а затем полностью открыть все краны подачи газа в горелки и воздушные шиберы на воздухоподводящей системе. В этом случае расходы газа и воздуха должны с помощью регулирующих заслонок автоматикой поддерживаться в заданных пределах. Весь разогрев вагранки производится в течение 30—40 мин, после чего начинают завалку шихты (если вагранка пускается после капитального ремонта или продолжительного простоя, то время медленного разогрева ее необходимо увеличить до 2—3 ч; при этом разогрев производится сначала при помощи запальника в течение 30—40 мин, а уже затем при включенной горелке с целью медленного прогрева футеровки и удаления влаги).

При обслуживании газовой вагранки во время работы, кроме обычных операций по завалке шихты, отбору жидкого металла, заливке проб и т. д., необходимо наблюдать: за давлением газа в газопроводе (оно должно быть в пределах 0,2—0,8 атн, иначе вагранку нужно немедленно остановить), за давлением воды в сети и ее температурой на выходе из системы водяного охлаждения (при резком падении давления воды или повышении температуры на выходе следует немедленно включить резервный насос или прекратить подачу газа и воздуха в вагранку), за расходом газа и воздуха по приборам автоматикой или по водяным манометрам, показывающим перепады давления на диафрагмах газа и воздуха (расход газа и воздуха, обеспечивающий нужную температуру металла и производительность вагранки, устанавливается по температуре в камере перегрева и анализу продуктов сгорания), за исправностью всех систем, обслуживающих вагранку (воздухопроводов, газопроводов, воздуходувок и т. д.).

Остановка газовой вагранки производится через час после окончания загрузки с целью обеспечения полного расплавления оставшейся шихты (в чем следует убедиться, посмотрев в глазок горелки). Затем прекращают подачу газа и воздуха путем закрытия кранов подачи газа в горелки и запальники и задвижки перед клапаном блокировки газа и воздуха. Далее открывают краны «на свечи» и через 5—10 мин после прекращения подачи газа выключают воздуходувку и закрывают главную отключающую задвижку на газорегуляторном пункте (если между главной отключающей задвижкой и клапаном имеется длинный участок газопровода, то его необходимо продуть, для чего клапан и задвижку перед ним открыть и через некоторое время вновь закрыть). После прекращения подачи газа и воздуха производят выбивку подины камеры перегрева и открытие дверки копильника.

Газовая вагранка должна быть немедленно остановлена в следующих случаях: при внезапном и полном прекращении подачи газа, а также при падении давления газа в газопроводе ниже 0,2 атн ($0,2 \cdot 10^5$ Па) и подъеме выше 0,8 атн ($0,8 \cdot 10^5$ Па); при выходе из строя воздуходувки, воздухопроводов, газопроводов; при погасании горелок; при внезапном прекращении подачи воды в охлаждающую систему; при пожаре вблизи вагранки или при угрозе пожара; при попадании газа в цех. Аварийную остановку газовой вагранки производят так же, как и обычную, но более энергично.

Преимущества плавки в газовых вагранках

Сравнение себестоимости жидкого чугуна при выплавке в коксовой и газовой вагранках приведено в табл. II.38, из которой видно, что экономия достигается за счет снижения затрат на топливо (более чем в 4 раза) и шихту.

Кроме того, использование природного газа при плавке чугуна в газовых вагранках резко снижает вредные выбросы (до 25 мг/м³ пыли и 0,01% CO) и содержание серы в чугуне — до 0,02—0,05%; отпадает необходимость в устройствах для дозирования, транспортировки и загрузки кокса. Вместе с тем затрудняется науглероживание чугуна, повышение его температуры и уменьшается стойкость футеровки.

Таблица 11.38

Сравнение затрат на выплавку жидкого чугуна
в коксовой (КВ) и газовой (ГВ) вагранках

Статья затрат	Затраты, руб/т	
	КВ	ГВ
Шихтовые материалы (без учета угара и потерь)	60,71	56,08
Топливо (технологическая энергия)	10,50	2,09
Материалы (кроме шихты)	0,56	0,74
Заработная плата	0,31	0,52
Амортизация оборудования	0,32	0,12
Ремонт оборудования	0,15	0,09
Итого	72,55	59,64

4. ПЛАВКА В КОКСОГАЗОВЫХ ВАГРАНКАХ

Совместное использование кокса и газа в так называемых коксогозовых вагранках дает возможность частично сочетать преимущества как коксовых, так и газовых вагранок, причем конструкция коксогозовой вагранки мало отличается от коксовой.

Представленная на рис. 11.20 вагранка имеет один ряд фурм, площадь которых составляет 8—10% от площади шахты. Дополнительно предусматриваются двухпроводные горелки с камерами для газовых туннелей и коллектор для подачи природного газа. Имеются две фурменные коробки для раздельной подачи воздуха в фурмы и газовые горелки. В обе фурменные коробки воздух может поступать как от одной, так и от двух воздуходувок, причем предпочтительнее первый вариант, так как упрощается схема автоматики безопасности, уменьшается расход электроэнергии и сокращается площадь, занятая воздуходувками.

В зависимости от диаметра шахты вагранки и высоты холостой колоши горелки размещаются на расстоянии 600—900 мм от оси фурм. Для обеспечения полного сгорания газа рекомендуются следующие размеры газовых туннелей: длина $L = 6D + 30$ мм; диаметр горелок $D = (2,0 \div 2,5) D_c$ (D_c — диаметр выходного сопла).

Установлено, что зависимость температуры перегрева и производительности вагранки от удельного расхода природного газа имеет экстремальный характер [17]. В зависимости от конструкции вагранки, используемой шихты и кокса, а также других факторов максимальные показатели достигаются при определенном удельном расходе газа, который должен быть установлен опытным путем. В большинстве случаев этот расход составляет 20—25 м³ на 1 т выплавляемого чугуна. При этом появляется возможность снижения расхода кокса на рабочие колоши на 25—35%, повышения производительности вагранки на 10% и сохранения перегрева чугуна в тех же пределах, что и на коксовой вагранке до перевода ее на коксогозовую.

При расходе природного газа 25 м³ на 1 т чугуна и коэффициенте избытка воздуха $\alpha \approx 1,2$ продукты горения на выходе из газовых туннелей в шахту вагранки имеют следующий примерный состав, %: $\text{CO}_2 = 9,5$; $\text{O}_2 = 3,7$; $\text{CO} = 0,06$; $\text{H}_2 = 0$; $\text{CH}_4 = 0$; $\text{N}_2 = 86,74$. Содержание H_2O в продуктах горения газа составляет 15—20%. В результате взаимодействия продуктов горения газа

с коксом, а также с продуктами горения кокса в верхней зоне холодной колоши суммарный состав ваграночных газов получается следующий, %: $\text{CO}_2 = 7 \div 10$; $\text{CO} = 14 \div 20$; $\text{H}_2 = 2 \div 4$. Максимальная температура продуктов горения газа на выходе из туннелей в шахту вагранки равна 1480°C при работе на холодном дутье и 1550°C при подогреве дутья до 500°C . Температура газов

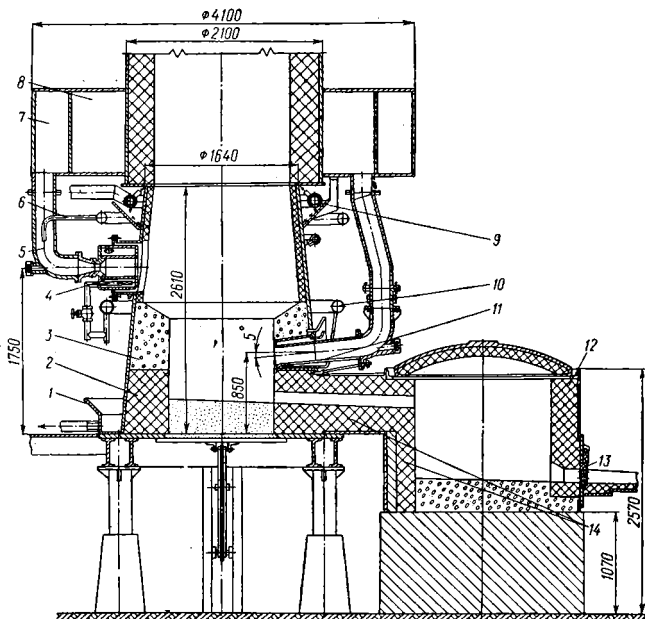


Рис. 11.20. Коксогозовая вагранка производительностью 15 т/ч:

1 — водосборник; 2 — шамотная кирпичная футеровка; 3 — набивная шамотная масса; 4 — водоохлаждаемый горелочный туннель; 5 — газовая горелка; 6 — коллектор для подачи природного газа; 7 — воздушный коллектор для горелок; 8 — воздушный коллектор для фур; 9 — коллектор с направляющей воронкой для охлаждения водой плавильного пояса; 10 — коллектор для охлаждения водой фур и горелочных туннелей; 11 — медная водоохлаждаемая фурма; 12 — стационарный копыльник; 13 — быстростенное леточное устройство; 14 — высокоглиноземистые огнеупоры

на уровне загрузочного окна повышается на $100\text{—}150^\circ$ по сравнению с температурой в обычных коксовых вагранках.

Благодаря уменьшению расхода кокса в коксогозовых вагранках содержание серы в чугуне уменьшается на $0,02\text{—}0,03\%$. Содержание углерода, кремния, марганца находится практически на том же уровне, что и при плавке в коксовых вагранках; не изменяется также перегрев чугуна при поддержании оптимального режима плавки.

Некоторое повышение содержания водорода в ваграночных газах приводит к повышению его содержания в чугуне. Однако, если его количество в газах

не превышает 3—4%, то по хорошо проверенным данным [22] это не оказывает влияния на качество чугуна. Таким образом, основными преимуществами коксогозовых вагранок являются экономия кокса, снижение себестоимости жидкого чугуна и повышение удельной производительности вагранки. Работы по переоборудованию вагранок на коксогозовое топливо относительно невелики, и затраты окупятся в течение 2—5 мес в зависимости от объема производства. В табл. II.39 [22] представлены технико-экономические показатели плавки в коксовых и коксогозовых вагранках при холодном и горячем дутье.

Таблица II.39

Технико-экономические показатели плавки в коксовых и коксогозовых вагранках

Вагранка	Дутье	Производительность, т/ч	Расход кокса, %	Расход воздуха, м³/ч, на сжигание		Расход на 1 т чугуна газа, м³		Стоимость на 1 т чугуна, руб.			Экономия, руб./т
				кокса	газа	для вагранки	для воздухоподогревателя	кокса	газа	всего	
Коксовая	Холодное	10,0	15,0	10 000	—	—	—	8,2	—	8,2	2,49
	Горячее (500 °С) *	10,0	10,0	7 000	—	—	12,5	5,45	0,26	5,71	
Коксогозовая	Холодное	10,0	10,0	5 500	2500	25,0	—	5,45	0,52	5,97	2,23
	Горячее (300 °С) **	15,0	8,5	10 000	2500	25,0	—	4,65	0,52	5,17	3,03
	Горячее (500 °С) *	10,0	7,5	4 500	2500	25,0	12,5	4,10	0,78	4,88	3,32

* Подогревается за счет природного газа в выносном рекуператоре.

** Подогревается за счет теплоты отходящих ваграночных газов.

5. УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПЛАВОЧНОЙ КАМПАНИИ В ВАГРАНКАХ

Увеличение длительности плавочной кампании коксогозовых, а также коксовых вагранок без выбивки обеспечивает стабильность плавильного процесса, способствует снижению трудоемкости ремонтных работ и уменьшает расход кокса; появляется возможность ограничиться установкой в цехе одной вагранки вместо вдвоенных агрегатов, благодаря чему капитальные затраты и потребность производственной площади снижаются.

В литейных цехах отечественных заводов имеется опыт пяти-, шестидневной непрерывной плавочной кампании при выполнении ремонта вагранки в выходные дни [9, 18]. Имеются данные о зарубежной практике, где за счет совершенствования конструкции, стабилизации процесса и повышения надежности отдельных узлов вагранки непрерывная плавочная кампания в литейной доводится даже до пяти-шести недель, а при специальных конструкциях (вагранки с доменным профилем) * и больше. Естественно, что конструкции для

* Коксогозовая вагранка с доменным профилем производительностью 15 т/ч эффективно работает на московском заводе «Станколит».

тельно работающих вагранок и процессы плавки в них отличаются некоторыми особенностями, к числу которых прежде всего следует отнести водяное охлаждение плавильной зоны; обеспечивающее длительную работу на гарнисаже. Кроме того, обязательным является водяное охлаждение горновой зоны. Наиболее надежный и эффективный метод охлаждения — поливной. Необходимо также использование водоохлаждаемых медных фурм, а в коксогазовых вагранках — водоохлаждаемых газовых туннелей. Для вагранок производительностью 10—20 т/ч общий расход воды составляет 5—7 м³ на 1 т выплавляемого чугуна. Как правило, вода, нагретая до 45—60° С, охлаждается в градирне и затем подается вновь к вагранкам. Это позволяет работать с минимальной добавкой городской воды.

Футеровка вагранок должна быть выполнена из особо огнеупорного материала с повышенной стойкостью против химического и эрозийного воздействия металла и шлака. Это относится к участкам фурм и горна, а также к каналам, через которые протекают шлак и металл при выходе из горна. Усиленному износу может подвергаться также футеровка копильников на отдельных участках. В настоящее время промышленность СССР выпускает различные высокоглиноземистые огнеупорные изделия с повышенной плотностью, удовлетворяющие требованиям стойкости. Так, например, хорошо оправдали себя на московском заводе «Станколит» огнеупоры с содержанием $Al_2O_3 \geq 62\%$ (кирпич марки МЛО-62 по МРТУ 14-063—62 и блоки ДВ-5 по ГОСТ 10381—63), отличающиеся хорошими эксплуатационными свойствами при относительно невысокой стоимости. В зонах вагранки, где атмосфера восстановительная, может быть использован в качестве огнеупорного материала графит. Однако это оказывается экономически рентабельным лишь при весьма длительной многомесячной плавочной кампании. Обеспечение надежности работы возможно также путем установки двух вспомогательных копильников небольшой емкости (5—10% от часовой производительности вагранки), соединенных прямыми каналами с горном. При этом в промежуточный (компрессионный) копильник, находящийся под давлением, непрерывно стекают шлак и металл, причем с помощью сифонного устройства шлак непрерывно выдается на грануляцию, а чугун — в поворотный миксер. При наличии двух компрессионных копильников один из них является запасным, и он может быть введен в работу в случае выхода из строя основного копильника.

Особенности режима плавки в длительно работающих вагранках заключаются в том, что вагранки не работают в ночные смены, а в случае многодневной кампании — и в выходные дни. При этом обеспечивается «горячий» простой вагранок, для чего перед началом простоя полностью проплавляется вся шихта и непрерывно поддерживается определенный уровень раскаленной колостой колоши. С этой целью периодически загружается кокс для компенсации сгоревшего. Перед началом плавки холостая колоша доводится до необходимого уровня, продувается, и начинается загрузка шихты.

Во время «горячего» простоя принимаются необходимые меры для предотвращения зашлаковывания каналов, по которым выпускаются шлак и металл из горна. Кроме того, это время используется для замены или выполнения футеровки всех доступных для этого узлов, подвергающихся износу (летки, желоба и т. п.).

Следует также учесть, что при длительных плавочных кампаниях происходит усиленное спекание подины, и это может вызвать затруднения при выбивке вагранки. Во избежание спекания подины используют смесь следующего состава: сухой кварцевый песок — 85%, графит черный — 10%, коксик мелкий (3—5 мм) — 5%.

6. ПЛАВКА В ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧАХ

Конструкции индукционных печей

Основными типами индукционных печей (ИП) являются тигельные (ИЧТ — для плавки, ИЧТМ — для миксерования), каналные (ИЧКМ — для миксерования) и специальные печи (для особых случаев, например, печи для непрерывной плавки с горизонтальным расположением индуктора).

При плавке в ИЧТ садка шихты в огнеупорном тигле помещается в индуктор; протекающий в индукторе переменный ток возбуждает в садке вихревые токи, разогревающие и плавящие металл. Для плавки чугуна чаще всего применяются ИЧТ промышленной частоты (50—60 Гц), реже — повышенной частоты с частотными преобразователями (150—450 Гц) или с машинным генератором (1000—2000 Гц). При повышении частоты движение жидкого металла в тигле печи становится менее интенсивным, что позволяет увеличить удельную подводимую мощность и ускорить плавку; но это приводит к значительному усложнению и удорожанию электрооборудования печи и в то же время менее эффективно при выдержке и перегреве.

ИП промышленной частоты конструкции ВНИИЭТО (рис. 11.21) выпускаются типов ИЧТ и ИЧТМ; различие между ними заключается в мощностях трансформаторов (табл. 11.40, 11.41, 11.42).

В зависимости от условий эксплуатации предусмотрена различная комплектровка индукционных печей трансформаторами:

Печи, шт.	1	2	2	3	3
Трансформаторы, шт.	1	1	1	2	2
плавильные	—	—	1	—	1
мисерные	—	—	—	—	—

Электрическая схема печей (рис. 11.22) состоит из питающего трансформатора со ступенчатой вторичной обмоткой для понижения напряжения до требуемого уровня, систем контроля и управления элементами электросхемы, батареи конденсаторов, компенсирующих реактивную мощность индуктора. Как видно из табл. 11.40 и 11.41, расход электроэнергии как на плавку (620—485 кВт·ч/т), так и на перегрев на 100° (60—50 кВт·ч/т) понижается с увеличением емкости печи.

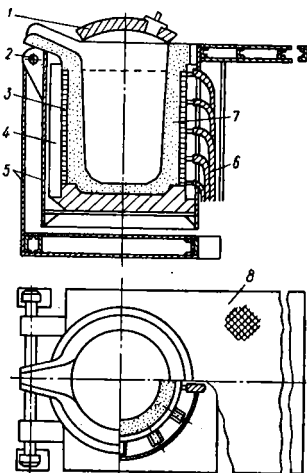


Рис. 11.21. Схема индукционной печи типа ИЧТ:

1 — крышка; 2 — узел поворота; 3 — индуктор; 4 — магнитопровод; 5 — металлоконструкция; 6 — подводы водяного охлаждения; 7 — тигель; 8 — площадка

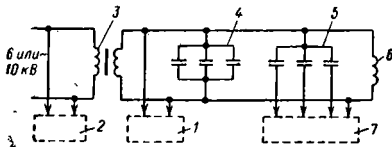


Рис. 11.22. Электрическая схема тигельной печи:

1, 2 — блоки контроля и управления высоковольтной и низковольтной частей печи; 3 — питающий трансформатор; 4 — постоянно включенная емкость; 5, 6, 7 — регулируемая емкость с блоком контроля и управления; 6 — индуктор печи

В процессе плавки при переключении ступеней, изменении количества или состояния металла в тигле, разгаре футеровки и т. п. происходит изме-

Таблица 11.40

Характеристика тигельных индукционных печей емкостью до 10 т

Параметры	Типы печей					
	ИЧТ-1/0,4С2	ИЧТ-2,5/1,0С4	ИЧТ-6,0/1,8С6	ИЧТ-6,0/1,6С7	ИЧТ-10,0/2,5С3	ИЧТ-10,0/2,5С4
Номинальная емкость, т	1	2,5	6	6	10	10
Номинальная мощность печного трансформатора, кВ·А	400	1000	1600	1600	2500	2500
Мощность, потребляе- мая установкой, кВт	370	910	1480	1480	2300	2300
Число фаз:						
питающей сети	1	1	3	1	3	1
контурной цепи	1	1	1	1	1	1
Частота тока, Гц	50					
Номинальное напряже- ние, В:						
питающей сети	6 000 или 10 000					
контурной цепи (ин- дуктора)	495	930	1000	1000	2075	2075
Коэффициент мощности:						
естественный	0,213	0,198	0,179	0,179	0,164	0,164
скомпенсированный	0,98					
Расчетная температура перегрева металла, °С	1400					
Производительность по плавлению и перегреву до 1400 °С, т/ч	0,6	1,7	2,7	2,7	4,4	4,4
Удельный расход элек- троэнергии на плавление и перегрев до 1400 °С, кВт·ч/т (3,6МДж/т)	630	550	546	546	522	522
Время плавления и пе- регрева до 1400 °С, ч	1,7	1,5	2,2	2,2	2,3	2,3
Мощность, потребляе- мая при выдержке ме- талла при 1400 °С (ориен- тировочно), кВт	55	70	150	150	200	200
Расход воды на охла- ждение, м³/ч	4,15	8,3	15,2	15,2	18,0	18,0
Общая масса электропе- чи с расплавленным ме- таллом, т	6,0	11,0	23,5	23,5	35,0	35,0
Общая площадь, зани- маемая установкой (ори- ентировочно), м²	50	70	120	100	160	130

Характеристика тигельных индукционных миксеров емкостью до 10 т

Параметры	Типы миксеров			
	ИЧТМ-1/0,18С2	ИЧТМ-2,5/0,4С2	ИЧТМ-6,0/0,4С3	ИЧТМ-10,0/1,0С2
Номинальная емкость, т	1	2,5	6	10
Номинальная мощность печного трансформатора, кВ·А	180	400	400	1 000
Мощность, потребляемая установкой, кВт	170	230	370	840
Число фаз:				
питающей сети	1	1	1	1
контурной цепи	1	1	1	1
Частота тока, Гц	50			
Номинальное напряжение, В:				
питающей сети	380	6 000 или 10 000		
контурной цепи (индуктора)	335	485	500	1 255
Коэффициент мощности:				
естественный	0,213	0,198	0,179	0,164
скомпенсированный	0,98			
Расчетная температура перегрева металла, °С, т/ч	1400			
Производительность по перегреву на 100° С, т/ч	2,8	4,2	6,0	17,6
Удельный расход электроэнергии при перегреве металла на 100° С, кВт·ч/т (3,6 МДж/т)	60	55	52	48
Время перегрева металла на 100° С, ч	0,35	0,6	1,0	0,6
Мощность, потребляемая при выдержке металла при 1400° С (ориентировочно), кВт	55	70	150	200
Расход воды на охлаждение, м³/ч	2,7	3,2	5,3	7,8
Общая масса электропечи с расплавленным металлом, т	6,0	11,0	23,5	35,0
Общая площадь, занимаемая установкой (ориентировочно), м²	40	50	80	110

**Основные технические параметры большегрузных
индукционных тигельных печей для плавки чугуна**

Параметры	Емкость, т			
	21,5	31	50	60
Номинальная мощность печного трансформатора, кВ·А	5 600	7 100	15 500	20 000
Напряжение питающей сети, кВ	6 или 10		35	35
Число фаз:				
питающей сети	3	3	1	1
контурной цепи	1	1	1	1
Рабочее напряжение, В	2 400			
Производительность по плавлению и перегреву до 1400° С (с учетом 25% вспомогательного времени), т/ч	11,3	14,2	26,3	33,6
Мощность реактивная, установленная, квар	33 000	46 000	93 000	120 000
Общая масса электропечи с расплавленным металлом, т	65	94	170	230

Таблица 11.43

**Размерный ряд индукционных канальных миксеров ИЧКМ
конструкции ВНИИЭТО**

Тип миксера *	Полезная емкость, т	Количество индукционных единиц (шт.) × общая потребляемая мощность (кВт) в исполнениях		Производительность (т/ч) при перегреве на 100° в исполнениях		Габаритные размеры: длина × ширина × высота печи, м
		М1	М2	М1	М2	
ИЧКМ-2,5	2,5	1×250	—	7	—	3,63×2,70×3,35
ИЧКМ-4	4	1×500	—	14	—	3,63×2,70×3,35
ИЧКМ-6	6	1×500	—	14	—	3,63×2,70×3,35
ИЧКМ-10	10	2×1000	1×500	30	14	5,38×3,60×4,89
ИЧКМ-16	16	2×1000	1×500	30	14	5,98×3,60×4,89
ИЧКМ-25	25	2×2000	1×1000	60	30	7,48×3,60×4,89
ИЧКМ-40	40	4×2000	2×1000	60	30	7,48×4,00×5,20
ИЧКМ-60	60	4×4000	2×2000	120	60	—
ИЧКМ-100	100	4×4000	2×2000	120	60	—
ИЧКМ-160	160	6×6000	3×3000	180	90	—
ИЧКМ-250	250	6×6000	3×3000	180	90	—

* Миксеры емкостью 60 т и выше подготавливаются к серийному производству.

нение индуктивности плавильного контура, что меняет электрический к. п. д. печи. В целях максимального повышения к. п. д. рекомендуется поддерживать $\cos \phi$ плавильной установки близким к 1, что практически достигается включением или выключением дополнительных емкостей конденсаторов (вручную или автоматически). Слив металла и скачивание шлака из печей производится при их наклоне в сторону сливного носка; для этой цели печи оборудованы гидравлическими домкратами.

ИЧКМ (рис. 11.23) по принципу действия основаны на использовании тока короткого замыкания; трансформатор индукционной единицы выполнен так, что петля жидкого металла является вторичной короткозамкнутой обмоткой, разогревающейся при пропускании тока. Во избежание разрыва цепи вторичной обмотки в печи постоянно должно находиться некоторое количество металла («болото»). Поскольку мощность индукционной единицы ограничивается огнеупорностью футеровки, приходится при увеличении емкости канальных печей устанавливать несколько таких единиц (табл. 11.43).

ИЧКМ более совершенны, чем ИЧТ: их к. п. д. равен 75% (у тигельных печей 50%), $\cos \phi$ выше в 3 раза; в связи с этим удельный расход электроэнергии в режиме перегрева составляет 24—50 кВт·ч/т по сравнению с 50—60 кВт·ч/т у тигельных. По этой же причине мощность конденсаторной батареи ИЧКМ в 3—4 раза меньше. С целью дальнейшего усовершенствования ИП разрабатываются их различные модификации: плавильные непрерывного действия с горизонтально расположенным индуктором (США, патент 3.483.301), канальные с индукционной единицей в виде небольшого тигля, тигельные в сочетании с дуговым подогревом шлака и т. п.; однако широкого промышленного распространения эти печи пока еще не получили.

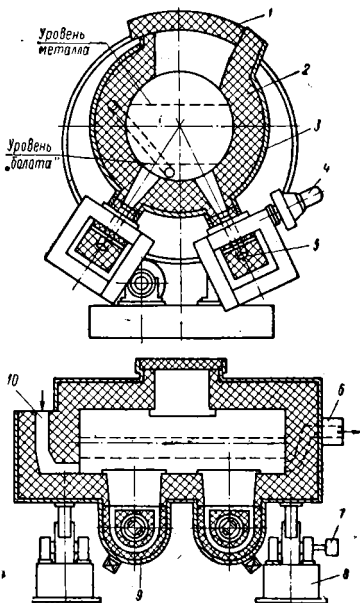


Рис. 11.23. Индукционный канальный миксер типа ИЧКМ для накопления и выдержки чугуна:

- 1 — крышка; 2 — футеровка; 3 — кожух; 4 — вентилятор; 5 — канал с жидким металлом; 6 — выпускная летка; 7 — механизм поворота печи; 8 — опора; 9 — съемная индукционная единица; 10 — летка для заливки чугуна

Футеровка индукционных печей

Футеровка ИП в значительной мере определяет надежность их работы и качество выплавляемого металла. Материал футеровки, наряду с огнеупорностью, должен быть устойчивым по отношению к химическому действию шлаков и размыванию потоками жидкого металла. В наибольшей степени таким

требованиям удовлетворяют: кислая футеровка — кварцитовая (96—99% SiO_2), из кварцевых песков (свыше 96% SiO_2), диносовая (свыше 93% SiO_2), шамотная (70% SiO_2 , 30% $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$); основная — магнезитовая (88—97% MgO), доломитовая (30—40% MgO , 46—53% CaO), магнезитохромитовая (60% MgO , 8—18% Cr_2O_3); нейтральная — силлиманитовая (45—70% Al_2O_3 , 40—20% SiO_2), муллитовая (70—93% Al_2O_3), корундовая (93—99,5% Al_2O_3), цирконовая (ZrO_2). Связующими чаще всего служат борная кислота (H_3BO_3) или борный ангидрид (B_2O_3), жидкое стекло ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), глина.

ИЧТ емкостью до 25 т футеруют, как правило, набивными спекаемыми массами; в печах большей емкости прилегающий к индуктору слой выполняют из огнеупорного кирпича, остальную часть — из набивной массы. Футеровка индукционных единиц ИЧКМ разрушается при эксплуатации интенсивнее, чем футеровка ванны печи, из-за более высокой (на 150—250°С) температуры; ее выполняют обычно из высокоглиноземистых масс с добавками различных связующих.

Для тигельных печей в отечественной практике чаще всего применяется кислая кварцевая или, как это впервые сделано на московском заводе «Водо-прибор», — нейтральная дистенсиллиманитовая футеровка на связующем из борной кислоты (табл. II.44).

Таблица II.44

Характеристика футеровок индукционных печей

Футеровка	Массовая доля составляющих, %				Огнеупорность, °С	Плотность в уплотненном состоянии, г/см ³	Пористость, %
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	Прочие			
Кислая кварцевая	98,5	0,4	0,2	0,9	1750	2,14—2,18	18—20
Нейтральная дистенсиллиманитовая	26,7	70,3	0,7	2,3	1790	2,80	22

Массовая доля борной кислоты рекомендуется различной: при кислой футеровке в донной части тигля — около 1,0%, в верхней части — около 2%; при нейтральной футеровке вследствие ее меньшей спекаемости доля борной кислоты повышается соответственно до 1,5 и 3%. Зерновой состав материала футеровки должен обеспечить наибольшую возможную плотность, при этом ее стойкость максимальна. Оптимальный зерновой состав кислой футеровки:

Фракция, мм	0,05—0,16	Св. 0,16 до 0,63	Св. 0,63 до 1,6
Количество, %	30	20	50

Основными компонентами высокоглиноземистой дистенсиллиманитовой футеровки являются корунд марки 94, 95 с размерами частиц 1—3 мм (40—50%) и дистенсиллиманитовый концентрат: с размером зерен 0,1—0,16 мм (40—50%) и пылевидный (10—15%). В качестве связующего применяется борная кислота (1,2—1,8%), иногда — жидкое стекло. Технология изготовления такой футеровки включает следующие операции: подготовку смеси, набивку и спекание. Подготовка смеси заключается в сушке, рассеве исходных материалов на фракции, дозировании и смешивании фракций. Связующее также просушивается, размалывается и просеивается. Перемешивание подготовленной смеси со связующим производится непосредственно перед набивкой.

Для набивки футеровки изготавливается шаблон из листовой малоуглеродистой стали ($\delta = 5$ мм); наружный профиль шаблона соответствует профиллю тигля

печи; в стенках шаблона в шахматном порядке на расстоянии 200×200 мм выполняются отверстия диаметром 5—6 мм. Набивка футеровки производится в зазоре между индуктором и шаблоном пневмотрамбовками, вибраторами направленного действия или вручную, слоями по 50—60 мм; перед засыпкой очередной порции смеси поверхность предыдущего слоя разрыхляется; сегрегация массы не допускается.

Спекание футеровки производится по определенному режиму: вначале до $t \approx 1300^\circ\text{C}$ за счет разогрева шаблона вихревыми токами при включении печи, (рис. П.24), а затем — залитым или наплавленным жидким металлом. Длительность эксплуатации футеровки составляет обычно один—три месяца, наибольший износ наблюдается в зоне зеркала жидкого металла от разъедающего действия шлака. При нейтральной футеровке практически отсутствует кремний-восстановительный процесс, что обеспечивает стабильность состава выплавляемого чугуна, в том числе и при низком содержании Si. Общий угар чугуна при этой футеровке на 25% ниже, а угар Mn и S — в 1,5 раза меньше, чем при кислой футеровке. Кроме того, футеровка характеризуется повышенными значениями прочности (примерно в два раза), огнеупорности (на 150°), термостойкости (в 1,5 раза), меньшим в 1,5—2 раза расходом РЗМ при модифицировании, пониженным износом и смачиваемостью, уменьшением количества шлака на 30%.



Рис. П.24. Режим спекания футеровки:

1 — нормальный режим (кислая футеровка); 2 — ускоренный режим (нейтральная футеровка)

Размещение индукционных печей и технология плавки

Установка ИП и организация работы в них должны обеспечивать максимальную производительность при наименьшей стоимости плавки, а также требования техники безопасности для установок с напряжением свыше 1000 В. Наиболее рационально двухэтажное расположение, при котором на первом этаже располагаются трансформаторы, конденсаторная батарея, шины и кабели, а на втором — оборудование контроля и управление. Гидравлическая насосная станция из соображений техники безопасности выносится за пределы участка печей.

Печи с печной площадкой чаще всего располагаются на высоте 1,5—3,0 м выше уровня пола цеха для удобной выдачи жидкого металла и скачивания шлака. У сливного желоба и под печами необходимо предусмотреть приямки для аварийного приема металла и шлака в случае разрушения тигля. Печи обычно выдвигаются на плавильный участок и могут обслуживаться кранами этого участка; электрооборудование размещается за пределами участка.

Загрузку печей можно производить различными способами; целесообразнее всего с помощью специализированных бадей, кубелей с раскрывающимся днищем и т. п. (рис. П.25). При небольших количествах выплавляемого металла транспортировка и загрузка шихты может производиться мостовыми кранами; при увеличенных количествах выплавляемого металла, когда встречные потоки недопустимы, загрузку печей лучше планировать независимой с помощью монорельсового или напольного транспорта. При этом мостовые краны плавильного участка должны быть рассчитаны на транспортировку печи в сборе с полным объемом металла в тигле.

Емкость печей, сменность, величина «болота» и продолжительность работы в течение дня, т. е. основные факторы организации производства, зависят от конкретных условий и существенно влияют на производительность и стоимость расплавления (рис. П.26). Однако при плавке синтетического чугуна производительность даже при оптимальных условиях составляет 0,7—0,8 от паспортной и соответственно больше расход электроэнергии.

В качестве *металлошихты* для индукционной плавки можно применять чушковые чугуны, стальной и чугуный лом, возврат собственного производства, стружку, ферросплавы. Особенностью индукционной плавки является возможность полноценного использования отходов металлообработки: тонколистовой высечки углеродистой, динамной и трансформаторной стали, чугуной и стальной стружки; в перспективе могут быть использованы металлизированные железорудные окатыши ($Fe > 90\%$, $FeO < 2\%$), которые, по данным [25], обеспечивают требуемое качество выплавляемого металла. Основными

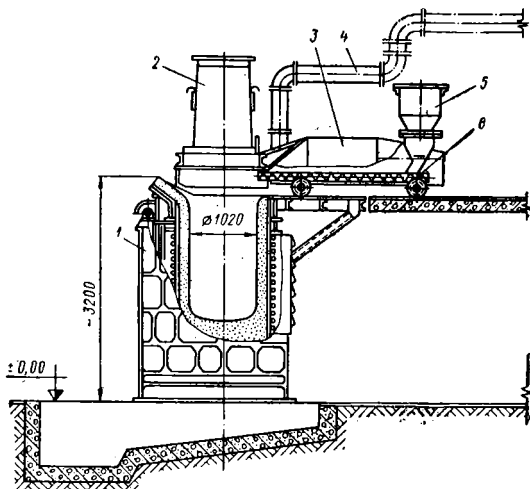


Рис. 11.25. Схема загрузочной тележки с системами отсоса отходящих газов и подачи карбюризатора конструкции московского завода «Водоприбор»:

1 — печь ИЧТ-6; 2 — бадья; 3 — загрузочная тележка; 4 — трубопроводы отсоса; 5 — бункер для карбюризатора; 6 — шнек

требованиями к *металлошихте* являются соответствие и стабильность химического состава и ограниченное содержание газо- и шлакообразующих примесей.

Подготовка металлошихты к плавке различается в зависимости от вида шихты. Кусковые шихтовые материалы необходимо подогревать до $50-60^\circ\text{C}$, в противном случае при погружении в жидкий металл на поверхности шихты образуется конденсационная влага и происходят взрывы с выбросами жидкого металла. При применении мелкой шихты это явление отсутствует. Подогрев кусковой шихты может быть различным: продувкой подогретым воздухом в сыпучих бункерах, в специальных бадьях горелками, в камерных печах горелками или индукционными токами. Высокотемпературный подогрев повышает термический к. п. д. плавильной печи за счет ускорения плавки (до 500°C — на $15-20\%$, до 800°C — на $20-30\%$).

Легковесовые тонколистовые материалы целесообразнее применять в пакованном виде; при этом в печи недопустим шлак, так как пакеты ошлаковываются и в таком виде их трудно погрузить в металл и расплавить.

Чугунная и стальная стружка должна быть очищена от масел, эмульсий и механических примесей. Удаление масел и эмульсий производится в два этапа: предварительный — в центрифугах или мойкой поверхностно-активными растворами при котором содержание масел снижается до 0,3—0,5%, и окончательный — в печах и устройствах для низкотемпературного обжига. Обезжиривание и очистка стружки от механических примесей весьма сложны, их целесообразно производить только в условиях централизованной подготовки шихты на предприятиях Вторчермета.

Для повышения содержания углерода в шихту добавляются науглероживающие добавки — карбюризаторы (табл. II.45). Усвоение углерода повышается с уменьшением размеров частиц карбюризатора в результате увеличения поверхности контакта с жидким металлом; чрезмерно мелкие частицы уносятся

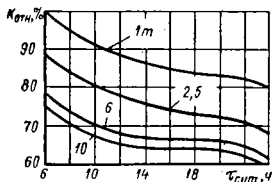


Рис. II.26. Относительная стоимость расплавления чугуна $K_{отн}$ в зависимости от продолжительности работы печи в сутки $\tau_{сут}$ при разных емкостях печей

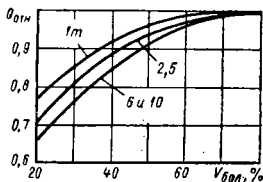


Рис. II.27. Зависимость относительной производительности печей $Q_{отн}$ от объема «болота» $V_{бол}$ при емкостях печей 1—10 т

конвективными потоками воздуха; оптимальный размер частиц — 3—5 мм. Время науглероживания разными карбюризаторами составляет 20—30 мин; поэтому процесс науглероживания совмещается с расплавлением шихты, для чего карбюризатор вводится под загружаемую шихту. В некоторых условиях

Таблица II.45

Карбюризаторы для науглероживания чугуна

Карбюризатор	Массовая доля примесей, %		Влажность, %	Усвоение углерода, %
	Летучие примеси	Зола		
Электродный бой	—	1—1,5	До 0,5	90—95
Электродный порошок	1—3	1—3	2—4	90—95
Графитированный коксик	До 1,0	8—10	3—5	80
Графит:				
черный	2—4	12—16	До 1,0	75
серебристый	1—2	6—10	» 1,0	75—80
тигельный (бой)	1—2	2—5	» 1,0	85—90
Древесный уголь	5—10	1—2	5—10	80
Кокс:				
литейный	2—4	10—15	4—6	70
металлургический	2—4	10—15	4—6	75
сланцевый	4—8	3—5	2—4	80
Термоантрацит	1—3	5—10	3—6	75—80
Уголь донецкий	20—30	15—20	3—6	60

целесообразны применение специальных науглероживающих брикетов, вдувание порошкообразного графита в расплав струей нейтрального газа. Загрузка шихты производится в определенной последовательности: карбюризатор, легковесная шихта, кусковая тяжеловесная шихта.

Процесс плавки состоит из нескольких этапов. В начальный период плавки, при отсутствии в цехе жидкого металла, производится наплавление его из твердой шихты. Этот процесс малопроизводителен; для его ускорения предварительно заготавливают специальный пусковой болван массой в $1/2$ — $2/3$ емкости печи, что позволяет наплавить тигель жидкого металла в течение 8—10 ч. В дальнейшем процессе плавки применяется режим плавки на «болоте», постоянно находящемся в тигле печи; при этом из полной печи выпускается $1/3$ — $1/4$ объема наплавленного чугуна с последующей добавкой такого же количества

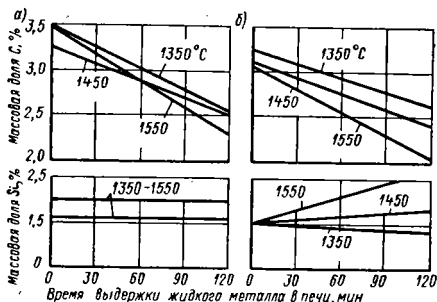


Рис. 11.28. Изменение содержания углерода и кремния во время выдержки чугуна при разных температурах перегрева: а — печи с нейтральной футеровкой; б — печи с кислой футеровкой

твердой шихты. Этот режим — растворение твердой шихты в жидкой ванне — является наиболее производительным и обеспечивает максимальную скорость плавки, так как при не заполненной жидким металлом печи мощность, потребляемая печью, существенно снижается (рис. 11.27). Изменение мощности, подводимой к печи, производится переключением на соответствующую ступень вторичной обмотки питающего трансформатора; при этом меняются напряжение и сила тока на индукторе печи.

Печи типа ИЧТ имеют девять ступеней напряжения вторичной обмотки (например, в печи ИЧТ-10 напряжение от 1175 до 391 В), из которых первые пять ступеней используются для плавки, остальные — для спекания тигля и миксерного режима выдержки жидкого металла. При включении печи происходит электродинамическое движение жидкого металла в тигле, тем большее, чем больше подводимая мощность. Перемешиванием обеспечивается выравнивание температуры в объеме печи, растворение частиц шихты и карбюризатора, дегазация расплава; при длительной выдержке (30—60 мин), особенно в сочетании с высокотемпературным нагревом и активным перемешиванием, содержание газов, главным образом углерода и водорода, начинает увеличиваться.

При плавке обычных чугунов можно пренебречь угаром Mn, Si и других компонентов ввиду их малой концентрации. Если концентрация их достигает более 1%, угар становится заметным (до 20—25%). Общий угар в режиме плавления зависит от степени окисленности шихты. При плавке на кусковой шихте он не превышает 3%, при выплавке синтетического чугуна из мелких отходов (стружки, высеки и т. д.) угар увеличивается до 6—7%. Основной угар эле-

ментов, в том числе и железа (до 80% от общего), имеет место в режиме плавки. В режиме выдержки при температурах более 1400—1450° С происходит восстановление и пригар кремния из кислой футеровки за счет углерода или железа:



При этом процесс протекает тем энергичнее, чем выше температура и содержание углерода и ниже содержание кремния. Науглероживание по этим причинам следует проводить до введения в расплав ферросилиция. Умеренное перемешивание расплава и выделение CO способствуют очищению чугуна от неметаллических включений и газов. Кремнийвосстановительная реакция при высокоглиноземистой футеровке не наблюдается.

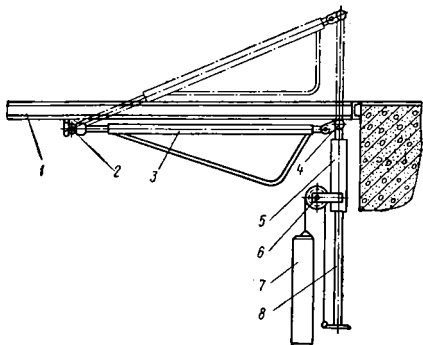


Рис. II.29. Выдвижное ограждение проема печи ИЧТ-6 конструкции завода «Водоприбор»:

1 — площадка печи; 2 — ушко; 3 — телескопическая тяга; 4 — выдвижные перила; 5 — кронштейн; 6 — блок; 7 — груз; 8 — штанга

При выдержке чугуна в жидком состоянии происходит некоторое изменение содержания основных элементов. Стабильность состава чугуна в процессе выдержки в значительной степени зависит от температуры жидкого металла и типа футеровки (рис. II.28).

Состав отходящих газов, выделяющихся при плавке, полностью зависит от состояния и способов введения шихтовых материалов: кусковая шихта, подогретая до 400—600° С, практически не образует вредных выделений; холодная и теплая выделяет газы от сгорания механических примесей. Наибольшее количество вредных выделений наблюдается при горении масел; например, при содержании масла в количестве 2% из 1 т шихты выделяется: 23—26 м³ газа, состоящего из CO₂ и CO; 1,0—3,0 кг сажи; 1,9—4,0 м³ формальдегида и альдегида уксусного в виде паров; 0,021 м³ H₂S.

Карбюризатор также является источником выделения пыли и газов. Часть карбюризатора — мелкая фракция размером до 1 мм — уносится восходящим потоком горячего воздуха; количество уносимого карбюризатора зависит от количества мелкой фракции и условий ввода карбюризатора и обычно составляет 5—25%. Состав газов, выделяющихся из карбюризатора, зависит от содержания влаги, летучих и механических примесей.

Удаление отходящих газов целесообразно осуществлять в момент загрузки шихты с использованием накатных или боковых систем отсосов, что в сочета-

нии с интенсивной вентиляцией плавильного участка (15—20-кратный обмен воздуха в час) обеспечивает нормальные условия труда в плавильном отделении. При работе на чистой шихте и механизированном введении карбуризатора в газы, отсасываемых от индукционных печей и выбрасываемых в атмосферу, содержится около 55 мг/м^3 пыли при допустимых разовых концентрациях $80\text{—}100 \text{ мг/м}^3$. Использование чистых исходных материалов при плавке в ИП исключает необходимость очистки отсасываемых газов.

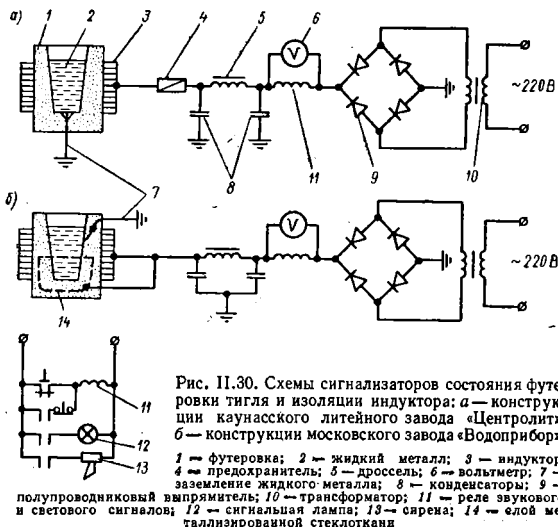


Рис. 11.30. Схемы сигнализаторов состояния футеровки тигля и изоляции индуктора: а — конструкции каунасского литейного завода «Центролит»; б — конструкции московского завода «Водоприбор»;

1 — футеровка; 2 — жидкий металл; 3 — индуктор; 4 — предохранитель; 5 — дроссель; 6 — вольтметр; 7 — заземление жидкого металла; 8 — конденсаторы; 9 — полупроводниковый выпрямитель; 10 — трансформатор; 11 — реле звукового и светового сигналов; 12 — сигнальная лампа; 13 — сирена; 14 — слой металлургической стеклоткани

Качество чугуна при плавке в ИП, как правило, выше, чем при плавке в вагранке, и соответствует показателям ГОСТ 1412—70 даже при более высоком содержании углерода; особенно это характерно для синтетического чугуна [20].

Микроструктура чугуна отличается большей, чем в ваграночных чугунах, склонностью к перлитизации, макроструктура — склонностью к образованию отбела; поэтому при выплавке чугуна высоких и средних марок модифицирование является обязательным. Восприимчивость к модифицированию у этих чугунов заметно выше в связи с низким содержанием в металле вредных контролируемых и неконтролируемых элементов и неметаллических включений. Содержание газов в чугунах индукционной плавки ниже и составляет $5\text{—}11 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ против $9\text{—}15 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ в чугунах ваграночной плавки с подогревом дутья и $20\text{—}28 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ при холодном дутье. Эти особенности учитываются при выборе химического состава чугуна разных марок: содержание кремния повышается для предупреждения отбела, а марганца — повышается в связи с низким содержанием серы [3; 16].

Техника безопасности при работе на индукционных печах должна соответствовать не только требованиям по технике безопасности в литейных цехах, но и требованиям по обслуживанию электроустановок с напряжением свыше 1000 В. Основные из этих требований следующие: печи и печная площадка

должны быть надежно ограждены по фронту отбора металла; при наклоне печи проем в печной площадке также должен ограждаться (рис. 11.29); тоководущие металлоконструкции печи, печная площадка и расплавленный металл должны быть надежно заземлены; печи необходимо оборудовать устройствами, отключающими их от сети при прекращении подачи воды, и аварийной системой охлаждения, включаемой при прекращении подачи воды в магистраль; во все периоды плавки, кроме загрузки, печи необходимо закрывать крышками; при необходимости обслуживания открытой печи ее устье должно быть надежно ограждено; не допускаются применение влажной шихты и загрузка в печь крупных холодных кусков; печи должны быть оборудованы системой сигнализации повреждения футеровки, отключающей при прорыве тигля металлом печь от напряжения; запрещается загрузка печей с принудительным уплотнением шихты в тигле.

Для ИП наиболее опасным являются разрушение тигля и прорыв металла; поэтому при плавке необходим постоянный контроль состояния футеровки, для чего чаще всего применяются специальные сигнализаторы (рис. 11.30), с помощью которых по показаниям величины напряжения можно определить износ футеровки и образование в ней трещин с проникновением металла. Можно также применять контроль состояния футеровки по изменению электротехнических характеристик печи, индуктивности, $\cos \varphi$ и т. п.; при тщательном изучении изменения характеристик печи с различным состоянием тигля этот метод может дать лучшие результаты.

Технико-экономические показатели плавки чугуна в индукционных печах

Экономическая эффективность индукционной плавки в литейных цехах определяется более низкой стоимостью металлической шихты, в которой дорогие чушковые чугуны заменяются ломом и ФС (табл. 11.46), и составляет около 3,5 руб/т.

При использовании динамной и трансформаторной стали с 2—4% Si себестоимость 1 т жидкого чугуна может быть снижена на 20—25 руб. по сравнению с плавкой в вагранках с холодным дутьем (табл. 11.47). Необходимо также учитывать более высокие физико-механические свойства чугуна при плавке

Таблица 11.46

Средняя стоимость 1 т металлической шихты
при ваграночной и индукционной плавке (по изменяющимся затратам)

Составляющие	Стоимость 1 т, руб.	Плавка в вагранках горячего дутья		Индукционная плавка	
		Количество на 1 т металло- завалки, т	Стоимость, руб.	Количество на 1 т металло- завалки, т	Стоимость, руб.
Чушковый чугун	68,0	0,35	23,80	—	—
Чугунный лом	56,5	0,20	11,30	0,42	23,70
Стальной лом	56,5	0,20	11,30	0,30	16,95
Возврат	38,5	0,25	9,53	0,25	9,53
ФС 18-процентный	75,0	—	—	0,03	2,25
Итого —		1,00	55,93	1,00	52,43

**Средняя цеховая себестоимость 1 т жидкого чугуна
при ваграночной и индукционной плавке
(по данным московского завода «Водоприбор»
при использовании динамной и трансформаторной стали)**

Статьи затрат	Затраты при плавке, руб./т жидкого металла	
	в вагранке холод- ного дутья	в индукционных печах
Шихтовые материалы	62,34	33,26
Флюсы и добавочные материалы (карбюризатор)	0,08	0,03
Огнеупорные материалы	0,20	0,93
Транспортно-заготовительные рас- ходы по покупным материалам	1,36	1,74
Зарплата с начислениями	1,93	1,15
Вода для охлаждения	0,70	1,38
Амортизация оборудования	0,43	2,47
Текущий ремонт оборудования	0,18	0,68
Энергетические затраты: электроэнергия	0,39	10,5
кокс	8,68	—
Итого на 1 т жидкого металла	76,29	52,14

в ИП, что позволяет получить чугун более высоких марок, до СЧ 40-60 без легирования и до СЧ 44-64 с легированием, и отливать детали с толщинами стенок на нижнем пределе допусков [16, 20].

Особенно существенна эффективность индукционной плавки в масштабах народного хозяйства с учетом изменения металлобаланса страны, металлургического передела исходных материалов, транспортно-заготовительных расходов, повышения эксплуатационных характеристик машин и изделий с литыми чугунными заготовками и т. п. Суммарная эффективность, по расчетам ЦНИИчермет [14], может достигать 40—80 руб. на 1 т отливок.

7. ПЛАВКА В ДУГОВЫХ ЭЛЕКТРОПЕЧАХ

Конструкции дуговых электропечей

Дуговая электропечь (ДЭП) прямого действия является плавильным агрегатом, в котором, как и в ИЧТ, можно получать самые разнообразные по составу чугуны. В ней можно создать в области электрических дуг высокие температуры, необходимые для восстановления окислов, расплавления тугоплавких металлов и отделения металла от тугоплавких шлаков. Преимущества ее по сравнению с ИП заключаются в высоком к. п. д. при расплавлении (80—85%); в возможности проведения металлургических процессов в восстановительной и нейтральной атмосферах, что часто необходимо для ВЧШГ; в осуществлении быстрого подъема температуры; в большей производительности (на 23—30%) и меньшей стоимости при одинаковой емкости. Недостатки: более низкий к. п. д. при перегреве (не более 20%); значительное выделение дыма и шум во время работы; большой угар; большая неравномерность температуры металла.

Характеристика дуговых электропечей

Параметры	Тип печи и ТУ				
	ДС-6Н1; 16.531.368—71	ДСП-6Н2; 16.531.295—70	ДСП-12Н2; 16.531.422—72	ДСП-25; 16.531.381—72	ДСП-50Н2; 16.531.421—72
Номинальная емкость, т	6	6	12	25	50
Мощность печного трансформатора, кВт·А	4 000+ +20%	4 000+ +20%	9 000	15 000	25 000
Высокое напряжение печного трансформатора, кВ	6 или 10	6 или 10	6 или 10	35	35
Низкое напряжение, В	116,5	116,5	115	126	131
Максимальный линейный ток, А	9 950	9 950	16 370	23 550	34 600
Диаметр кожуха (на уровне откосов), мм	3 020	3 350	4 260	4 700	5 800
Диаметр графитированного электрода, мм	300	300	350	400	500
Ход электрода, мм	1 800	2 000	2 250	2 500	3 500
Скорость перемещения электродов вверх, м/мин	2,5	5,0	5,0	3,5	3,5
Габаритные размеры (длина, ширина, высота), мм	5900× ×8000× ×7475	7460× ×7620× ×7425	8560× ×9460× ×11 200	9865× ×11 000× ×12 850	15 545× ×10 375× ×17 775
Масса металлоконструкций, т	49	50	90	168	276

Для выплавки металла с целью получения отливок из специальных легированных чугунов и ВЧШГ ДЭП является весьма выгодным плавильным агрегатом. В чугунолитейном производстве применяются ДЭП емкостью до 50 т (табл. 11.48). Они все больше используются в монопроцессах, но все же остаются в этом отношении от ИЧТ. За исключением печей модели ДС-6Н1, все они имеют прогрессивную систему подъема и поворота свода для открывания печей под загрузку через верх. Печь ДС-6Н1 выпускается с выкатной ванной в целях обеспечения возможности установки в одноэтажных литейных цехах. Все ДЭП имеют современную систему автоматического перемещения электродов; при этом у всех печей, кроме ДС-6Н1, эта система выполнена электрогидравлической. Печи емкостью более 25 т оборудуются устройствами для электромагнитного перемешивания металла и имеют механизмы вращения ванны. На всех печах применены усовершенствованные электродные уплотнения [12]. Удельный расход электроэнергии на расплавление твердой завадки в ДЭП составляет 400—500 при кислом процессе, при основном 450—600 кВт·ч/т, а на перегрев жидкого на 100°С расходуется 50—100 кВт·ч/т. При подогреве шихты до 650—700°С расход электроэнергии сокращается на 100—120 кВт·ч/т.

Применяется, как правило, кислая футеровка печей, так как при использовании сравнительно чистых материалов чаще всего нет нужды в основных печах. Устройство кислой футеровки показано на рис. 11.31, а материалы для футеровки приведены в табл. 11.49. Получены хорошие результаты при набивке откосов и подины, а также летки кислой печи, при применении состава по опыту Коломенского тепловозостроительного завода им. В. В. Куйбышева: песок формовочный люберецкий (ГОСТ 2138—56), сухой, просеянный через сито с ячейкой не более 2 мм, — 100%; едкий натр технический (ГОСТ 2263—71)

с $\gamma = 1,31$ г/см³ марок А или Б — 1%. Песок и едкий натр перемешиваются в бегунах в течение двух-трех минут, затем добавляется жидкое стекло натриевого марки А или Б (ГОСТ 13078—67) с $\gamma = 1,43—1,51$ г/см³ в количестве 5—6% и весь состав перемешивается в бегунах в течение 10—15 мин.

После окончания кладки стен, набивки подины и откосов печь накрывают сводом и приступают к сушке. Вначале, в течение 2—4 ч сушку ведут медленно на дровах, затем 4—6 ч — на коксе с применением сжатого воздуха, после чего начинается проварка подины и откосов электрическими дугами между электродами печи и положенными на подину кусками электродного боя. Проварка подины продолжается 6—12 ч (в зависимости от емкости печи) с периодиче-

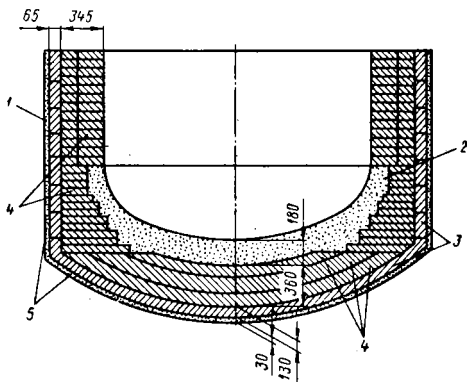


Рис. II.31. Схема кислой футеровки дуговой электропечи:

1 — асбест; 2 — набивной слой из кварцевого песка на жидком стекле; 3 — шамотный кирпич; 4 — динасовый кирпич; 5 — порошок шамота или диатомита

скими выключениями печи на 15—20 мин. Примерный режим проварки подины и откосов с помощью электрической дуги, проводимый в четыре этапа, приведен в табл. II.50.

При хорошей организации ремонта рабочего слоя подины ее стойкость практически не зависит от емкости печи. Подины ДЭП служат от одного капитального ремонта до другого, который чаще всего планируется в связи с необходимостью ремонта электрического и механического оборудования. Стойкость подины для кислых и основных печей, как правило, не лимитирует работу печи и на отечественных заводах обычно равна от 1500 до 5000 плавов. Стойкость стен и свода кислых печей 150—200 плавов, а основных — 100—150. Одним из важных моментов ухода за подиной и откосами являются тщательный осмотр их после выпуска плавки, очистка от остатков шлака и металла с последующей быстрой заправкой поврежденных участков футеровки. Заправку поврежденных мест производят смесью кварцевого песка с жидким стеклом (количество жидкого стекла 14% от массы песка). Смесью перед забрасыванием в печь тщательно перемешивают. Заброску заправочной смеси на подину и откосы у летки производят обычной лопатой, а на откосы со стороны рабочего окна — заправочной ложкой. При обнаружении ямы на подине главное внимание уделяют очистке ямы от металла и шлака и просушке ее песком. Просушенную яму заправляют песком или смесью песка с жидким стеклом. Перед загрузкой шихты заправленное место на подине прикрывают листовым

Огнеупорные материалы для футеровки печей

Элементы печи	Кислая печь	Основная печь
Свод	Динасовый фасонный или нормальный кирпич, ГОСТ 6024—51	
Арки	То же	
Стены	Динасовый фасонный или нормальный кирпич, ГОСТ 6024—51	Магнетитовый фасонный или нормальный кирпич, ГОСТ 4689—74
Столбики	То же	То же
Под	Кладка — динасовый кирпич, ГОСТ 6024—51. Подина — набивная из кварцевого песка на жидком стекле	Кладка — магнетитовый кирпич, ГОСТ 4689—74. Подина — набивная из магнетитового порошка МРТУ 14-06-19—62 на жидком стекле *
Теплоизоляция	Шамот, ГОСТ 6024—51, и асбест или диатомит	

* Смесь для набивки подины содержит 5—7% жидкого стекла, нагретого до 50—60° С. Арки выпускных окон (леток) выкладывают магнетитовым кирпичом (ГОСТ 4689—74). Магнетитовый порошок просеивают, отсеивая пыль и куски размером более 5—7 мм. На некоторых заводах получил распространение прогрессивный способ набивки подины ДЭП с основной футеровкой сухим магнетитовым порошком без связки. Максимальная плотность и минимальная усадка (до 1%) при набивке всухую подины из магнетитового порошка получаются при следующем соотношении размеров зерен: от 0,1 до 4 мм — 65—75%, менее 0,1 мм — 25—35%, в том числе менее 0,06 мм — 15%.

железом, чтобы предохранить его от повреждения. Заправка поврежденных мест подины и откосов основной печи производится сухим или смоченным жидким стеклом магнетитовым порошком, просеянным через сито с ячейкой размером 2 мм, слоями толщиной не более 10—12 мм. Период заправки и загрузки шихты должен быть минимальным по времени с целью сокращения тепловых потерь и обеспечения быстрого прогрева шихты.

Таблица 11.50

Режим проварки подины и откосов в ДЭП

Продолжительность этапа, ч	Мощность тока, кВт	Продолжительность, мин	
		нагрева	перерыва
1	200	10—15	15—20
2—3	250—300	15—20	15—20
1—2	350—400	10—15	10—15
1	400—500	5—10	5—10

Технология плавки в дуговых электропечах

Шихтовые материалы, применяемые для плавки, должны быть обязательно сухими и соответствовать требованиям действующих технических условий и ГОСТов. Требования к шихте определяются типом изготавливаемых отливок, т. е. чем выше марка выплаваемого чугуна, тем строже требования, в особенности для ВЧШГ. При плавке в кислых печах строго ограничивается содержание серы в шихте.

Для выплавки в кислой печи ВЧШГ, а также легированных чугунов с пластичными графитом рекомендуется применять рафинированный чугун (ТУ 14-15-5—74). В случае плавки ВЧШГ в кислой печи это позволяет получить содержание серы не более 0,008%, сократить продолжительность плавки на 50 мин и повысить производительность печи на 30—40% по сравнению с работой на обычном доменном чугуне с десульфурацией металла в основной печи. При этом футеровка дешевле и более термостойка, уменьшается расход магнезии при модифицировании и снижается содержание серы. При плавке СЧ это обеспечивает повышение свойств отливок, в том числе герметичность.

Подготовка шихты производится так же, как для ИП. Укладка шихты в печи для обеспечения устойчивости вольтовой дуги должна быть компактной. Вначале на подину загружают 50% мелкой шихты, возврат своего производства или машинный чугунный лом, затем — чушковые чугуны, потом — стальной лом, а сверху — оставшуюся мелочь. Крупные куски шихты следует заваливать в центр печи под электроды. Это обеспечивает заполнение мелочью промежутков между крупными кусками шихты и выравнивание электрического сопротивления шихты, а значит, и более стойкое и равномерное горение дуги, ускоряет расплавление шихты и увеличивает стойкость подины.

Вместе с этой шихтой в завалку вводят основную часть никеля и кобальта, так как они практически не окисляются, и доводят их содержание до заданных пределов в процессе плавки. Ранняя присадка никеля имеет определенные преимущества ввиду того, что электролитический никель содержит водород, а огневой гранулированный («слезки») — влагу; в процессе плавления и доводки металла большая часть газа выделяется. Точно так же и ферромolibден можно вводить в завалку или в жидкую ванну. Если молибден применяется в виде молибдата кальция, то его лучше присаживать на зеркало металла после скачивания шлака; при такой присадке он усваивается без потерь. При выплавке марок чугуна, содержащих фосфор, феррофосфор необходимо вводить в начальный период плавки; он усваивается без угара.

Плавка на твердой шихте производится для выплавки как обычного, так и синтетического чугуна. Процесс плавки синтетического чугуна более длительный, в сравнении с обычным и поэтому несколько менее производительный; в связи с этим расход электроэнергии повышается на 150—200 кВт·ч/т. Плавление шихты ведется при максимальном использовании мощности трансформатора. Первые 5—10 мин работают на «звезде», а затем производится переключение на «треугольник» и максимальную нагрузку. При появлении жидкого чугуна приступают к наводке шлака — в кислой печи это выполняют путем присадки в печь сухого кварцевого песка, горелой смеси или 50% свежего песка и 50% горелой смеси. Для разжижения шлака применяют известняк или известь. Количество присаживаемого песка за период плавки не должно превышать 2% от массы шихты; присадка извести или известняка должна составлять соответственно 10 или 15% от массы песка. Известь «пушонка» не допускается. Вместо известняка можно применять основной мареновский шлак, бой шмота (использованный ковшевой кирпич, стопорные трубки и др.).

В основную печь вводится известь или известняк для повышения основности шлака (часть известняка загружается перед загрузкой металлической шихты). Шлак должен быть жидкоподвижным, так как при густом шлаке затрудняются процессы нагрева и диффузии в металл. Для разжижения шлака в основной печи применяют плавиковый шпат. Слишком жидкий шлак исправляют добавками извести или известняка. Расход известняка в процессе плавления для основных печей составляет 3% от шихты. Когда часть металла или весь металл находится в расплавленном состоянии, недопустима подача в печь

влажных материалов. Все присадочные материалы в жидкий металл даются предварительно просушенными и прокаленными в кусках до 100 мм. При расплавлении 30—40% шихты периодически производится сталкивание с откосов нерасплавленной шихты в центр ванны жидкого чугуна. Процесс расплавления проводится форсированно.

За 10—15 мин до полного расплавления, во избежание перегрева и оплавления стен и свода печи, необходимо сокращать подводимую мощность за счет переключения трансформатора с соединения «треугольник» на «звезду». После полного расплавления шихты ванна тщательно перемешивается, и берется проба для экспресс-анализа на содержание Cr, Mn, Ni, Mo. Перемешивание необходимо производить не только после расплавления, но и после присадок по ходу процесса и перед выпуском плавки. При ведении плавки в кислой печи следует присаживать известь (или известняк) в зависимости от консистенции шлака, добываясь достаточной его подвижности. Присадку FeS в печь можно производить в любое время плавки, так как угар Si в кислой печи не происходит. Феррохром вводят в печь только при хорошо нагретом чугуне и нормальном неокисленном шлаке. Нормальный кислый шлак в жидком состоянии тянется в нити, в холодном состоянии — плотный в изломе, имеет характерную окраску (светлый с разными оттенками). Окисленный шлак в твердом состоянии имеет черный цвет и пузырчатый излом. Если шлак по ходу плавки плохой, необходимо частично или полностью сжечь его и привести нормальный шлак.

FMn в кислую печь вводится перед выпуском плавки. Под кислым шлаком Mn интенсивно окисляется, так как MnO связывается в силикат с кремнеземом шлака. Угар Mn (25—30%) зависит от температуры металла и от времени выдержки чугуна после присадки FMn до выпуска плавки.

В основных печах окисляется кремний; угар его составляет 10—15%. Угар титана как в кислой, так и в основной печи — 45—50%. Угаром C, Cr, Ni, Mo, Cu, P как при кислом, так и при основном процессе можно пренебречь. В обоих процессах практически отсутствует пригар при перегреве. При синтетическом чугуне угар элементов такой же, как при обычном. Ti легко окисляется как в кислой, так и в основной печи, и поэтому ферротитан вводят в ванну перед выпуском плавки из печи; его угар доходит до 50%. Ферротитан имеет меньшую плотность по сравнению с жидким чугуном и плавает на поверхности. Для лучшего усвоения Ti куски сплава необходимо топить в ванне железными штангами. Содержание окислов в кислом шлаке находится в пределах: 60—70% SiO_2 ; 3—20% CaO ; 1—5% MgO ; 6—12% FeO ; 1,2—5% MnO ; 0,25—4% Al_2O_3 .

Шлак с высоким содержанием SiO_2 очень вязок, неактивен. Добавка известняка резко снижает температуру плавления, и он делается жидкотекучим, активным. Оптимальным содержанием CaO для кислых шлаков считают 6—8%.

Основные ДЭП применяются для плавки синтетического чугуна и ВЧШГ с содержанием серы 0,008—0,02%. Основной процесс, в отличие от кислого, имеет восстановительный или раскислительный период, который проводится обычно под карбидным и белым шлаками. В этом периоде происходит удаление кислорода и серы, корректируются химический состав и температура металла. При диффузионном способе раскисляющие вещества в виде древесного угля или электродного порошка вводят на поверхность шлака. В шлаке происходит восстановление FeO , восстанавливаются также MnO и Cr_2O_3 . Так как содержание FeO в шлаке низкое, то происходит диффузия кислорода к поверхности раздела металл—шлак и затем переход FeO из металла в шлак.

Наведение карбидного шлака производится, когда температура расплавленного чугуна в печи достигнет примерно 1350° С. При этом скачивают шлак и на зеркало металла задают известь (или известняк) и плавиковый шпат в соотношении 4 : 1 в количестве 4% от массы садки. После того как эта смесь разойдется и образуется жидкоподвижный шлак, его раскисляют древесным углем или электродным порошком. Для образования CaC_2 требуются высокая температура и положительное давление в печи (устранение засасывания воздуха в печь). После введения раскислителей рабочее окно плотно закрывают, выпускное отверстие закладывают кирпичом, замазывают глиной и в течение

20—30 мин не открывают заслонку рабочего окна. При этих условиях в зоне действия электрических дуг начинается образование CaC_2 . Процесс протекает с большим поглощением тепла; поэтому для образования и сохранения хорошего карбидного шлака необходимы: высокая температура, высокая концентрация CaO и низкая концентрация FeO в шлаке, повышенное количество раскислителя. По ходу восстановительного периода, с целью компенсации окислительного действия воздуха и сохранения в печи восстановительных условий, периодически добавляют новые порции раскислителей, вследствие чего компенсируется окислительное действие воздуха и восстанавливаются не только окислы тяжелых металлов, но и некоторое количество окиси кальция по реакции $\text{CaO} + \text{C} = \text{CaC}_2 + \text{CO}$, чему благоприятствует высокое содержание углерода в чугуне. Признаком нормального процесса образования CaC_2 является появление густого сажистого дыма и коптящего пламени, вырывающегося через все неплотности печи. По мере остывания карбидный шлак рассыпается в светло-серый или темно-серый порошок в зависимости от содержания CaC_2 и графита. При смачивании водой или под действием воздуха CaC_2 разлагается с образованием ацетилена. По истечении 30 мин после дачи раскислительной смеси берется проба; проверяются температура металла и его химический состав. При хорошем нагреве металла вводятся в печь необходимые присадки (ФС, феррохром, ФМн и др.).

Карбидный шлак выдерживается не менее 50 мин до получения необходимого снижения содержания серы в металле, затем он переводится в белый шлак, так как иначе карбидный шлак, смачивая металл, может при заливке поступать в формы вместе с чугуном. Для этого окисляют содержащийся в шлаке CaC_2 и находящийся во взвешенном состоянии графит. Признаком белого шлака может служить то, что он при охлаждении рассыпается в белый порошок. Для разбивки карбидного шлака добавляют в печь шамотный бой, известь или известняк, плавниковый шпат и открывают заслонку печи. Составы конечных шлаков восстановительного периода плавки приведены в табл. II.51.

Таблица II.51

Составы конечных шлаков

Тип шлака	Массовая доля составляющих, %								
	$\text{CaO} + \text{CaF}_2$	SiO_2	MgO	Al_2O_3	FeO	MnO	Cr_2O_3	CaC_2	CaS
Карбидный Белый	60—70	10—15	7—10	2—3	0,5	0,5	0,5	1,5—3	2
	60—65	15—20	7—10	2—3	0,5	0,5	0,5	0,5	1

После доведения состава чугуна до марочного и температуры до 1440—1540° С (в зависимости от марки чугуна и отливаемых деталей) производят выпуск металла.

8. ПЛАВКА В ПЛАМЕННЫХ ПЕЧАХ

Пламенные печи в настоящее время применяются сравнительно редко. Это либо стационарные или вращающиеся печи старого типа, либо не получившие распространения шахтно-отражательные, представляющие сочетание вагранок с пламенными печами. Пламенные печи стационарного типа (рис. II.32) [4] применяются сейчас только для плавки валкового чугуна, особенно когда требуется низкое содержание углерода, и при использовании крупного чугунового лома. Однако и для валкового чугуна широко применяются также другие печи (мартеновские, электрические и даже вагранки). Объем печи подбирается так, чтобы в нем поместилась вся садка, что определяет размер ванны и высоту свода. Чем меньше глубина ванны, тем быстрее перегревается металл,

но больше угар. Поэтому глубина ванны составляет 125—350 мм, но у летки она обычно больше на 75—180 мм для получения уклона (около 2,5%) в сторону выпускного отверстия. Основные размеры стационарных пламенных печей и продолжительность плавки в них приведены в табл. II.52.

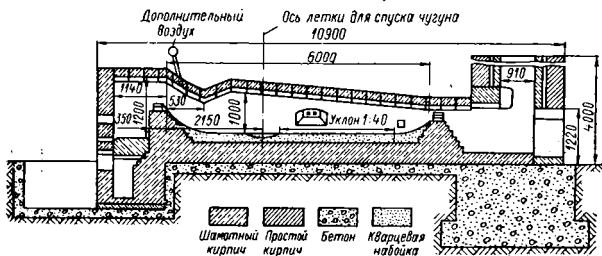


Рис. II.32. Пламенная печь емкостью 5 т

При загрузке шихты легкоплавкие материалы располагают внизу и ближе к заднему порогу, а тугоплавкие и крупные — к переднему (ближе к пламени). Материалы загружают неплотно для лучшего прохождения газов. Печи работают на разном топливе, главным образом на мазуте или газе, их к. п. д. составляет всего 10—15%, примерно в 3 раза ниже, чем у вагранок, вследствие большой потери тепла с отходящими газами.

Плавление производится коротким пламенем, а доводка — при длинном пламени, покрывающем всю ванну. Оно начинается сверху и у переднего порога и распространяется к поду и заднему порогу. Для ускорения процесса удаляют часть шлака и сталкивают оставшиеся куски шихты в жидкий металл.

Угар С, Si, Mn, Fe тем больше, чем длительнее плавка, выше температура, больше поверхность шихты и содержание O_2 и CO_2 в атмосфере печи и FeO и MnO в шлаке, меньше глубина ванны. Для уменьшения угара ФС и ФМн присаживают в ковш; для предупреждения восстановления Si при содержании в шлаке SiO_2 более 55% и высокой температуре шлак удаляют, а в печь вводят мелкий известняк или доломит. Общий угар больше, чем при плавке в вагранках, и составляет 5—7%. Нормальный состав шлака для уменьшения угара следующий: 45—55% SiO_2 ; 5—20% Al_2O_3 ; 15—25% $FeO + Fe_2O_3$; 10—25% MnO; 5—26% $CaO + MgO$, что достигается присадкой 3—6% плавикового шпата или магнезитового порошка либо 6—12% мартеновского шлака. При плавке легированных чугунов присаживают Ni в завалку или в жидкий металл, Cr и Mo — в жидкий металл с последующим перемешиванием, P — в жидкий металл незадолго до выпуска.

Температура чугуна по оптическому пирометру (без поправки): нелегированного — 1370—1390° С, легированного — 1410—1470° С. При повышенном

Таблица II.52

Характеристики пламенных плавильных печей

Емкость, т	Длина, м	Ширина, м	Площадь, м ²	Время плавки, ч
5—7	4,5	1,25	5,6	4—5
15—18	6,0	1,6	9,6	5—7
15—30 *	7,0	2,0	14,0	7—12

* В некоторых случаях емкость доходит до 50—80 т.

содержания Si в чугунном ломе (около 2%) целесообразно подавать в печь кислород (обычно под давлением 12—15 кгс/см²) с помощью магнезитовой армированной фурмы под углом 30° на глубину 100—150 мм, что приводит к угару Si и повышению температуры в следующем соотношении:

Расход O ₂ , м ³ /т	1	3	5	7	10
Угар Si, %	0,08	0,24	0,39	0,55	0,78
Повышение t, °C	16	48	80	112	160

Угар остальных элементов на 1 м³/т израсходованного O₂: C — 0,008%, Mn — 0,03%, Fe — 0,07%.

Пламенные печи барабанного типа обычно вращаются вокруг горизонтальной оси, а в некоторых случаях и вокруг вертикальной оси [4] (с частотой 1 об/мин), что облегчает завалку шихты и их ремонт. К. п. д. этих печей значительно больше, чем стационарных, и достигает 30% и более вследствие лучшей теплопередачи как сверху, так и снизу (нагретый свод в процессе вращения становится подом и наоборот). Форсунки устанавливаются с одного конца оси вращения, а отвод продуктов горения производится с другого. Плавка и перегрев металла в этих печах ускоряются, особенно при подогреве воздуха, расход воздуха уменьшается. Так, плавка в четырехтонной печи длится 3 ч, а в десятитонной — 5—5,5 ч; расход условного топлива 15—20%; $t_{\text{пер}} = 1400 \div + 1525^\circ \text{C}$. Однако сложность ухода за этими печами и наличие электропечей, успешно конкурирующих с пламенными печами, ограничивают их применение.

Шахтно-пламенные печи являются наиболее эффективными: в них сочетаются эффективные процессы плавления в шахтной печи (вагранке) и перегрева в пламенной печи, которые по существу являются дуплекс-процессом. Печи работают на угольной пыли, мазуте или газе, имеют шахту, неглубокую отражательную печь для лучшего перегрева, отверстие для горелки, вентилятор, который по трубе подает угольную пыль, трубу для подачи воздуха и кольцевое поднутрение для более равномерного распределения газов. Однако и эти печи имеют очень малое применение по указанным выше причинам.

9. ПЛАВКА ДУПЛЕКС-ПРОЦЕССОМ

При дуплекс-процессе (ДП) получают чугуны в двух последовательно работающих плавильных агрегатах: в первичном расплавляют шихту, а во вторичном жидкий металл подвергается термовременной обработке и гомогенизации (1-й вариант) или одновременно с этим доводится его химический состав добавлением стального лома, ферросплавов, рафинирующих или иных присадок (2-й вариант). В качестве первичного агрегата могут служить доменная печь, вагранки всех типов, пламенные печи, ДЭП, ИП; в качестве вторичного агрегата — ИП, ДЭП, пламенные печи. Преимущества ДП: возможность регулирования состава, температуры и жидкого состояния чугуна в широком диапазоне с минимальными затратами энергии и средств, применение наиболее дешевых шихтовых материалов и унифицирование шихты, расплавляемой в первичном агрегате, стабилизация структуры и свойств, уменьшение брака отливов, улучшение условий работы в плавильных отделениях и т. д. При этом возможно и целесообразно выбирать печи как первичные, так и вторичные, наиболее эффективно работающие в соответствующих периодах плавки, чем и обуславливается выгода применения ДП. Чаще всего это комбинация вагранки с ИП или ДЭП, так как первая имеет наиболее высокий к. п. д. при плавлении шихты, а вторые, и особенно ИП, — при перегреве жидкого металла.

Емкость W_m вторичных агрегатов, в частности индукционного миксера, рассчитывается в зависимости от производительности первичных — вагранок (Q_v) или электропечей ($Q_{э,п}$) [1]. При работе по 1-му варианту $W_m = 0,25Q_v$. При работе по 2-му варианту $W_m = (2+3) Q_v$ или $W_m = (1+2) Q_{э,п}$ (технические данные индукционных миксеров приведены в табл. II.41 и II.43, дуговые печи — в табл. II.48). Применение дуплекс-процессов характеризуется табл. II.53.

Режим ДП, как и условия плавки вообще, оказывает сильное влияние на жидкое состояние и в связи с этим на механические свойства чугуна, осо-

**Плавильные агрегаты, применяемые при дуплекс-процессах
на некоторых заводах**

Заводы	Тип чугуна	Плавильный агрегат	
		Первичный	Вторичный
ЗИЛ	СЧ КЧ	КВ КВ	ДЭП ИЧКМ
ГАЗ	СЧ КЧ ВЧШГ	КВ КВ ИЧТ	ДЭП ДЭП ДЭП
Кутаисский автозавод им. Г. К. Орджоникидзе	СЧ	КВ	ИЧТМ
Макеевский труболитей- ный завод	СЧ	КВ	ИЧТМ
Завод им. Лепсе (Киев)	СЧ	КВ	ИЧТМ
ЛМО им. К. Маркса	СЧ ВЧШГ	КВ КВ	ИЧТ ИЧТ
ВАЗ	СЧ КЧ	ДЭП; ИЧТ ДЭП	ИЧТМ; ИЧКМ ИЧКМ
Завод им. Лепсе (Ленин- град)	КЧ	КВ	ДЭП
Ростсельмаш	СЧ КЧ	КВ КВ	ДЭП ДЭП

бенно СЧ и КЧ, причем повышение свойств чугуна происходит при 2-м варианте ДП в значительно большей степени, чем при 1-м (рис. II.33), и так, что по данным [5] при дуплекс-процессе коксовая вагранка — ИП могут быть получены наиболее высокие марки чугуна, в том числе СЧ 44-64 при высоком перегреве (около 300°С) и модифицировании (1,3—1,6% СК30), если содержание углерода не превышает 2,7%. Кроме того, в случае необходимости, например, при производстве ВЧШГ, целью ДП часто является также десульфурация чугуна.

По данным [7], при выплавке СЧ средней прочности экономическая эффективность применения ДП зависит от типа плавильных агрегатов: в большинстве случаев ДП оказывается выгоднее монопроцесса. При этом, сравнивая этот процесс с плавкой в вагранке, следует для определения полного экономического эффекта ДП учитывать также соответствующее уменьшение количества брака. По данным [5], при ДП вагранка—индукционная печь по 2-му варианту брак тонкостенных отливок по недоливу и спаям уменьшился в пять раз, по несоответствию микроструктуры техническим условиям — в шесть раз, по газовым раковинам — в три раза, а общий брак уменьшается примерно в два-три раза.

Таким образом, можно считать, что ДП в большинстве случаев является наиболее современным и эффективным процессом как в отношении повышения свойств чугунных отливок, так и по экономической эффективности.

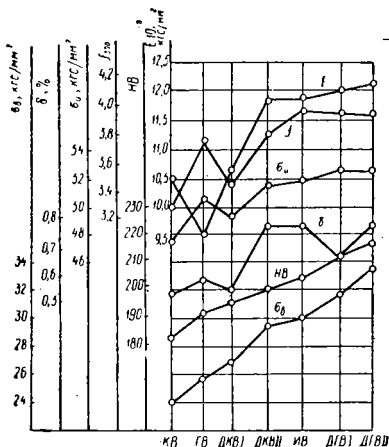


Рис. 11.33. Влияние дулекс-процесса «вагранка — ИП» на механические свойства модифицированного серого чугуна:

КВ и ГВ — коисовая и газовая вагранки; ДКВ I и ДГВ I — дулекс-процессы по 1-му варианту, ДКВ II и ДГВ II — по 2-му варианту; ИВ — «индукционная печь — вагранка»

10. ЭКСПРЕСС-КОНТРОЛЬ ЧУГУНА ПО ХОДУ ПЛАВКИ

Для контроля чугуна по ходу плавки приходится применять экспресс-контроль, чтобы получать информацию о параметрах, характеризующих чугун, с возможно малым интервалом времени между отбором пробы жидкого металла и получением информации. Это дает возможность вносить коррективы в режим плавки, а при некоторых условиях регулировать свойства чугуна ковшовыми добавками. В тех случаях, когда определение состава чугуна производится в лаборатории, более или менее удаленной от плавильных агрегатов, для ускорения транспортировки проб в лабораторию используется пневмо-почта, а информация о результатах анализа передается при помощи электронного устройства на световое табло, расположенное на плавильном участке. Ниже рассмотрены некоторые методы экспресс-контроля, нашедшие применение в плавильных отделениях чугунолитейных цехов.

Контроль химического состава наиболее совершенно производится с помощью квантометров. Отечественные многоканальные вакуумные фотозлектрические спектральные приборы типа ДФС-10М, ДФС-31 позволяют за одну—три минуты определять содержание в металле С, Si, Mn, P, S, Cr, Ni и других элементов. Однако использование этих сложных дорогих приборов, требующих квалифицированного обслуживания, оправдано лишь в условиях крупномасштабного производства. Подавляющее же большинство плавильных отделений использует традиционные аналитические, спектральные, а также физические методы анализа.

Определение содержания углерода аналитическим методом производится для ускорения анализа и повышения точности на приборе АН-29 конструкции ВНИИА чермета, общий вид которого приведен на рис. П.34. Этот прибор рассчитан на непрерывную, круглосуточную эксплуатацию и производит анализ за три минуты. Для этого навеска чугуновой стружки на лодочке сжигается в трубчатой печи 1 в потоке кислорода. Образующийся CO_2 поглощается раствором 3, находящимся в электрической ячейке 2, что изменяет э. д. с. индикаторной электродной системы рН-метра 8. При этом включается источник 7 генераторного тока; который протекает через датчики 4 (катод) и 5 (анод). На катоде 4, погруженном в раствор 3, выделяется щелочь, нейтрализующая образовавшуюся при поглощении CO_2 кислоту. Количество электричества, потребовавшегося для нейтрализации, однозначно связано с количеством поглощенного CO_2 ; оно фиксируется интегратором тока 6, на выходе которого включены неоновые цифровые индикаторные лампы.

Содержание С спектральным методом определяют на спектрографе типа ИСП-22 или другом аналогичном приборе с использованием генератора — источника возбуждения высокочастотной искры. При этом на высокочувствительных пластинках типа УФШ фиксируется углеродная спектральная линия и используется подставной магнетный электрод. Рабочее расстояние между электродом и образцом — 1 мм. Продолжительность определения содержания С, — 10 мин, включая все подготовительные операции.

Определение содержания кремния, хрома и марганца спектральным методом производится на спектрографе типа ИСП-30 с микрофотометром МФ-2 по методу твердого графика. Продолжительность процесса при этом не превышает 25 мин, включая все подготовительные операции.

Определение содержания Si методом термо-э. д. с. основано на том, что при контакте горячего электрода с испытуемым чугуновым образцом возникает термо-э. д. с., которая зависит от содержания Si в чугуне. При отсутствии структурно-свободного цементита и относительно стабильном содержании других элементов результаты анализа получаются через 3—4 мин после заливки пробы при расположении прибора вблизи плавильных агрегатов. Образец чугуна на этом приборе прижимается зондом к колодке, а возбуждавшаяся термо-э. д. с. фиксируется на световой шкале гальванометра. Содержание Si в чугуне устанавливают по градуировочным кривым.

Определение углеродного эквивалента C_s термографическим методом производится по кривой охлаждения чугуна, на которой фиксируются температуры ликвидуса (t_L) и солидуса (t_C) и по t_L или интервалу $\Delta t_{\text{инт}} = t_L - t_C$ определяется C_s . При этом в форму заливается 1 кг чугуна, температура которого замеряется при помощи малоинерционной (например, платинородий-платиновой) термопары. Кривая охлаждения чугуна фиксируется на диаграммной ленте быстродействующего потенциометра, например, типа ЭПП-09 или КВТ-1 с быстрым пробегом кареткой всей шкалы (примерно за 1,5 с); ошибка определения по шкале прибора не более $\pm 0,5^\circ$. Движение ленты происходит со скоростью около 1200 мм/ч, и подвижная линейка из плексиглаза, проградуированная в значениях C_s , позволяет, таким образом, быстро получить ответ. Определение C_s по t_L занимает

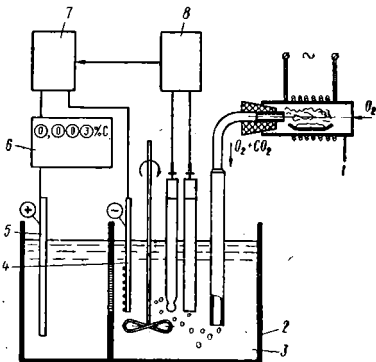


Рис. П.34. Схема анализатора АН-29 для определения содержания углерода

40 с, а по $\Delta t_{\text{инт}}$ — 4 мин. При соблюдении соответствующих условий (качественная термопара, расположение спая по оси образца, высокая $t_{\text{зал}}$) обеспечивается точность и стабильность результатов.

Универсальных формул, описывающих зависимости C_3 от $t_{\text{л}}$ и $\Delta t_{\text{инт}}$, нет, так как они существенно различаются для чугунов, выплавленных в разных плавильных агрегатах, по различным режимам и т. д. Поэтому в каждом цехе эти зависимости должны быть определены экспериментальным путем. В качестве первого приближения можно привести следующие соотношения [22] для ваграночных чугунов:

для немодифицированных СЧ 18-36, СЧ 21-40, СЧ 24-44

$$C_3 = 12,8 - 0,0075 t_{\text{л}};$$

$$C_3 = 4,29 - 0,0072 \Delta t_{\text{инт}}; \quad (11.17)$$

для модифицированных СЧ 28-48, СЧ 32-52, СЧ 36-56

$$C_3 = 14,04 - 0,0085 t_{\text{л}};$$

$$C_3 = 4,39 - 0,0079 \Delta t_{\text{инт}}. \quad (11.18)$$

Точность определения C_3 по $\Delta t_{\text{инт}}$ выше, чем по $t_{\text{л}}$. В промышленности

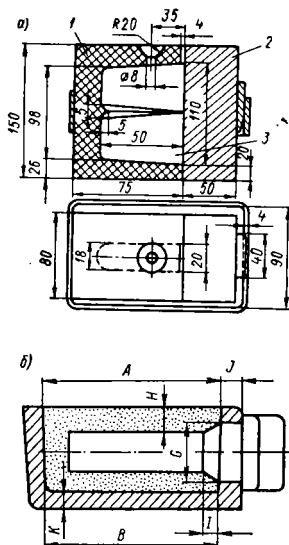


Рис. 11.35. Формы для проб, отливаемых с целью определения склонности чугуна к отбеливанию;

1 — стержневая форма; 2 — металлическая плита; 3 — проба; 4 — место замера твердости.

Размеры формы для клиновой пробы, мм: А — 159; В — 152; С — 76; D — 96; E — 51; F — 38, G — 64; H — 19; I — 6; J — 25,4; K — 8

взамен платинородий-платиновой термопары для определения C_3 применяется также фотодиодный пирометр, который обеспечивает более высокую точность результатов.

На московском заводе «Станколит» внедрена также усовершенствованная методика термографического определения содержания углерода в чугуне в условиях затвердевания его в пробнике с образованием белого излома; при этом платинородий-платиновая термопара заменена узкоугольным пирометром излучения с кремниевым фотодиодом типа КФДМ с пределами измерения $t = 1000 \div 1400^\circ \text{C}$. Основная погрешность пирометра $\pm 10^\circ \text{C}$, расстояние от телескопа до дна кварцевого колпачка, на которое визируется пирометр, — 200 ± 50 мм. В качестве вторичного прибора используется потенциометр типа КСП-4 (или ЭПП-09) со шкалой 0—10 мВ. Время пробега шкалы — 1 с, время проведения анализа — 3 мин.

**Характеристика нелегированного серого чугуна
по технологическим пробам**

Марка чугуна (ГОСТ 1412-70)	Глубина отбела, мм, на пробе ИСО		Твердость <i>НВ</i> на технологических пробах каунасского завода «Центролит»	
	до модифицирования	после модифицирования	проба 1	проба 2
СЧ 15-32	0-3	—	170-197	—
СЧ 18-36	0-4	—	197-212	—
СЧ 21-40	5-10	—	217-235	—
СЧ 24-44	10-15	2-6	235-248	—
СЧ 28-48	15-25	2-8	248-277	229-248
СЧ 32-52	20-30	5-15	—	241-255
СЧ 36-56	25-35	10-15	—	248-269
СЧ 40-60	30-40	10-20	—	255-277

Контроль склонности чугуна к отбеливанию находит широкое применение в системе экспресс-контроля благодаря эффективности и простоте. Хотя нельзя установить прямой связи между составом и отбеливаемостью чугуна, однако последняя, как и твердость *НВ*, косвенно характеризует марку чугуна, позволяет

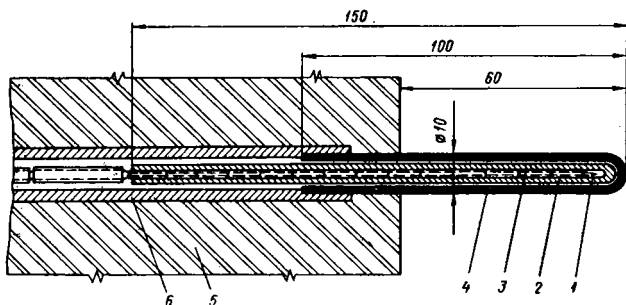


Рис. 11.36. Схема установки для измерения температуры чугуна

судить об отклонениях от нормальных условий плавки и определять возможность использования чугуна для отливок с данной толщиной стенки. Для определения склонности к отбеливанию, в основном, используются призматические пробы и пробы на кокиль. Последние обеспечивают более высокую точность определения.

На рис. 11.35, а показана форма для отливки прямоугольной пробы, одна сторона которой при заливке соприкасается с металлической плитой 2 и затвердевает с образованием отбела. Пробу выбивают из стержневой формы 1 через 1,5 мин после заливки, охлаждают в воде и разбивают поперек. Величину отбела измеряют линейкой от плоскости соприкосновения пробы с холодильником до середины переходной зоны. Помимо пробы толщиной 20 мм, показанной на рис. 11.35, а, используется также аналогичная проба толщиной 8 мм для

характеристики «мягких» чугунов. На рис. II.35, б показана форма для отливки клиновой пробы, используемой для той же цели, на рис. II.35, в — проба для определения твердости *HV*. По всем этим пробам можно ориентировочно определять марки СЧ (табл. II.54) [22].

Контроль температуры жидкого чугуна производится чаще всего оптическими пирометрами; однако точность показаний при этом зависит от квалификации оператора и ряда факторов, которые могут исказить эти показания (пленка шлака, газовый слой над металлом). Радиационные же и фотоэлектрические пирометры пока не нашли здесь широкого распространения. Наиболее точную оценку температуры обеспечивают контактные методы с использованием термопар погружения.

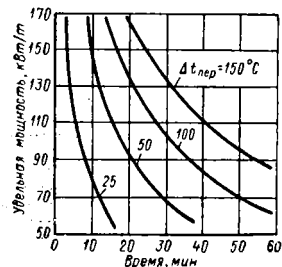


Рис. II.37. График для определения перегрева чугуна в зависимости от времени и удельной мощности печи

Представляет интерес разработанный и внедренный на заводе «Стаиколит» [22] метод, обеспечивающий непрерывное автоматическое измерение температуры жидкого чугуна и ее регистрацию. При использовании вольфраморениевых термоэлектродов ВР 10/20 погрешность непрерывного измерения температуры чугуна в течение 20—24 ч не превышает $\pm 10^\circ$. Схема установки термопары ВР 10/20 в футеровке приведена на рис. II.36. Термоэлектрод 1 диаметром 0,34 мм защищен корундовым колпачком 2 диаметром 5 мм и синоксальной соломкой 3 с корундовым колпачком 4, вставленным в стальную трубку 6, которая находится в футеровке 5. Выступающий из футеровки конец термопары находится в ванне чугуна, скапливающегося в копыльнике, или в струе чугуна на переходном желобе из вагранки в копыльник. Импульс от термопары передается на потенциометр, на котором стрелка показывает температуру в данный момент, а запись на диаграмме фиксирует температуру в течение всей кампании.

Повышенные температуры жидкого чугуна ($^\circ\text{C}$) в ИП можно также установить по удельному расходу электроэнергии N_3 и продолжительности перегрева t :

$$\Delta t_{\text{пер}} = K N_3 t, \quad (\text{II.19})$$

где K — коэффициент, постоянный для данной печи.

В производственных условиях для этого можно пользоваться специальным графиком, например, представленным на рис. II.37, разработанным на каунасском заводе «Центролит» [22].

ВНЕПЕЧНАЯ ОБРАБОТКА ЖИДКОГО ЧУГУНА

1. МОДИФИЦИРОВАНИЕ

Модифицирование является одним из наиболее эффективных методов воздействия на кристаллизацию с целью получения благоприятной структуры графита и матрицы, а следовательно, и высоких свойств отливок и применяется поэтому для всех чугунов повышенных марок [28]. Применяемые модификаторы можно классифицировать как графитизирующие, стабилизирующие* и сфероидизирующие (глобуляризирующие). Механизм действия модификаторов весьма разнообразен и заключается либо в образовании поверхностной пленки на вынужденных зародышах (модифицирование I рода), что уменьшает скорость их роста, увеличивает переохлаждение ΔT и количество зародышей и измельчает, а также изменяет форму растущего графита, либо в образовании дополнительных вынужденных зародышей (модифицирование II рода), что увеличивает их количество и измельчает графит, несмотря на уменьшение ΔT , а значит, и увеличение их критического размера, либо в образовании карбидов, легко распадающихся во время или после затвердевания (так называемый «карбидный эффект» или «самоотжиг»), что ведет к образованию шаровидного графита (ШГ).

Количество современных модификаторов очень велико; например, одних только графитизирующих присадок насчитывается около 150 [23], причем наиболее эффективные из них являются комплексными (даже применяемый ферросилиций по существу тоже является комплексным модификатором, так как, кроме кремния, содержит еще и некоторое количество алюминия и кальция). То же можно сказать и о сфероидизирующих модификаторах. Однако не все составляющие сложных модификаторов являются по существу модифицирующими; некоторые из них только повышают эффективность модифицирующего воздействия других составляющих путем раскисления, десульфурации, дегазации и иных процессов или являются просто легирующими элементами. Различить их возможно по влиянию при присадке элемента к чугуну, чистому по примесям, или по «живучести», т. е. длительности действия после их присадки [6]. Модифицирующее действие обычно полностью исчезает в течение 10—25 мин. Сохранение этого действия присадок важно, особенно при крупном литье, где длительность транспортировки, заливки и затвердевания металла сравнительно велики, и живучести модификатора может не хватить. В таких случаях применяются разные меры, в том числе и модифицирование непосредственно в форме. Поэтому при выборе модификаторов следует принимать во внимание не только прямую их эффективность, но и живучесть, а также, конечно, их дефицитность и стоимость.

Модифицирование серого чугуна

В производстве отливок из СЧ применяются, главным образом, графитизирующие модификаторы для измельчения графита, устранения отбела и МГ, а иногда и частично сфероидизирующие для образования графита благоприятной

* Стабилизирующие модификаторы чаще всего являются микролегирующими. В некоторых случаях, например, при применении одного чугуна для разного литья, возможно использование графитизирующих модификаторов для тонкостенного литья и стабилизирующих присадок для толстостенного.

формы, в частности вермикулярного графита (ВГ). Поэтому модифицирование СЧ целесообразно только при низком содержании углерода, кремния и других графитизирующих элементов или при повышенной концентрации элементов, препятствующих графитизации, а также при высокой термовременной обработке жидкого чугуна, быстром охлаждении, применении в шихте большого количества стали и переплавного чугуна, т. е. в условиях высокого ΔT и, значит, при производстве чугунов высоких марок [1, 6, 24], как это и рекомендуется ГОСТ 1412—70. Применяемые модификаторы при этом весьма разнообразны по составу (табл. III.1)*. Однако точных данных об их эффективности нет, хотя

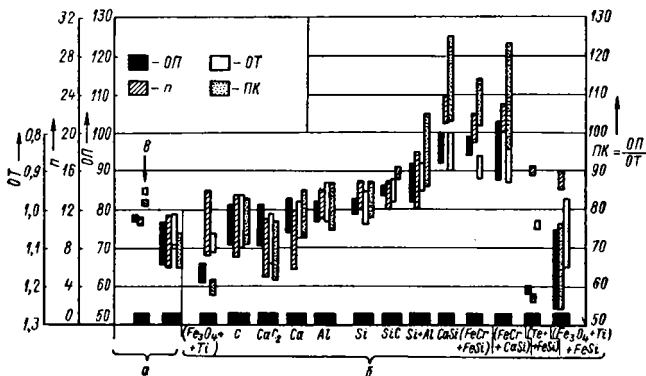


Рис. III.1. Сравнительное влияние разных модификаторов на структуру и свойства чугуна с $S_2 = 0,77$: а — немодифицированный; б — модифицированный; в — без перегрева;

ОП — относительная прочность; л — число включений графита на 1 см; ОТ — относительная твердость; ПК — показатель качества

в литературе по этому вопросу приводятся многочисленные исследования; результаты некоторых из них представлены на рис. III.1 [28]. Это объясняется, очевидно, тем, что эффективность тех или иных модификаторов зависит от разнообразных условий производства. Поэтому их выбор приходится производить опытным путем, и рекомендации на разных заводах различны. Так, на Уральском заводе тяжелого машиностроения лучше всего зарекомендовала себя смесь ФС75 и СК30 в отношении 1:1; на московском заводе «Станколит» используется преимущественно ФС75, хотя и признается благоприятное влияние Ba, Sr и других элементов [24], особенно полезных в отношении живучести. Высокое же содержание Al, как это считают на многих предприятиях, не всегда рекомендуется, так как оно способствует образованию пористости. Если необходимо устранить отбел без особого влияния на механические свойства чугуна (например, на поршневых кольцах и других тонкостенных отливках), можно пользоваться наиболее простым и дешевым модификатором — черным графитом (табл. III.1).

Большое внимание в последнее время уделяется модифицированию редкоземельными металлами [16], в том числе Ce и Y, которые в небольших количествах (0,03—0,1%) способствуют графитизации, а в количестве 0,15—0,25% при-

* Иногда рекомендуются более сложные модификаторы [5, 14, 24, 25], в частности «синергетический» следующего состава: 36% Si; 16% Ca; 2,5% Al; 8% Ce; 4% La; 4,5% Ti; остальное Fe [22].

водят к получению ВГ и резкому повышению прочности и пластичности чугуна [13]. Весьма интересным в этом отношении является Y^* , который поставляется в виде разных сплавов: YFe , $YSiCa$ и др. Хорошие результаты получаются [13] при применении лигатуры, содержащей 30% РЗМ, в том числе 4,5% Y , и 40—45% Si . В этом случае ВГ получается в низкосернистом чугуне при вводе 0,5—0,7% лигатуры; но для устранения отбела, как и при ВЧШГ, необходимо вторичное модифицирование. Степень усвоения РЗМ повышается с понижением температуры обработки и уменьшением содержания серы в металле и колеблется в больших пределах (от 30 до 90%). Во всех случаях следует иметь в виду, что при высоком содержании кальция лигатура плохо усваивается чугуном при низкой температуре; лигатуры же с высоким содержанием РЗМ не только дороги, но часто отбеливают чугун [25].

Особый интерес представляет суспензионное литье [15], в котором роль модификатора играют микрохолодильники. При вводе в чугун 3% железного порошка ПЖ-2М или 1—1,5% чугунной дробин марок ДЧК-1,5 или ДЧЛ-3,0 σ_b повышается на 25—30%. Ввод ПЖ-2М, кроме того, повышает квазиизотропию отливок в отношении как σ_b , так и HV [19].

Кроме модифицирования твердыми добавками, применяют также жидкое модифицирование путем добавки жидкой стали или смешивания разных чугунов [11, 21]. Это повышает свойства чугуна и однородность в разных сечениях не только за счет изменения состава и эвтектичности, но и за счет модифицирования. Например, наблюдается следующее относительное повышение свойств СЧ при модифицировании жидкой сталью (10%): σ_n — на 46%, f — на 34%, HV — на 28%.

В качестве особых методов модифицирования можно указать на продувку порошкообразным CaC_2 (при этом одновременно происходит обессеривание чугуна) или газами: природным газом, метаном, азотом, аргоном и др. [30].

Обычные модификаторы вводят на жолоб, в струю металла, в ковш или в форму, применяя при этом специальные дозаторы (табл. III.2) [18]. Подготовка модификаторов сводится к их измельчению и отсеvu пыли, т. е. зерен размером менее 0,5 мм. Размер зерен зависит от емкости ковша и способа ввода; чем больше емкость ковша, тем крупнее могут быть зерна модификатора, так как мелкие зерна легко окисляются и уносятся с газами или запутываются в шлаке. Рекомендуемый размер зерен:

Масса металла в ковше, т	До 0,5	0,5—2	2—10	10—25
Размер зерен модификатора, мм	1—2	2—5	5—15	15—25

Перед употреблением рекомендуется прокалывать модификатор при 300—400° С; во избежание окисления дробить его нужно не более, чем за 12 ч до засадки; он должен быть чистым, сухим, не окисленным. Расход модификатора зависит от его состава, состава чугуна, природы шихтовых материалов, условий плавки, технологии ввода, конструкции отливки и марки чугуна и колеблется, например, при ФС75 в пределах от 0,1 до 2%:

Марка чугуна	СЧ 24-44	СЧ 28-48	СЧ 32-52	СЧ 36-56	СЧ 40-60	СЧ 44-64
Расход ФС75, %	0,2—0,4	0,3—0,5	0,4—0,6	0,6—1,0	1,3—1,6	1,5—2,0

При применении силикокальция расход модификатора может быть уменьшен на 20%. Усвоение Si из него колеблется в пределах 70—90%. После ввода модификатора металл целесообразно перемешать механически, вибрационно, барботацией и другими методами. Перегрев чугуна при модифицировании должен быть тем больше, чем выше марка чугуна; обычно он находится в пределах 1370—1430° С. Во избежание демодифицирования продолжительность выдержки чугуна не должна быть больше живучести модификатора. Например, для ФС75 и СК применяется выдержка, не превышающая следующих значений:

Масса металла в ковше, т	До 0,5	0,5—2	2—10	10—25	>25
Допустимая выдержка, мин	5	8	10	15	20

* См. Аникин А. А. Иттриевый чугун. М., «Машиностроение», 1976.

Графитизирующие модификаторы для серого чугуна

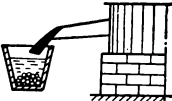
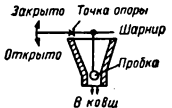
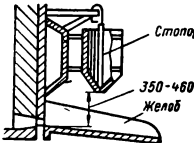
Обозначение модификатора	Массовая доля элементов, %										
	Si	Ca	Al	Ba	Zr	Ce	Mn	Sr	Mg	C	Прочие элементы
На основе ферросилиция											
ФС75	75	0,5—1,0	0,1—2,5	—	—	—	0,2—0,4	—	—	—	—
Fe—Si—Sr	75	1,0	0,1—2,5	—	—	—	—	0,6—1,0	—	—	—
Fe—Si—Mn	60—65	1,0—2,5	0,5—1,0	—	—	—	4—6	—	—	—	—
Fe—Si—Mn—Zr	60—65	—	—	—	5—7	—	5—7	—	—	—	—
Fe—Si—Zr	60—80	2,0—2,5	1,5	—	1,5	—	—	—	—	—	—
Fe—Si—Mn—Zr—Ti	60—65	1,5—2,5	1,0—1,5	—	5,5	—	6,5	—	—	—	0,2 Ti
Fe—Si—Mn—Ba	60—65	1,5—3,0	1,0—1,5	4—6	—	—	9—12	—	—	—	—
Силикошметалл (СММ)	45—55	1,0—3,0	3,0—5,0	—	—	10	—	—	—	—	30—33 РЗМ
На основе силикокальция											
СК	55—65	10—30	1—2	—	—	—	—	—	—	—	—
Si—Ca—Al	30—50	20—25	5—15	—	—	—	1,5	—	—	—	—
Si—Ca—Zr	30	25	—	—	12—15	—	—	—	—	—	—
Si—Ca—Mn	25—35	15—25	—	—	—	—	10—15	—	—	—	—
Si—Ca—Ti—Ce	36	18	2,5	—	—	8	—	—	—	—	4,5 Ti, 4,0 La
Si—Ca—Zr—Ce	30	24—26	—	—	12—15	14—16	—	—	—	—	—
Si—Ca—B—Mg	38	28	2	—	—	—	—	—	5	—	2,6 B
Si—Ca—Ba—Al—Mg	62—66	10—14	7—12	1—3	—	—	—	—	1—3	—	—
Si—Ca—Ba	60—65	18—25	0—1,5	3—7	—	—	—	—	—	—	—

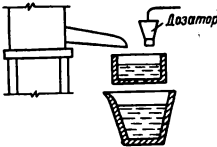
Обозначение модификатора	Массовая доля элементов, %										
	Si	Ca	Al	Ba	Zr	Ce	Mn	Sr	Mg	C	Прочие элементы
На основе других сплавов											
Si—Zr	47—52	—	—	—	35—40	—	—	—	—	—	—
Si—Ti	20—25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	20—27 Ti
Si—Mn	47—54	—	—	—	—	—	20—25	—	—	—	—
Ni—Si	30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	70 Ni
Cr—Si—Mn—Ti—Ca	15—21	1,0	—	—	—	—	14—16	—	—	—	28—32 Cr, 1,0 Ti
Ca—Si—Ti	45—90	5—8	—	—	—	—	—	—	—	—	9—11 Ti
Cu—Ca—Si—Sn—Al—C	28	14	0,5	—	—	—	—	—	—	8	52 Cu, 5 Sn
Si—Ca—Ba—Al—Mn	60—65	1,5—2,0	1—1,5	4—6	—	—	9—12	—	—	—	—
На основе высокоуглеродистых композиций											
Графит черный	—	—	—	—	—	—	—	—	—	100	—
Эскалой	52	9	1,5	—	—	—	—	—	0,3	25	—
MBC 21	48—52	6—9	3—6,5	2—5	—	—	—	—	0,7—1,5	24—26	—
MBC 32	30—90	9—16	—	1,5—4	—	—	—	—	—	40—50	—

Примечания:

1. Во всех случаях недостающим до 100% элементом является Fe.
2. По данным завода «Водоприбор», в качестве графитизирующего модификатора для синтетического СЧ рекомендуется силикокальций в количестве 0,4—0,5%; при этом оптимальная температура перегрева 1500—1550° С, выдержка 20—30 мин, температура модифицирования 1420—1450° С, выдержка в ковше после модифицирования 5—15 мин (хотя живучесть модификатора значительно больше).

Способы ввода графитизирующих модификаторов в чугун

Способ ввода	Схема	Условия применения
В ковш во время заполнения металлом без дозатора		Для ковшей малой емкости при индивидуальном и серийном производстве.
В ковш во время заполнения металлом с помощью дозатора		Для ковшей большой емкости при индивидуальном и серийном производстве
На желоб вагранки во время заполнения ковша с помощью дозатора, прикрепленного к корпусу вагранки		Для мелких и средних ковшей при серийном и массовом производстве

Способ ввода	Схема	Условия применения
Через промежуточный ковш-растворитель, в который модификатор поступает из дозатора или с качающегося встряхивающего желоба		Для ковшей емкостью более 1 т при индивидуальном и серийном производстве
Под зеркало металла с помощью колокола или специального устройства для погружения модификатора		Для ковшей большой емкости при невозможности заполнить их из одного выпуска
В литниковую чашу специальной конструкции (с перегородкой) или в специальный карман в литниковой системе		Для крупных отливок в индивидуальном производстве и для мелких и средних отливок при серийном производстве

В случае появления признаков демодифицирования чугуна рекомендуется повторная обработка модификатором. Контроль качества модифицирования производится по высоте отбела клиновой пробы. Контрольные пробы отливают через 5—15 мин.

В результате модифицирования повышаются не только механические свойства чугуна, но и однородность структуры и свойств по сечению отливки, что улучшает их обрабатываемость резанием даже при большей *НВ*. Однако модифицирование не может, конечно, заменить легирование для получения чугуна с особыми свойствами, хотя некоторые из этих свойств, например износостойкость, повышаются при модифицировании. Во всех случаях следует иметь в виду, что эффективное модифицирование требует тщательного контроля исходных материалов, процесса плавки и заливки.

Модифицирование для получения высокопрочного чугуна с шаровидным графитом

Получение ШГ в чугуне возможно при обработке расплава добавками, содержащими Mg, Ca, Ce, Y, Nd, Pr и другие РЗМ; однако Mg практически обычно присутствует во всех применяемых модификаторах [2]. В противоположность указанным сфероидизирующим модификаторам, некоторые элементы подобно сере* являются демодификаторами, в связи с чем их содержание в чугуне не должно превышать: 0,009% Pb; 0,003% Bi; 0,026% Sb; 0,08% As; 0,04% Ti; 0,13% Sn; 0,3% Al. Влияние демодификаторов частично или полностью устраняется добавкой ремодификаторов, например Ce и других РЗМ [17].

При вводе в чугун металлического Mg (марок Mg1 и Mg2) происходит его интенсивное испарение, и он сгорает с выделением белого дыма. Реакция протекает очень быстро и носит взрывной характер. Поэтому для спокойного ввода Mg применяют его лигатуры (с содержанием Mg не выше 12—15%) или смеси как с большой плотностью, содержащие Ni и Cu, так и более легкие, содержащие Si и Ca (табл. III.3), причем последние не только дешевле, но имеют ряд преимуществ вследствие благоприятного влияния Ca (хотя одного Ca обычно недостаточно для получения ШГ). Составы этих лигатур, изготовляемых в СССР, приведены в табл. III.4. Усматривается, что все они являются комплексными (КМ). Наличие в них Ca, Sr, РЗМ, согласно исследованиям Института проблем литья АН УССР (ИПЛ), повышает их живучесть, понижает дегабулизирующее влияние вредных элементов, в том числе создает возможность получения ШГ в более толстых сечениях и при других неблагоприятных условиях, а также повышает жидкотекучесть ($\lambda_{ж}$) и уменьшает предсудачное расширение ($\epsilon_{рас}$), что позволяет уменьшить объем прибылей. Однако следует иметь в виду, что при использовании лигатуры с повышенным содержанием Ca при низкой температуре чугуна (менее 1380°С) модификатор зашлаковывается, покрывается изолирующей окисной пленкой и плохо усваивается. Поэтому многие исследователи считают допустимым содержание Ca в лигатуре до 4%, а РМЗ до 2%, что часто достаточно для нейтрализации возможных демодификаторов. Однако в рекомендациях ИПЛ (см. табл. III.4) содержание Ca все же допускается до 15% **. При этом, однако, необходима высокая температура перегрева чугуна.

Кроме лигатур, для модифицирования применяют спрессованную механическую смесь губчатого Fe с 15—17% Mg, кокс, пропитанный 40—45% Mg, и т. д., а также шлаковые комплексные модификаторы, в которых присутствуют Mg, Ca и РЗМ. В этом случае поверхность чугуна в ковше покрывают флюсами, состоящими из фторидов и хлоридов Mg, Ca, Ba и РЗМ, из которых с помощью мелкодисперсного силикокальция путем перемешивания и диффузии восстанавливают указанные элементы — сфероидизаторы. После такого модифицирования в чугуне обычно содержится 0,025% Mg, 0,02 — 0,06% РЗМ и 0,005% Ca. К мо-

* При повышенном содержании (около 0,3%) сера может быть и полезна, образуя компактный графит.

** По последним исследованиям ИПЛ при применении КМ (5—6% Mg; 4—6% Ca; 2—4% РЗМ; 50—55% Si; остальное Fe) и синтетической шихты с добавкой около 0,5% Ni и 0,5% Si обеспечивается получение ВЧШГ с $\sigma_b = 100$ кгс/мм² и $\delta = 5\%$.

Магниеые лигатуры для получения высокопрочного чугуна с шаровидным графитом

Обозначение лигатуры	Массовая доля элементов, %						Плотность, г/см³	Температура плавления, °C
	Mg	Ni	Cu	Si	Ca	Прочие элементы		
На базе никеля и меди								
Ni—Mg	5—20	95—80	—	—	—	До 1 Ce	6,5—7,5	1060—1100
Ni—Si—Mg	15—18	50—55	—	25—30	—	—	5—6	1050—1100
Ni—Si—Ca—Mg	25—32	40	—	До 30	До 5	—		
Ni—Si—Fe—Mg	5—15	20—50	—	» 30	—	Остальное Fe		
Ni—Fe—Mg	5—17	10—45	—	—	—	≥ 50 Fe	6,4—7,5	1040—1100
Ni—Cr—Mg	5—15	65—75	—	—	—	Не более 20 Cr До 5 Fe	7,4	1080—1120
Cu—Mg	15—50	—	50	—	—	—	6,0—6,75	720—740
Cu—Ni—Mg	20	10—45	30	—	—	Остальное Fe		980—1060
Cu—Ni—Fe—Mg	5—20	10—45	Остальное	—	—	До 15 Fe		980—1060

Обозначение лигатуры		Массовая доля элементов, %					Плотность, г/см³	Температура плавления, °C
		Mg	Ni	Cu	Si	Ca		
На базе кремния и кальция								
Fe—Si—Mg	5—15	—	—	44—48	1—2,5	0,8—1 Ce, остальное Fe	3—4,5	1020—1160
Fe—Si—Mg	5—30	—	—	45—75	1,5	До 1 Ce, остальное Fe		
Fe—Si—Ca—Mg	5—8	—	—	42—45	2	Остальное Fe		
Fe—Si—Ca—Ba—Mg	12—15	—	—	38—43	5—7	0,5—5 Ba, остальное Fe		
Ca—Si—Mg	5—30	—	—	40—65	10—35	Остальное Fe	2,3—2,45	880—950
Ca—Si—Ni—Mg	5—15	15	—	45	5—15	» Fe	2,5—3,5	950—1050

Примечания:

1. Si при содержании более 2% ухудшает форму ШГ; кроме того, Si способствует получению перлитной структуры и поэтому не применяется при получении чугуна с ферритной структурой.

2. Для усиления действия Ni—Mg-лигатуры в нее добавляют 5—10% цианмида кальция или 4—12% бария.

3. Для усиления действия Si—Mg-лигатуры в нее добавляют 0,6—1,0% Ce или РЗМ.

4. Лигатуры на базе Ca и Si требуют применения флюсов в количестве 0,5—1,0% от массы металла. В качестве флюсов применяют Na₃AlF₆; CaF₂; BaCl₂; CaCl₂ и др.

Магний-кальциевые лигатуры

Марка	Массовая доля элементов, %				
	Mg	Ca	Si	Ba	РЗМ
Изготавливаемые ЧЭМК (ТУ 14-5-39—74)					
ЖКМК-1	9—12	12—20	Не менее 40	—	—
ЖКМК-2	6—9	12—20	» 40	—	—
ЖКМК-3	9—12	6—12	» 40	—	—
ЖКМК-4	6—9	6—12	» 40	—	—
ЖКМК-5	9—12	До 6	» 40	—	—
ЖКМК-6	6—9	» 6	» 40	—	—
Рекомендуемые ИПЛ АН УССР					
КМ-1	3—6	8—15	45—60	—	3—6
КМ-2	8—12	8—15	45—60	—	—
КМ-3	7—10	8—15	45—60	—	3—6
КМ-4	5—8	8—15	45—60	3—6	3—6
КМ-5	6—10	3—7	45—60	—	3—6
КМ-6	3—6	8—15	45—60	—	7—12
КМ-7	3—6	8—15	45—60	4—8	7—12
КМ-8	8—12	6—15	45—60	—	1,5—2,5
Примечание. По требованию заказчика в любую марку лигатуры может быть введено не более 10% РЗМ; 10% В; 10% V; 10% Cr; 10% Мо; 15% Ва; 15% Ti; 15% Al; 25% Mn; 30% Cu					

модификаторам этого типа относятся известные, изготавливаемые в Японии сплавы ОЗ, состоящие из гранул силикокальция, покрытых слоем хлористых солей и вспомогательных компонентов (хлорид Са или его смесь с хлоридами РЗМ) [16]. В связи с гигроскопичностью, модификатор вводится в чугун в пластмассовых пакетах массой 0,4 кг. Реакция модифицирования протекает спокойно с выделением желтого пламени и белого дыма. Модификатор является очень эффективным и позволяет получать тонкостенные отливки без отжига; дальнейшее улучшение модифицирующего эффекта возможно при электролизе шлака, что способствует переходу модификатора в жидкий чугун.

Кроме ОЗ, в Японии имеет широкое применение модификатор КС разного состава (табл. III.5) в пакетах массой 1—25 кг с размерами кусков до 25 мм. Во всех случаях при применении магниевых лигатур весьма целесообразно предварительное обескисление чугуна, что повышает его свойства и снижает расход модификатора. Полезно также перемешивание чугуна азотом, что снижает расход Mg на 20—25% и повышает свойства чугуна [16].

Для сфероидизации графита в низкосернистых чугунах применяют также черные присадки (табл. III.6). Эти лигатуры характеризуются простотой ввода в чугун, но, вместе с тем, высокой стоимостью и необходимостью иметь низкое содержание серы в чугуне, причем они несколько ухудшают форму графита. Поэтому большое внимание уделяется и другим РЗМ для получения ВЧШГ [13, 14, 16]. Кроме лигатур, перечисленных в табл. III.5, в которых содержание РЗМ может составлять до 10%, производится ряд других. Так, на Ключевском заводе ферросплавов изготавливают лигатуру следующего состава: 28—35% РЗМ (в том числе 3—4% Y); 45—47% Si; 4—6% Al; 3—4% Са. Там же изготавливают сплавы силикомишметалла (симиш) (ТУ 14-5-24—73) и сиишметалла (ТУ 14-5-50—74),

Японские легатуры КС

Торговая марка	Массовая доля элементов, %				Способ применения
	Mg	PЗМ	Ca	Si	
C-3	2—4	1—3	1—2	42—47	Сэндвич-метод
C-4	3—5	2—3	2—3	40—45	»
C-6	5—7	2—3	2—3	40—45	»
C-8	7—9	3—4	2—3	40—45	»
C-10	9—11	4—5	3—4	40—45	Погружение плунжем
C-15	14—16	6—7	3—4	45—50	Спецметоды ввода
C-20	19—21	6—7	3—4	45—50	»
C-30	29—31	7—8	3—4	45—50	»

Таблица III.6

Цериевые присадки для сфероидизации графита

Обозначение присадки	Массовая доля элементов, %							ТУ
	Ce	Mg	La	Nd	Pr	Sm	Fe, не более	
Ферроцерий	40—55	—	18—25	10—12	5—7	—	15	ЦМТУ 05-20—67
Мишметалл	52	—	24	18	5	1	05—2	—
Цериевый мишметалл								
МЦ40	≥40	—	La + Nd + Pr + + Sm = 100 — (Ce + Fe)				6	ТУ Гиредмета 48-4-280—73
МЦ65	≥65	—					6	
МЦ75	≥75	—					6	
ФЦМ-5	40—50	5—7	18—25	10—12	5—7	—	10	РЭТУ 631-60131
МЦМ-5	≥45	4,5—7					6	ТУ 200—73

Примечание.

Ферроцерий и ФЦМ-5 в количестве 0,5—1,0% зачастую добавляют в литниковую чашу формы для стабилизации процесса модифицирования. Подобным МЦ75 является модификатор ММ-5 состава 75,3% Ce; 5,9% La; 4,8% Nd; 1,7% Pr и 5,4% Mg, качество которого значительно ниже из-за присутствия La, способствующего выделению ПГ (см. Мильман Б. С., Клочнев Н. И., Захаров А. П. Исследование некоторых физико-химических свойств чугуна, обработанного Са-РЗМ-содержащими присадками. В кн.: «Теория и практика производства высокопрочного чугуна». Киев, 1960, с. 115—120).

состав которых приведен в табл. III.7. Кроме того, разработаны легатуры ФСМ цериевой группы, содержащие в составе РЗМ около 50% Ce и около 25% La (табл. III.8)*.

* Для синтетического ВЧШГ завод «Водоприбор» на основе исследований Л. Б. Когана рекомендует в качестве оптимального модификатора цериево-иттриевый силикомишметалл (СИММ), изготавливаемый Ключевским заводом ферросплавов по ТУ 141-39—72. Его графитизирующее действие сильно возрастает при добавке 5—6% Са и до 5% Al. Расход этого модификатора (0,8—1,0%) в 1,5 раза меньше цериевого. Оптимальные условия термовременной обработки и модифицирования: перегрев чугуна 1500—1550° С, выдержка 20—30 мин, температура модифицирования 1420—1450° С, выдержка после модифицирования 15—60 мин. При этом механические свойства получаемого ВЧШГ в сыром состоянии достигают: $\sigma_B = 54 \div 58$ кгс/мм², $\delta = 7 \div 8\%$.

Таблица III.7

**Модифицирующие лигатуры
Ключевского завода ферросплавов**

Лигатуры	Σ PЗМ, %, не менее	A1, %	Si, %	Fe
		не более		
Симиш-1	25	10	50	Остальное То же » » »
Симиш-2	10	15	60	
Синтмиш-1	28	10	60	
Синтмиш-2	25	8	60	
Синтмиш-3	15	7	55	

Примечание.
В лигатурах Синтмиш, содержащих Y, допускается до 5% Са.

Таблица III.8

Составы лигатур ФСМ

Лигатура	Σ рзм, % не менее	Al, %	Si, %	Fe
		не более		
ФСМ-1	25	5	55	Осталь- ное
ФСМ-2	30	8	55	То же
ФСМ-3	15	10	60	»

Однако в СССР и за рубежом все еще имеет большое применение чистый магниевый процесс. Этот процесс является дешевым, но связан с необходимостью изготовления специальных устройств для ввода Mg в чугун (автоклавы, герметизированных ковшей). В связи с этим все больше развивается обработка чугуна лигатурами, ввод которых проще, так как при невысоком содержании Mg пироэффект меньше или почти исчезает. При получении ВЧШГ используется большое количество различных сфероидизирующих модификаторов, которые подбирают опытным путем в зависимости от условий производства, так как соответствующие рекомендации еще не установлены. При обработке чугуна чистым Mg и лигатурами возникает опасность образования «черных пятен»*, для устранения которых применяют криолит, плавиковый шпат и другие хлористые и фтористые соли.

При модифицировании чугуна одновременно происходят обессеривание, дегазация и другие процессы. Поэтому дозировка модификатора определяется расходом его на эти процессы, главным образом на соединения с серой, и при модифицировании чистым Mg количество его (в %) может быть определено по формуле:

$$Mg = \frac{(0,04 \div 0,1) + 0,76 (S_n - S_o)}{A}, \quad (III.1)$$

где S_n и S_o — содержание S исходное и остаточное, %; $0,04 \div 0,1$ — остаточный Mg (%) в зависимости от толщины отливки и других факторов; A — коэффициент усвоения Mg.

При недостаточном количестве остаточного Mg образуется смешанный графит или ВГ, а при избытке — частичный или полный отбел. Коэффициент усвоения Mg зависит от типа модификатора и метода его ввода, температуры металла после обработки и др. Правильная дозировка модификатора определяется опытным путем при первых плавках. Например, влияние температуры и типа модификатора на усвоение Mg может характеризоваться данными табл. III.9.

С целью повышения степени усвоения Mg и уменьшения его расхода создают над зеркалом металла увеличенное давление, при котором возрастает температура кипения (t_k) магния**, обеспечивается медленное парообразование и создаются

* «Черные пятна» представляют собой окислы и сульфиды Mg и Mn и графит.

** Зависимость t_k и расхода Mg от давления характеризуется следующими данными:

Давление, кгс/см ² (10^5 Па)	2	4	6
t_k , °C	1200	1280	1350
Расход Mg, %	0,4	0,3	0,25

Влияние температуры и состава модификатора на усвоение магния

Модификатор	Усвоение Mg (%) при t , °C		
	1350—1400	1400—1450	1450—1500
14—16% Mg, 82—85% Ni	70—60	60—50	50—40
17—20% Mg, 50—55% Ni	55—45	45—35	35—30
25—30% Si			
12—16% Mg, 12—20% Fe, остальное Si	30—20	20—15	15—10

условия для максимального усвоения Mg. Для лучшего усвоения магниевую присадку можно вводить в чугун не всю сразу, а несколькими порциями по мере заполнения формы.

Примерная дозировка присадок Mg приведена в табл. III.10 [18].

Для получения тонкостенных отливок без отбела рекомендуется после ввода сфероидизирующего модификатора проводить вторичное графитизирующее модифицирование, которое способствует также уменьшению усадочных дефектов и внутренних напряжений. При этом при толщине стенки отливки 15—20 мм чаще всего в качестве модификатора применяют ФС75 и ФС90 (ГОСТ 1415—70). Как и для СЧ, рекомендуется применять ФС с повышенным содержанием Al и Ca. Для тонкостенных отливок следует применять смеси или лигатуры, в состав которых, кроме Si, входят элементы, повышающие степень графитизации чугуна: Al, Ce, Ca, Sr, La и др. В частности, можно рекомендовать лигатуру состава: 70—75% Si; 10—15% Al; 5—7% Ce, остальное Fe. Влияние вторичного модифицирования такой лигатурой видно из данных табл. III.11.

Наряду с относительно простыми сплавами на основе ФС находят применение более эффективные многокомпонентные сплавы, например, лигатура, содержащая 36% Si; 18% Ca; 2,5% Al; 4,6% Ti; 8% Ce; 4% La; 4% C; ост. Fe. Отмечается также целесообразность ввода, как и при получении КЧ, небольших добавок Te, Bi, В и других элементов, которые обычно относят к карбидообразующим*.

Способы обработки жидкого чугуна сфероидизирующими модификаторами весьма разнообразны и зависят от типа модификатора, массы модифицируемого чугуна и других факторов. Способы обработки приведены на рис. III.2.

Схема а. В герметизированный ковш** или копыльник вводится чистый Mg (можно вводить сплав электрон или легковесную лигатуру) с помощью колокола с отверстиями [5]. Колокол-испаритель представляет собой металлический или графитный стакан, укрепленный на штанге. Боковая поверхность колокола имеет ряд отверстий. Колокол погружается в ковш, заполненный чугуном; при этом пары Mg, проходя через отверстия, пронизывают расплав. Интенсивность кипения Mg регулируется автоматически или вручную путем изменения давления в период модифицирования или создания постоянного давления, которое к концу процесса должно оставаться несколько выше упругости паров Mg. Недостаток способа — сложность герметизации ковша, необходимость изготовления, зарядки и замены колоколов, а в случае открытого ковша — выбросы металла и недостаточное усвоение Mg.

* Особо эффективным является модифицирование лигатурой КМ-2 (вместо Mg), а затем силикобарием (Si — Ba), что обеспечивает отсутствие цементита, однородность структуры и высокие свойства чугуна ($\alpha_n = 9 \text{ кгс·м/см}^2$, $\delta = 17\%$, $\sigma_b = 55 \text{ кгс/мм}^2$).

** Конструкция различных герметизированных ковшей разработана ЦНИИТмашем. Расход Mg в них составляет 0,15—0,3%; вместе с Mg вводится 0,3—0,6% ФС75. Новая конструкция установки модели УМ4-1 для ввода Mg—Ca-лигатур в ковш разработана ИПЛ АН УССР.

Примерная дозировка магниевых присадок при получении чугуна с шаровидным графитом

Метод обработки чугуна магниевыми присадками	Температура металла при присадке магния, °С	Количество магния (% от массы жидкого чугуна) при применении			
		магния металлического или сплава типа электрон	магниевых лигатур с содержанием магния, %		
			40—50	15—25	8—10
В барабанных, конвертерных или других открытых ковшах емкостью до 1,5 т с обработкой чугуна вне камер и с вводом присадок в колоколах, карманах ковшей или с помощью простых удерживающих приспособлений	1350—1400 1410—1450	0,35—0,45 0,45—0,55	До 0,4 » 0,5	0,25—0,30 0,30—0,35	0,15—0,20 0,20—0,25
В ковшах открытого типа емкостью 2—10 т и более с обработкой металла в камерах или вне камер под крышками с вытяжкой и в копильниках вагранок при вводе присадок в колоколах	1350—1400 1410—1450	0,4—0,6 0,5—0,7	До 0,5 » 0,6	0,30—0,35 0,25—0,30	0,20—0,25 0,15—0,20
Под давлением в специальных ковшах и автоклавах	1350—1400 1410—1450	0,15—0,3 0,20—0,35	До 0,25 » 0,3	~0,2 ~0,25	~0,15 ~0,20
Примечания: 1. Дозировки даны с учетом содержания серы в исходном чугуне около 0,10%. При другом содержании серы количество Mg должно быть соответственно изменено. 2. Дозировки даны для деталей с толщинами стенок до 120 мм. При больших толщинах количество Mg надо увеличить. Нижние пределы относятся к меньшим сечениям и меньшим температурам металла, верхние пределы — к большим сечениям и более высоким температурам металла.					

Схема б. В открытый ковш или копильник вводятся калиброванные магниевые прутки или проволока [29]. Недостатки — длительность процесса и зашлаковывание в месте ввода прутка.

Таблица III.11

Влияние количества лигатуры на свойства чугуна при вторичном модифицировании

Количество лигатуры, %	Глубина отбела клина, мм	Механические свойства чугуна (без термообработки)		
		σ_B , кгс/мм ² (10 ⁷ Па)	δ , %	НВ
0,5	6,9	49,3	6,1	192
0,8	4,7	55,4	13,3	187
1,0	3,5	55,8	14,1	183

Схема в. В герметизированный ковш поступает из испарителя парообразный Mg. Обработка чугуна парообразным Mg характеризуется низкими тепловыми потерями, так как суммарная теплота нагрева, плавления и испарения Mg составляет примерно 1800—2000 ккал на 1 кг Mg. Недостаток — сложность устройства испарителя и герметизации ковша.

Схема г. В автоклав помещают ковш с чугуном, создают избыточное давление сжатым воздухом 5—6 ати [(5—6)10⁵ Па] и с помощью колокольчика на

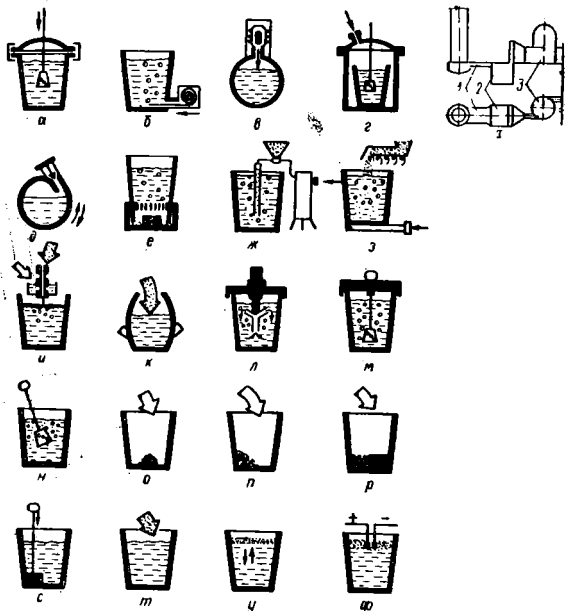


Рис. III.2. Способы обработки жидкого чугуна сфероидизирующими присадками

плунжере вводят Mg. Иногда одновременно колокольчиком перемешивают чугун. Усвоение Mg составляет 40—60%. В автоклавах конструкции НИИСЛ, которые выпускает Тираспольский завод литейных машин, Mg укладывается до закрытия крышки в бункер, дном которого является диск мешалки. При первом ходе мешалки Mg сбрасывается на поверхность чугуна и перемешивается [20]. Привод автоклавов гидравлический, корпус водоохлаждаемый. Вода циркулирует в полости между цилиндрической частью корпуса и наружным кожухом. Днище и крышка футерованы. Крышка прижимается к корпусу механическими зажимами. Управление автоклавами дистанционное с пульта. После создания давления чугун и Mg перемешиваются механически; применяют графитовые, металлические, футерованные огнеупорной массой или керамические мешалки. Длительность перемешивания в зависимости от количества вводимого Mg, температуры чугуна и емкости ковша — от 0,8 до 4 мин. Необходимая длительность процесса перемешивания поддерживается редко времени.

Разработанные НИИСЛ конструкции камер-автоклавов (КМ) характеризуются рис. III.3 и данными табл. III.12. Эти конструкции обеспечивают автоматическое регулирование давления в зависимости от температуры чугуна и допускают применение как чистого Mg, так и его лигатур. Давление должно быть тем больше, чем выше температура чугуна. Недостатки конструкции — сложность устройства и обслуживания автоклава, длительность цикла обработки и падение температуры.

Схема д. Поворотный герметизированный ковш барабанного или конверторного типа, имеет камеру (карман), в которую перед заливкой чугуна помещают заряд Mg или лигатуры. После заливки через горловину и герметизации ковш поворачивается на 90°; при этом чугун входит в камеру с Mg и подвергается модифицированию (5). Недостатки таких ковшей: сложность конструкции, трудоемкая подготовка к работе, необходимость очистки металла от шлака, длительность цикла обработки и большие потери температуры.

Схема е. На дно ковша помещают кокс, пропитанный Mg, или брикеты из губчатого железа и Mg. Кокс удерживают штангой или устанавливают постоянную перегородку из высокоглиноземистого огнеупора с отверстиями. Недостаток — сложность подготовки ковшей. Эффективен при однократной обработке больших масс чугуна.

Схема ж. Порошкообразный Mg или тонкоизмельченную смесь Mg с графитом или известью вдувают (путем инжекции) с помощью струи нейтрального газа, например азота, или сухого воздуха [4]. Узкое звено процесса — расход азота и графитовых трубок, выдерживающих обычно от четырех до пятидесяти

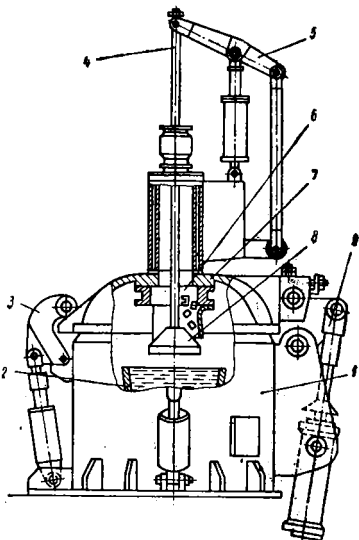


Рис. III.3. Камера-автоклав для введения Mg в чугун:

1 — корпус; 2 — ковш с жидким чугуном; 3 — механизм запирания камеры; 4 — шток; 5 — механизм перемешивания; 6 — полость для магнезии; 7 — крышка; 8 — мешалка; 9 — механизм открывания крышки

Характеристики автоклавов конструкции НИИСЛ

Параметры	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
Емкость ковша, т	0,3	0,8	3	7	15
Производительность установки, т/ч	3,5	6	10	15	30
Расход Mg, %	0,15—0,2	0,15—0,2	0,15—0,2	0,2—0,25	0,2—0,25
Длительность обработки, мин	4—5	5—6	10—12	15—20	20—25

операций. Трубки рекомендуется вводить под некоторым углом к поверхности металла. Модификатор находится в герметически закрытом бункере и сыпается через отверстие в подводящую трубку, где захватывается движущимся газом-носителем.

Схема з. Производится продувка азотом для перемешивания чугуна (способ «Осмос» или «Газал») при давлении 1—2 ати [(1+2) 10^6 Па] через пористую огнеупорную вставку в днище ковша. Возникающие вертикальные циркуляционные потоки захватывают присадки, засыпаемые с помощью дозатора на поверхность ковша. Недостатки — сложность футеровки ковша, потеря тепла металлом, расход азота.

Схема и. Процесс выполняется с помощью промежуточной емкости (способ «Т-Нок»). Над разливочным ковшом помещают промежуточную емкость с полый керамической вставкой в днище, куда устремляется поток чугуна, образуя полую воронку. Из дозатора порошкообразный модификатор высыпается в середину потока с такой скоростью, чтобы реакция закончилась в конце струн. Узким звеном процесса является сложность регулирования гидродинамического баланса.

Схема к. Особенность процесса — использование ковша, вращающегося эксцентрично или встряхиваемого для лучшего перемешивания чугуна. Вместо вращения, наклона или встряхивания ковша можно применять электромагнитное перемешивание металла. При этом используют модификаторы с большой плотностью.

Схема л. Использование ковша с механическим перемешиванием металла при помощи огнеупорных мешалок (способ «Остберг» или «Райншталь»). Способ пригоден для глубинного перемешивания чугуна при применении лигатур, имеющих малую плотность.

Схема м. Погружение одного или нескольких колокольчиков-испарителей под массой тяжелой крышки на дно ковша [12].

Схема н. Погружение колокольчика-испарителя в ковш вручную. Недостаток — выбросы металла при применении Mg или лигатур с высоким содержанием Mg.

Схема о. Выпуск чугуна в ковш с помещенной в него лигатурой.

Схема п. Выпуск чугуна в ковш с помещенной в него лигатурой, прикрытой листом или скрапом. Схемы о и п применяются только для тяжелых модификаторов.

Схема р. Выпуск чугуна в ковш с лигатурой, помещенной в кармане ковша (способ «Сэндвич»). В футеровке днища разливочного или промежуточного ковша делается специальная полость, соответствующая объему загружаемого в нее модификатора. Сверху лигатура прикрывается стальной высечкой толщиной 1,5—8 мм в количестве 1,5—2,0% от массы металла. Струя жидкого чугуна направляется в противоположную часть ковша и затем распространяется по прикрытой лигатуре (применяется при тяжелых и средних по плотности лигатурах). Реакция протекает спокойно и длится 20—120 с. При использовании лигатуры с размерами кусков 10—20 мм достигается следующее усвоение Mg: 41% из Mg—Fe—Si,

78% из Ni—Mg—Si и 91% из Ni—Mg-лигатуры. При использовании Ni—Mg-лигатуры при обычной загрузке на дно ковша без прикрытия (схема а) получено усвоение Mg, равное 25%, при вводе в колокольчике-испарителе (схема м) — 38% и способом «Сэндвич» (схема р) — 51%.

Схема с. Выпуск чугуна в ковш с лигатурой, помещенной в кармане ковша, образованном разделением дна ковша перегородкой на две неравные части. Лигатура укладывается в меньшее по объему углубление, образованное перегородкой, и прикрывается сверху слоем мелкого слегка утрамбованного CaS_2 . При заполнении ковша чугуном CaS_2 спекается; поэтому для того, чтобы началась реакция, специальной заостренной штангой делается прокол в слое CaS_2 . Расход модификатора при этом способе получается меньше, чем при способе «Сэндвич».

Схема т. Засыпка лигатуры на поверхность металла. Этот способ может быть рекомендован лишь для корректировки содержания Mg в ковше.

Схема у. Обработка реактивными покровными флюсами, из которых с помощью силикокальция восстанавливаются сфероидизаторы. Иногда при этом способе используют промежуточную емкость (см. схему и).

Схема ф. Проведение процесса электролиза, при котором сфероидизаторы переходят в расплав из флюса, состоящего из MgCl_2 , CaCl_2 и небольшого количества хлоридов и фторидов церия. Производится в печах с основной футеровкой при $t = 1360 + 1370^\circ \text{C}$.

Схема х. Модифицирование в форме заключается в том, что тонко измельченную лигатуру или смесь помещают в расположенную под питателем 1 реакционную камеру 2. При определенном сочетании температуры и скорости заливки чугуна модификатор растворяется движущимся потоком металла по мере заполнения формы. Реакция протекает без прямого контакта с воздухом, пироэффект отсутствует. Для предотвращения образования неметаллических включений между реакционной камерой и отливкой устанавливают центробежный шлакоуловитель 3. Узкое звено процесса — необходимость низкого содержания серы в исходном чугуне, строгого контроля температуры и скорости заливки, необходимость предварительного измельчения модификатора [26].

Во всех способах осуществляются ввод Mg в ковш на максимальную глубину и движение паров Mg снизу вверх и зеркалу металла. Одновременно должны быть обеспечены защита обслуживающего персонала от свечения и выбросов чугуна и эффективный отвод выделяющихся газов. Ковш надо наполнять жидким чугуном не более чем на 70—80% по высоте. Поверхность жидкого чугуна перед вводом модификатора должна быть очищена от шлака. Нормальная продолжительность реакции 1—5 мин. Об окончании реакции судят по прекращению свечения или выделения белого дыма, а также по времени. При повторном графитизирующем модифицировании тщательно счищают шлак, образовавшийся при обработке Mg, вводят ферросилиций (ФС) или лигатуру из ФС, Al и Ca и хорошо перемешивают их с металлом.

Процессы плавки и модифицирования должны строго контролироваться. Для контроля качества чугуна отливают клиновые образцы и трёфы (ГОСТ 7293—70). Кроме того, определяют C_2 по кривым затвердевания, содержание кремния — по термо-э. д. с., структуру и механические свойства чугуна — электромагнитными методами и ультразвуком, дефекты — просвечиванием гамма-лучами и т. д. При выдержке модифицированного чугуна наблюдается демодификация вследствие уменьшения содержания Mg, особенно в ковшах и тиглях с кислой футеровкой. Темп уменьшения содержания Mg в расплаве резко снижается при выдержке в темпе с нейтральной или магнетитовой футеровкой. Оптимальной для выдержки и подогрева жидкого магниевого чугуна является дистенсилиманитовая футеровка, которая по нейтральным свойствам не уступает графиту, а по стойкости — кварцитовой футеровке.

Из всех описанных способов ввода модификатора наибольшее распространение в нашей стране получили: обработка Mg в автоклаве (схема г), погружение колокольчика-испарителя под массой тяжелой крышки (схема м), в герметизированном ковше или копыльнице (схема д) и обработка лигатурами (схемы о, п, р). Весьма перспективным является модифицирование в форме (схема х).

Присадки	Назначение	Количество присадки, % от массы чугуна	Способ ввода
Висмут	Предотвращение «отсеривания» (выделений графита до отжига)	0,0015—0,01 Bi	В ковш перед разливкой
Висмут + сурьма	То же	(0,001—0,005) Bi + (0,001—0,005) Sb	В виде лигатуры в ковш перед разливкой
Висмут + марганец	»	(0,001—0,005) Bi + (0,001—0,005) Mn	То же
Теллур	»	0,0003—0,01 Te	В ковш перед разливкой в виде брикетов
Висмут (висмут + сурьма, висмут + марганец) + бор, висмут + алюминий или висмут + бор + алюминий	Предотвращение «отсеривания» и сокращение длительности отжига	а) (0,0015—0,01) Bi + (0,002—0,005) B б) (0,001—0,005) Bi + (0,001—0,005) Sb + (0,002—0,005) B в) (0,001—0,005) Bi + (0,001—0,005) Mn + (0,002—0,005) B г) (0,001—0,005) Bi + (0,01—0,03) Al д) (0,001—0,005) Bi + (0,002—0,005) B + (0,01—0,03) Al	В виде смеси или лигатуры в ковш, на струю металла или раздельно: алюминий — в раздаточный ковш; висмут, бор — в разливочный ковш
Теллур (теллур + медь, теллур + сера, теллур + водород) + бор + алюминий	То же	а) (0,0003—0,005) Te + (0,002—0,005) B + (0,01—0,03) Al б) (0,0001—0,005) Te + (0,0001—0,005) Cu + (0,002—0,005) B + (0,01—0,03) Al в) (0,0001—0,005) Te + (0,01—0,2) S + (0,01—0,03) Al г) (0,0001—0,005) Te + (0,01—0,2) H + (0,002—0,005) B + (0,01—0,03) Al	В виде брикета, сплава или смеси в ковш, на струю металла или раздельно: алюминий — в ковш; теллур + медь, теллур + сера, теллур + бор — в виде брикета в литниковую систему формы

Присадки	Назначение	Количество присадки, % от массы чугуна	Способ ввода
Сурьма + бор или сурьма + бор + алюминий	Предотвращение «отсерования» и сокращение длительности отжига	а) $(0,004-0,007) \text{ Sb} + (0,002-0,004) \text{ B}$ б) $(0,004-0,007) \text{ Sb} + (0,002-0,004) \text{ B} + (0,015-0,020) \text{ Al}$	В виде смеси в ковш, на струю металла
Сера + алюминий или сера + бор + алюминий	Сокращение продолжительности отжига и получение шаровидного графита	а) $(0,2-0,5) \text{ S} + (0,01-0,03) \text{ Al}$ б) $(0,2-0,5) \text{ S} + (0,01-0,03) \text{ Al} + (0,002-0,004) \text{ B}$	Сера в шихту или в ковш; алюминий, бор — в ковш
Магний или магниевые лигатуры	То же	0,1—0,5 Mg	Введение при содержании серы в чугуне не более 0,02%
Иттрий или его концентраты	»	0,1—0,5Y	То же
Атомарный азот или его соли (цианамид кальция, железосинеродистый калий, мочевины и т. д.) + бор* + алюминий	Нейтрализация повышенного содержания хрома (до 0,15%) и сокращение длительности отжига	а) $(0,005-0,1) \text{ N}_2 + (0,002-0,005) \text{ B} + (0,01-0,03) \text{ Al}$ б) $(0,01-0,25) \text{ CaCN}_2 + (0,002-0,005) \text{ B} + (0,01-0,03) \text{ Al}$	В ковш в виде смеси, брикета или отдельно: алюминий — в раздаточный ковш; азот и бор — в разливочный ковш

Примечания:

- Дефицитный Вi в комплексном модификаторе можно заменять Те [7].
- На Кутаисском автомобильном заводе внедрен модификатор ЖМКМ следующего состава: 48—55% Si; 20—25% Mn; 7—12% Ca; 2,5—6,0% Al; 2—3% Mg для чугуна с $C_s = 2,76 \div 3,16\%$ и $Mn : S = 1,0 \div 2,4$, что сокращает отжиг вдвое и уменьшает опасность «отсерования», т. е. выделения пластинчатого графита, при повышенном содержании графитизирующих элементов.

Модифицирование при производстве ковкого и отбеленного чугунов

Для модифицирования КЧ применяются два вида присадок: стабилизирующие, предотвращающие выделение пластинчатого графита («отсеривание») в толстых частях отливок при повышенном содержании C и Si , и графитизирующие, сокращающие цикл отжига при нормальном составе КЧ и устраняющие вредное влияние стабилизирующих модификаторов, способствующих уменьшению зародышей при отжиге. Применяемые модификаторы (по данным Е. А. Васильева) представлены в табл. III.13. Следует отметить, что присадка сфероидизирующих модификаторов позволяет значительно повысить содержание C и Si в чугуне и тем самым существенно сократить длительность отжига и повысить свойства КЧ благодаря образованию ШГ; присадка же небольших количеств таких элементов, как Sb и B , помимо предотвращения «отсеривания» обеспечивает получение КЧ с перлитной структурой.

Таблица III.14

**Составы модифицирующих покрытий
для кокилей**

Номер покрытия	Массовая доля компонента, %			
	ФС75	СК	Алюминиевая пудра	Бура обезвоженная
1	53	—	—	47
2	47	—	11	42
3	—	34	—	66
4	—	33,2	7,8	59

Примечание.
Графитизирующее покрытие готовится в виде суспензии. Жидкая фаза, масса которой составляет 500% от массы твердых компонентов, состоит из 90% растворителя № 651 и 10% лака АК113 или ГФ-95.

Для регулирования толщины переходной зоны вместе с теллуром вводят иногда черный графит в количестве 300—500 г на 1 т металла, либо ФС75 или СК в количестве 100—150 г на 1 т металла. Выдержка металла до заливки формы не должна превышать 3—10 мин.

При повышенной склонности к отбелу чугун целесообразно модифицировать добавкой ФС75 или СК в количестве 0,08—0,20%. Выдержка металла после модифицирования — не более 8—15 мин.

При производстве отливок в кокилях применяют модифицирующие покрытия для предупреждения отбела [9]. В случае центробежного литья вращающийся кокиль покрывают порошком ФС75 или ФС90, а при фасонном литье графитизирующее покрытие толщиной 12—16 мм наносят на теплоизоляционное покрытие.

Составы модифицирующих покрытий приведены в табл. III.14. Покрытие должно иметь температуру плавления не более 1100°С. Оптимальные размеры зерен ФС и СК 0,10—0,16 мм.

Время плавления покрытий должно быть связано с временем нахождения наружных слоев в жидком и жидко-твердом состоянии и не должно превышать 16—18 с. При этом температура заливаемого чугуна должна быть в пределах 1350—1450°С, а формы — 150—250°С.

2. КОВШОВОЕ ЛЕГИРОВАНИЕ

Легирование чугуна с использованием ковшовых добавок имеет следующие преимущества по сравнению с введением легирующих элементов в шихту: снижаются потери за счет окисления; уменьшается расход ферросплавов; повышается точность состава; появляется возможность регулирования свойств чугуна после выдачи его из печи; при плавке в ИЧТ ковшовое легирование обеспечивает возможность ведения плавки на единой шихте с «болотом» и получение при этом небольших порций легированного чугуна.

Повышение эффективности ковшового легирования требует обеспечения стабильного и высокого коэффициента усвоения и равномерности концентрации элемента в объеме металла. Решающее влияние в этом направлении оказывает температура чугуна при выпуске, повышение которой способствует наиболее полному и быстрому растворению добавок, а снижение вязкости, интенсификация конвекционных потоков и диффузионных процессов способствуют более равномерному распределению легирующих элементов. Повышенные температуры чугуна необходимо еще и потому, что при ковшовом легировании она понижается примерно на 10°C на 1% добавок. Все же при $t = 1420 \div 1440^\circ\text{C}$ (замер теплопары погружения) и соблюдении требований технологии процесс протекает нормально даже при 2% ковшовых добавок. При более низких температурах ограничивается количество добавок и снижается стабильность процесса.

Большую роль играет также размер кусков ферросплавов; так, при уменьшении размера кусков Fe—Mo, вводимых в ковш емкостью 3 т, резко повышаются усвояемость и равномерность концентрации Mo, как это видно из табл. III.15.

Таблица III.15

Влияние размеров кусков ферромолибдена на его усвояемость

Размер кусков, мм	Усвояемость, %	Содержание Mo (%) в пробах чугуна, взятых на различной высоте ковша, мм			
		300	600	900	1200
20—10	54,6	0,37	0,42	0,56	2,50
10—4	61,7	0,36	0,41	0,50	1,65
4—1	89,1	0,50	0,49	0,50	0,51

Эффективность процесса может быть повышена путем интенсивного перемешивания чугуна при введении добавок. Для этой цели используются стелды с вращающейся рамой, на которой укрепляется ковш с некоторым эксцентриситетом по отношению к оси вращения рамы. По зарубежным данным, такие установки успешно используются для ковшей емкостью до 25 т. Для этой же цели применяется «Газал-процесс» (см. схему з рис. III.2). Эффективность процесса можно повысить также путем равномерного ввода мелко раздробленных добавок в струю чугуна на желобе печи при помощи вибрационного или шнекового дозатора. Хорошие результаты в производстве получены при введении таких добавок, как FeMo, FeCr, Ni в количестве до 2%, при использовании шлюзового устройства (рис. III.4) на желобе ваграночного копильника. Интенсивное перемешивание металла с кусками ферросплава, подаваемыми дозатором I, в объемах, образуемых перегородками 2, обеспечивает быстрый прогрев и растворение добавок.

Наибольшее распространение при ковшовом легировании чугуна для деталей машиностроения имеют: никель марки Н-4, медь марки М-4 и сплавы ФМн75, ФХ650, ФХ800, ФСХ18—ФСХ40, ФМЗ. Влияние некоторых из этих добавок на механические свойства чугуна показано на рис. III.5. При выборе присадки приходится учитывать не только ее эффективность, но и дефицитность и стоимость. С этой точки зрения наибольший интерес представляют Mn и Cr, в особенности ФСХ, в котором, наряду с Cr, имеется Si, оказывающий не только легирующее, но и модифицирующее влияние и предотвращающий выделение структурно-свободного цементита, что позволяет увеличить концентрацию Cr. При этом следует

учитывать массу и толщину стенок отливок и в зависимости от этого выбирать ту или иную марку ФСХ с соответствующим отношением $Cr : Si$, которое колеблется от 0,75 до 2,5.

ФСХ поставляется в виде гранул или кусков. При поставке в кусках он легко дробится. Благодаря его относительно низкой температуре плавления (1250—1350° С) обеспечиваются высокий коэффициент усвоения и равномерность распределения элементов. Необходимо отметить, что к числу ковшовых добавок, используемых для изменения состава чугуна, нужно отнести и ФС, который используется не только для модифицирования, но и для легирования.

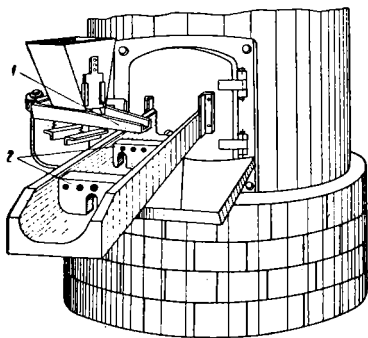


Рис. III.4. Шлюзовое устройство на желобе ваграночного копыльника:

1 — вибродозатор; 2 — перегородки

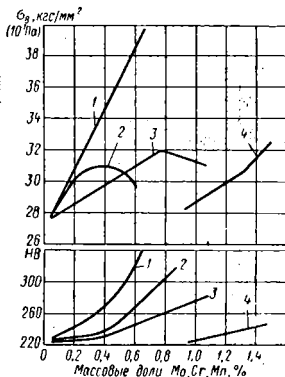


Рис. III.5. Влияния легирования ковшовыми добавками на механические свойства чугуна:

1 — легирование ферромолибденом; 2 — феррохромом; 3 — ферросиликохромом ФСХ30; 4 — ферромарганцем

Одной из перспективных областей применения ковшовых добавок является микролегирование, при котором за счет введения небольших количеств (до 0,1%) некоторых элементов существенно изменяются структура и свойства чугуна. При этом уменьшаются потери тепла и снижение температуры, появляется возможность получения малых порций легированного чугуна в разливочных ковшах малой емкости, используются сильно действующие добавки, что позволяет добиться эффекта, который трудно достижим при малом легировании традиционными элементами.

Такое микролегирование чугуна производится, например, сурьмой и оловом в литейных цехах автостроения. Так, введение 0,02—0,06% Sb в чугун для направляющих втулок клапанов позволяет получить в отливке НВ 201—265 при мелкопластинчатом перлите без структурно-свободного цементита. Для стабилизации перлита и повышения эксплуатационной стойкости чугуна для большой группы деталей легируется оловом в количестве 0,1%. В литье для станкостроения такое легирование производится бором в количестве 0,05—0,08%, который стабилизирует перлит и позволяет получать НВ 190—220 в массивных сечениях направляющих отливок станин массой 10—15 т. Микролегирование бором повышает износостойкость чугуна в 1,5—2 раза. Однако использование такого чугуна допустимо лишь в тех случаях, когда повышенный износ сопряженной детали не сказывается на точности работы станка.

3. ЭЛЕКТРОШЛАКОВАЯ ОБРАБОТКА ЖИДКОГО ЧУГУНА

Электрошлаковая технология, впервые примененная для стали, может быть использована также для обработки жидкого чугуна в специальных установках [15] с целью удаления серы и фосфора и для дополнительного перегрева на желобе, а также для электрошлаковой выплавки чугуна [8, 10], хотя последний процесс пока не получил распространения. Схемы электрошлаковых печей (ЭШП) для обработки чугуна приведены на рис. III.6. Во всех конструкциях имеются токоподводящие электроды 1, находящиеся в контакте со шлаковой ванной 2, расположенной над бассейном с металлом 3. Электрический ток, проходя через шлак, разогревает его до $1700-1800^{\circ}\text{C}$, что позволяет перегревать металл до

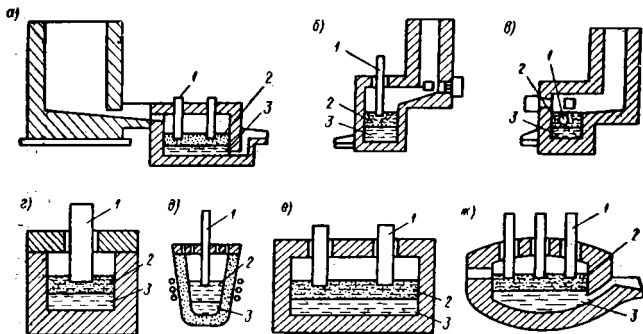


Рис. III.6. Схемы электрошлаковых печей для обработки жидкого чугуна: а — на желобе вагранки; б, в — в сочетании с газовой вагранкой; г — однофазная электрошлаковая печь; д — опытно-промышленная установка Горьковского политехнического института; е — бифилярная электрошлаковая печь; ж — трехфазная электрошлаковая печь

высоких температур и производить удаление S, P, неметаллических включений и газов, а также восстанавливать из шлака Si и Mn и производить науглероживание.

Работа ЭШП с точки зрения теплотехнической позволяет разделить установки на две группы: использующие для нагрева только электроэнергию и использующие газ и электроэнергию. Конкурентоспособность ЭШП по сравнению с другими агрегатами с точки зрения расхода энергии зависит от теплового к. п. д. Расчет теплового баланса по опытным данным печей, показанных на рис. III.6, б и в, в условиях, когда над шлаковой ванной находятся горячие продукты сгорания, дал следующее распределение статей расхода: на перегрев металла — 53,5%; электрические потери — 10,0%; потери через электроды — 20,7%; тепловые потери через стенку и подину от металлической и шлаковой ванн — 15,8%, что обеспечивает достаточно высокий к. п. д. *

Таким образом, печи с дополнительным использованием газа для расплавления шихты являются с точки зрения теплотехнической весьма эффективными, способными по затратам энергии конкурировать с другими печами. Электрические параметры этих печей в зависимости от требуемых производительности и перегрева чугуна приведены в табл. III.16. Чисто электрошлаковые печи

* Расход электроэнергии для перегрева 1 т на 100°C составляет 50 кВт·ч ($18 \cdot 10^7$ Дж), что примерно равноценно расходу при перегреве в ИП.

Параметры электрошлаковых печей, работающих на перегреве чугуна, расплавленного газовым топливом

Производительность, т/ч	Потребная электрическая мощность при перегреве чугуна на 400° С, кВт	Расстояние между электродами, мм	Сопротивление слоя шлака, Ом	Рабочее напряжение, В	Рабочий ток, А	Диаметр электродов, мм
3	600	600	0,00417	50,0	12 000	300
4	800	700	0,00357	53,5	14 950	350
5	1 000	800	0,00313	55,8	17 900	400
7	1 400	900	0,00278	62,5	22 400	450
10	2 000	1 100	0,00227	67,4	29 700	500
13	2 600	1 300	0,00192	70,6	36 800	550

(см. рис. III.6, г—ж), если в них дополнительно не используется газовое топливо, по своему тепловому балансу приближаются к ДЭП; но для электрошлаковой печи все же наблюдается более низкий расход электроэнергии, потому что теплотери от металла к своду, а затем в окружающую среду ниже, так как поверхность металла закрыта шлаком.

Расчет теплового баланса для реальных условий электрошлакового однофазного миксера при перегреве металла в стационарном режиме дает следующее распределение статей расхода: на перегрев металла — 39,9%; электрические потери — 10,0%; потери через электроды — 20,7%; тепловые потери через стенки и подину металлической и шлаковой ванн — 15,8%; тепловые потери через свод — 5,6%; тепловые потери через стенки выше металла и шлака — 2,9%; потери тепла с уходящими газами — 5,1%. Электрические параметры этих печей в зависимости от производительности, емкости и перегрева чугуна приведены в табл. III.17.

Технология электрошлаковой обработки отличается наличием слоя высокоперегретого шлака, который представляет самостоятельную металлургическую фазу и может активно взаимодействовать с металлом. В зависимости от химического состава шлака могут протекать процессы удаления тех или иных элементов

Таблица III.17

Параметры электрошлаковых печей, работающих без дополнительного топлива

Емкость ванны печи, т	Производительность при перегреве чугуна на 300° С, т/ч	Рабочее напряжение низшей стороны, В	Максимальный рабочий ток, А	Диаметр графитированных электродов, мм	Рабочая толщина слоя шлака проводимостью 2—4 Ом ⁻¹ м и см ⁻¹ , мм
0,5	0,7	110	1 200	150	160—320
1,5	1,7	118	2 570	150	80—160
3,0	2,9	123,5	4 250	200	90—180
5,0	4,0	114	6 270	300	130—260
10,0	6,0	105	10 400	350	100—200

из металла или, наоборот, поступления элементов из шлака в металл. Создавая синтетический шлак определенного химического состава, можно воздействовать на протекание указанных процессов. Кроме того, при электрошлаковой обработке происходит рафинирование металла — очистка от неметаллических включений и газов.

Состав и физические свойства шлака обуславливаются составом исходных флюсов (табл. III.18), удовлетворяющим условиям электрошлаковой обработки: электропроводность шлака должна быть $2-4 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$; температура металла под флюсами должна достигать $1500-1550^\circ \text{C}$; температура шлаков 1750°C . Это, как видно из табл. III.18, обеспечивает активное протекание процессов взаимодействия металла и шлака; что позволяет существенно уменьшить содержание S, P, неметаллических включений и газов. При электрошлаковой обработке можно в широких пределах производить науглероживание чугуна и восстановление Si и Mn. При этом можно получить практически любое требуемое содержание этих элементов в чугуне. Например, при применении флюса № 14 (стандартный флюс АН-348-А) можно получить чугун с содержанием 4% Mn и 3,5% Si, а при флюсе № 9 — с содержанием 4,5% C. Чтобы регулировать содержание этих элементов в чугуне и получать заданное их количество, при восстановительном процессе плавки необходимо добавлять в состав шлака расчетное количество SiO_2 , MnO и C.

Методика составления флюсов в зависимости от требуемого изменения химического состава чугуна основывается на формуле

$$M_{\text{шл}}^{\text{ТР}} = \frac{\Delta \text{Si}^{\text{ТР}} M_{\text{Ме}} M_{\text{SiO}_2}}{A_{\text{Si}} K_{\text{а.у}}^{\text{Si}}} + \frac{\Delta \text{Mn}^{\text{ТР}} M_{\text{Ме}} M_{\text{MnO}}}{A_{\text{Mn}} K_{\text{а.у}}^{\text{Mn}}} + \frac{\Delta \text{C}^{\text{ТР}} M_{\text{Ме}}}{K_{\text{а.у}}^{\text{C}}} + M_{\text{C}}^{\text{ВОО}} + M_{\text{CaO}}^{\text{ДЕС}} + M_{\text{CaF}_2} + M_{\text{Н}}, \quad (\text{III.2})$$

где $\Delta \text{Si}^{\text{ТР}}$, $\Delta \text{Mn}^{\text{ТР}}$, $\Delta \text{C}^{\text{ТР}}$ — требуемое увеличение содержания элемента; $M_{\text{Ме}}$ — количество обрабатываемого металла; $M_{\text{МеО}}$ — молекулярная масса окисла; A_{Si} , A_{Mn} — атомная масса элементов; $K_{\text{а.у}}^{\text{Si}}$, $K_{\text{а.у}}^{\text{Mn}}$, $K_{\text{а.у}}^{\text{C}}$ — коэффициенты активного усвоения элементов из шлака; $M_{\text{C}}^{\text{ВОО}}$ — количество C, необходимое для восстановительных процессов; $M_{\text{CaO}}^{\text{ДЕС}}$ — количество CaO, необходимое для десульфурации; M_{CaF_2} , $M_{\text{Н}}$ — требуемое количество CaF_2 и необходимых примесей для обеспечения жидкоподвижности и электропроводности.

При плавке чугуна в вагранке с дальнейшей обработкой его электрошлаковым способом необходимо также учитывать поступление в синтетический шлак ваграночного шлака плавки. Расчеты количества компонентов, которые необходимо добавлять в загрузку, производятся следующим образом. Для SiO_2 , исходя из условий его восстановления, количество добавки его на каждую загрузку рассчитывается по формуле

$$M_{\text{SiO}_2}^{\text{доб. загр}} = \frac{\Delta \text{Si}^{\text{ТР}} M_{\text{Ме}}^{\text{загр}} M_{\text{SiO}_2}}{A_{\text{Si}} K_{\text{а.у}}^{\text{Si}}} - M_{\text{SiO}_2}^{\text{ФУТ}} - M_{\text{SiO}_2}^{\text{Ш}}, \quad (\text{III.3})$$

где $M_{\text{SiO}_2}^{\text{доб. загр}}$ — количество SiO_2 , которое необходимо добавить на каждую загрузку шихты; $\Delta \text{Si}^{\text{ТР}}$ — требуемое увеличение содержания Si; $M_{\text{Ме}}^{\text{загр}}$ — масса одной металлической загрузки; M_{SiO_2} — молекулярная масса SiO_2 ; $M_{\text{SiO}_2}^{\text{ФУТ}}$ — количество SiO_2 , поступившего из футеровки; $M_{\text{SiO}_2}^{\text{Ш}}$ — количество SiO_2 , поступившего с шихтой; A_{Si} — атомная масса Si; $K_{\text{а.у}}^{\text{Si}}$ — коэффициент активного усвоения кремния.

Для марганца эта формула имеет такой вид:

$$M_{\text{MnO}}^{\text{доб. загр}} = \frac{\Delta \text{Mn}^{\text{ТР}} M_{\text{Ме}}^{\text{загр}} M_{\text{MnO}}}{A_{\text{Mn}} K_{\text{а.у}}^{\text{Mn}}}; \quad (\text{III.4})$$

Составы флюсов для электрошлаковой обработки чугуна

Номер флюса	Массовая доля элементов, %									Эффект применения	Рекомендации по составлению или марка флюса
	CaO	CaF ₂	Al ₂ O ₃	MgO	SiO ₂	MnO	FeO	C	про- чие		
1	20	80	—	—	—	—	—	—	—	Удаление серы 60—70%, неметаллических включений 55—45% и газов 30—35% от их первоначального содержа- ния	Стандартный флюс АНФ-7
2	—	70	30	—	—	—	—	—	—	То же	Стандартный флюс АНФ-6
3	45	—	55	—	—	—	—	—	—	То же, но при более вы- сокой температуре протека- ния процесса и десульфура- ции 70—80%	Стандартный флюс АН-29
4	—	80	—	20	—	—	—	—	—	То же, что и флюс № 1; возможность частичной гло- булизации графита	Стандартный флюс АНФ-9
5	20	60	20	—	—	—	—	—	—	То же, что и флюс № 1	Стандартный флюс АНФ-8
6	60	20	10	—	—	10	—	—	—	Глубокая десульфурация (90—95%) небольших коли- честв чугуна, удаление неме- таллических включений (40— 50%) и газов (30—35%)	Смесь технически чи- стых окислов (состав- ляется в соответствии с содержанием по массе каждого окисла)
7	30	20	10	—	20	10	—	10	—	Восстановление из шлака C, Si, Mn, удаление S (до 50%), неметаллических включений (30—40%) и газов (20—25%)	То же с добавкой гра- фита

Номер флюса	Массовая доля элементов, %									Эффект применения	Рекомендации по составлению или марка флюса
	CaO	CaF ₂	Al ₂ O ₃	MgO	SiO ₂	MnO	FeO	C	про- чие		
8	11	56	15	—	7	—	—	11	—	Получение чугуна из чугуна стружки (восстановление Si и науглероживание в требуемых количествах, удаление S до 60% от первоначального содержания), удаление неметаллических включений (40—45%) и газов (25—30%)	Смесь двух массовых частей известняка, пяти частей плавикового шпата, двух частей боя высокоглиноземистых огнеупоров и одной части графита
9	10	50	14	—	6	—	—	20	—	То же, но при использовании стальной стружки	То же, но две части графита
10	50	—	28	—	12	—	—	10	—	То же, что при использовании флюса № 8	Смесь десяти частей известняка или пяти частей свежесожженной извести с четырьмя частями боя высокоглиноземистых изделий и одной частью графита. Безфтористый, более дешевый, чем флюс № 8, и нетоксичный
11	40	—	28	—	12	—	—	20	—	То же, что при использовании флюса № 9	То же, что и флюс № 10, но две части графита и восемь частей известняка

Номер флюса	Массовая доля элементов. %									Эффект применения	Рекомендации по составлению или марка флюса
	CaO	CaF ₂	Al ₂ O ₃	MgO	SiO ₂	MnO	FeO	C	прочие		
12	50	—	35	—	15	—	—	—	—	Удаление S до 50%, очистка от неметаллических включений (30—40%), газов (30—35%), пригар Si на 10% от первоначального содержания	Смесь из двух частей известняка или одной части свежееобожженной извести и одной части боя высокоглиноземистых огнеупоров
13	50	—	15	—	35	—	—	—	—	То же, что и флюс № 12, но удаление S до 30%, пригар Si на 20%	То же, но бой шамотных огнеупоров
14	5	4	3	8	41	37	2	—	—	Восстановление Si и Mn в значительных количествах, удаление S (до 70%), удаление неметаллических включений и газов на 20—25%	Стандартный флюс АН-348-А
15	30,8	43,2	—	—	3	—	23	—	—	Удаление P при возможном одновременном удалении S (80—90%)	—
16	44	50	—	6	—	—	—	—	—	Удаление S (80—90%)	—
17	30	40	—	—	—	—	30	—	—	Удаление P (80—90%)	Смесь шести частей известняка или трех частей свежееобожженной извести, четырех частей плавикового шпата и трех частей кузнечной окалины

для углерода:

$$M_{\text{C}}^{\text{доб. загр}} = \frac{\Delta C^{\text{ТР}} M_{\text{Me}}^{\text{загр}}}{K_{\text{a. y}}^{\text{C}}} + M_{\text{C}}^{\text{воо}}, \quad (\text{III.5})$$

где $M_{\text{Mn}}^{\text{доб. загр}}$, $M_{\text{C}}^{\text{доб. загр}}$ — количество Mn и C, которое необходимо добавить в расчете на 1 загрузку; $\Delta M_{\text{Mn}}^{\text{ТР}}$, $\Delta C^{\text{ТР}}$ — требуемое увеличение содержания Mn и C в металле; $K_{\text{a. y}}^{\text{Mn}}$, $K_{\text{a. y}}^{\text{C}}$ — коэффициенты активного усвоения Mn и C; $M_{\text{C}}^{\text{воо}}$ — количество C, требуемое для восстановительных процессов.

Для $t_{\text{Me}} = 1500^\circ \text{C}$ и $t_{\text{шл}} = 1650^\circ \text{C}$, что обычно имеет место, коэффициенты активного усвоения можно принимать соответственно $K_{\text{a. y}}^{\text{C}} = 0,8$; $K_{\text{a. y}}^{\text{Si}} = 0,4$; $K_{\text{a. y}}^{\text{Mn}} = 0,3$.

При обработке жидкого чугуна наводят шлак путем последовательного расплавления порций флюсов. Десульфурация чугуна зависит от ряда факторов. Конечное содержание серы можно рассчитать по формуле:

$$S_{\text{к}} = S_{\text{н}} - 0,01 \tau_{\text{обр}} K_{\text{с. ш}} K_t K_{\tau} K_f, \quad (\text{III.6})$$

где $S_{\text{н}}$ и $S_{\text{к}}$ — начальное и конечное содержание S; $\tau_{\text{обр}}$ — время обработки под шлаком; $K_{\text{с. ш}}$, K_t , K_{τ} , K_f — коэффициенты, зависящие от состава шлака, его температуры, времени обработки и площади контакта металла и шлака, значения которых приведены ниже.

Коэффициенты состава шлака

Номер флюса (табл. III.18)	1	2	3	4	5	6	7	8
$K_{\text{с. ш}}$	0,91	0,75	1,00	1,02	0,87	1,17	0,57	0,73
Номер флюса (табл. III.18)	9	10	11	12	13	14	15	16
$K_{\text{с. ш}}$	0,73	0,57	0,62	0,62	0,45	0,91	1,00	1,00

Коэффициенты температуры

Температура шлака, $^\circ \text{C}$	1500	1550	1600	1650	1700	1750
K_t	0,39	0,75	0,95	1,00	1,04	1,06

Коэффициенты времени обработки

Время обработки, мин	5	10	15	20	25	30
K_{τ}	1,1	0,68	0,40	0,31	0,25	0,21

Коэффициент площади контакта

Соотношение диаметров ванны и электрода	1	2	3	4	5
K_f	0,44	0,85	1,00	1,04	1,01

4. ПРОЧИЕ МЕТОДЫ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ ЖИДКОГО ЧУГУНА

Кроме модифицирования, ковшового легирования и электрошлакового воздействия применяются и другие специальные методы обработки жидкого чугуна, характеристика и эффективность которых приведены в табл. III.19.

Характеристика и эффективность некоторых специальных методов внепечной обработки жидкого чугуна

Назначение, технологические особенности и основные параметры	Эффект обработки	
	основной	сопутствующий
Газометаллургические процессы		
Обработка технически чистым O_2 производится в ковшнике вагранки, конверторе, ковше или на желобе с целью окисления некоторых примесей и повышения температуры чугуна. Иногда за этим следует модифицирование чугуна	При расходе O_2 около $5 м^3/т$ чугуна и окислении 0,15—0,25% С; 0,2—0,25% Si; 0,2—0,3% Mn; 0,3—0,4% Fe температура чугуна повышается на 100—120°	Возможно повышение в чугуне содержания неметаллических включений и O_2
Продувка чугуна N_2 (молекулярным) в ковше через пористый стопор и пористую пробку. Операция продолжается несколько минут без модификаторов или совместно с модификаторами, десульфураторами и др. Может производиться с помощью графитовых трубок	Удаление неметаллических включений. Улучшение усвоения модификатора. Повышение σ_B . Улучшение обрабатываемости резанием. При использовании графитовых трубок эффект подобен модифицированию	Общее понижение газосодержания. Улучшение $\lambda_{ж}$. Некоторое повышение склонности к отбелыванию при продувке без модифицирования
Обработка азотосодержащими веществами с целью повышения содержания N_2 . В чугун вдувается NH_3 , $CaCN_2$ и т. д. (например, цианиды, мочевина). Вдувание производится с помощью огнеупорных трубок через пористую пробку	Повышение содержания N_2 увеличивает σ_B , $HВ$, износостойкость и др.	При критическом содержании N_2 возможно образование азотистой пористости
Обработка $СЧ$ и $КЧ$ природным газом (продувка в ковше, ковшнике или тигле печи). Возможно использование пористых огнеупорных пробок или графитовых трубок. Режим операции подбирается опытным путем	Повышение прочности низких марок и др. За счет диссоциации газа повышение содержания С и увеличение количества зародышей графита	Снижение содержания O_2 и N_2 . Возможно заметное повышение содержания N_2
Продувка чугуна газом через пористую пробку при одновременном или раздельном науглероживании и обессеривании. CaC_2 (или другие добавки) и карбюризатор засыпают в ковш предварительно или в процессе его заполнения; продувка начинается после заполнения $1/4$ ковша; скорость подачи газа (азота, воздуха) 12—230 л/мин. Длительность операции 2—4 мин. Возможна обработка порции чугуна до 10 т (чаще 1—5 т). Глиноземисто-графитовая пробка выдерживает 10—30 продувок	При добавке 1,0—1,5% CaC_2 удаление 60—90% S. Усвоение С — 60—90%	Возможно неполное усвоение CaC_2 , который остается в шлаке и, взаимодействуя с H_2O , образует взрывоопасный C_2H_2

Назначение, технологические особенности и основные параметры	Эффект обработки	
	основной	сопутствующий
Науглероживание с продувкой в ковше. Карбюризатор засыпается на зеркало чугуна в узком и глубоком ковше. Затем производится продувка N_2. Длительность обработки 1 т чугуна — 2 мин Науглероживание и повышение содержания Si или одновременно C и Si. Молотый высокопрочный ФС и карбюризатор засыпают на зеркало чугуна, затем производится продувка N_2. Длительность обработки около 2 мин Непрерывное обессеривание и науглероживание чугуна при выпуске из вагранки, причем к выпускному желобу приставляется специальный резервуар типа чайникового ковша, емкость которого равна 5—10 мин производительности вагранки. Соотношение высоты и диаметра слоя чугуна в резервуаре от 1 : 1 до 1 : 1,5; шлак из резервуара свободно стекает через порог шириной 30 см и высотой 13—15 см над уровнем чугуна. Высота рабочего пространства резервуара на 30 см превышает толщину слоя чугуна. Продувка производится через пористую пробку. Стойкость пробки 16 ч при продувке N_2 и 8 ч при продувке воздухом. Обессеривание производится при помощи 0,2% CaC_2. Получение хрупкого шлака обеспечивается дополнительным введением 0,2% коксика	Усваивается 90—100% C. Обеспечивается получение заданного состава C в синтетическом чугуне Получение заданного содержания Si и C. Усвоение 100% Si и 90—100% G Снижение содержания S с 0,18—0,20% до 0,04—0,05%. При производстве ВЧШГ можно повысить содержание C на 0,6—0,8%	Меньшая склонность к отбелу, понижение $\lambda_{ж}$. Лучшая обрабатываемость резанием Улучшение $\lambda_{ж}$ При одном обессеривании чугуна снижение t на 15—20°. При обессеривании и науглероживании понижение t на 50—80°
Физические и физико-металлургические процессы		
Плавка, выдержка и разливка в вакууме порядка 10^{-2}—10^{-3} мм рт. ст. ($133 \cdot 10^{-2}$—$133 \cdot 10^{-3}$ Па)	Уменьшение содержания N_2 (в 1,5—2 раза), O_2 и H_2 (в 2—3 раза). Повышение σ_v, снижение НВ. Уменьшение склонности к отбелу и переохлаждению	Заметное снижение демпфирующей способности чугуна

Назначение, технологические особенности и основные параметры	Эффект обработки	
	основной	сопутствующий
Обессеривание жидкого чугуна в вакуумной камере (при разрежении 0,0005 мм рт. ст.). Перед обработкой поверхность жидкого чугуна покрывается углеродосодержащим материалом с минимальным содержанием S	Доведение содержания S до 0,005%	Науглероживание чугуна
Обработка чугуна синтетическими шлаками того или иного состава (в зависимости от требуемых результатов) с целью снижения содержания P, S, неметаллических включений и газов, воздействия на последующую кристаллизацию (раздельно или совместно). Обработка производится в ковше или тигле плавильной печи	Возможно снижение содержания S, P, O ₂ , неметаллических включений и др. Улучшение структуры чугуна, технологических и других требуемых свойств	Различен в зависимости от состава шлаков и режима обработки
Обработка чугуна лопастной мешалкой с одновременной присадкой CaC ₂ для обессеривания. Производится на металлургических заводах в чугуновозных ковшах емкостью до 200 т. Мешалки могут быть установлены в копыльничках вагранок и миксерах	Снижение содержания S до 0,01%. Усвоение C и легирующих элементов 84—97%	Снижение <i>t</i> чугуна на 20—50°
Встряхивание чугуна в ковше, установленном на треугольной или подковообразной раме, с одновременной присадкой CaC ₂ (размер гранул 0,3—0,7 мм). Встряхивание может быть совмещено с продувкой и перемешиванием лопастной мешалкой. Расход CaC ₂ 0,4—1,0%. Добавляется 0,12% CaO. Оптимальная <i>t</i> проведения операции 1400—1500° С. Обработка начинается после наполнения $\frac{2}{3}$ емкости ковша (в ковш емкостью 1 т заливается 0,6—0,7 т чугуна). Для обессеривания могут быть использованы кальцинированная сода, плавиковый шпат и др. Они же используются для очистки ковша от настывшей	При расходе 1,0% CaC ₂ содержание S (0,12—0,14%) снижается на 90%	Науглероживание чугуна. Обработка позволяет заменить основной ваграночный процесс плавки кнслым. При использовании соды окисляется около 0,2% Si

Назначение, технологические особенности и основные параметры	Эффект обработки	
	основной	сопутствующий
Низкочастотная вибрация при 100 циклах в секунду и амплитуде 1 мм. Может быть совмещена с обработкой O_2	Удаление примеси цветных металлов: Pb (до 30%); Al (до 50%); Bi (до 75%); As (до 50%). При обработке кислородом повышается доля удаляемых перечисленных примесей и дополнительно удаляются: Ti, Cr, Si и др.	—
Ультразвуковая обработка жидкого чугуна. Оптимальные параметры процесса устанавливаются опытом применительно к конкретным условиям производства	Изменение условий кристаллизации, степени графитизации, уменьшение содержания газов и неметаллических включений, улучшение условий растворения легирующих элементов	—

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ

1. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ЧУГУННЫХ ОТЛИВОК

Конструкция литых деталей должна быть технологичной, т. е. обеспечивать простоту их отливки и механической обработки. Достигается это, особенно при сложных деталях, совместной работой конструктора, технолога-литейщика и технолога-механика. Требования, учет которых необходим при проектировании и изготовлении литых деталей, приведены в табл. IV.1 [22].

Минимальная толщина стенок отливок зависит от свойств заливаемого сплава, температуры заливки, размеров и конструкции отливки, а также от температуры и состояния поверхности формы. Правильно выбранная толщина стенок обеспечивает расчетную прочность, герметичность и другие эксплуатационные свойства детали, а также высокий коэффициент использования металла. Рекомендуемые наименьшие толщины наружных и внутренних стенок литых деталей приведены ниже.

Масса отливки, кг	Толщина, мм	
	наружной стенки	внутренней стенки
≤ 2	3—4	2,5—3,5
≤ 50	6—8	5—7
> 50	10—20	8—16

Если чугун имеет повышенное содержание фосфора (например, для эмалированной посуды), то минимальная толщина стенок может быть уменьшена. Для

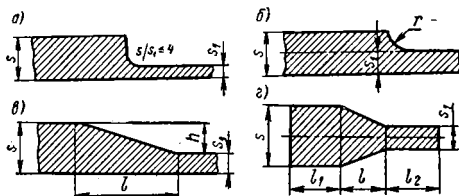


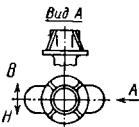
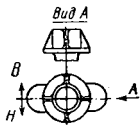
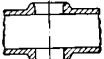
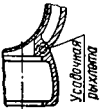
Рис. IV.1. Виды переходов от одного сечения к другому и размеры галтелей

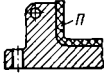
малых (масса ≤ 2 кг) и средних (масса ≤ 50 кг) отливок, изготавливаемых из модифицированного чугуна марок СЧ 32-52 и выше, толщину стенок рекомендуется увеличивать на 10—15%, а при литье в металлические формы ее следует увеличивать на 20—25%.

Переходы и углы сопряжения стенок должны обеспечить получение отливок без усадочных раковин, пористости и трещин. Это достигается за счет

**Требования, учет которых необходим при конструировании
и изготовлении литых деталей**

Рациональные условия конструирования и изготовления деталей	Схема конструкции	
	неправильная	правильная
Для деталей простой конфигурации модель должна быть неразъемной и формироваться в одной полуформе		
Для упрощения изготовления модели и формы разъем модели следует осуществлять в одной плоскости с плоскостью разъема формы		
Внутренние полости литых деталей желательно выполнять без стержней — открытыми и без поднутрений		
Верхние (по положению при заливке) горизонтальные поверхности следует заменять наклонными во избежание газовых раковин и других включений		
При оформлении внутренней полости стержнем он должен крепиться в обоих концах; применения жеребеек Ж следует избегать		
Выступающие на поверхности детали бобышки Б, которые в моделях выполняются отъемными, следует объединять и соединять с выступающей неотъемной частью		
При оформлении внутренней полости стержнем ей следует придавать простейшие очертания — без поперечных перегородок и глубоких впадин (во избежание торможения усадки стержнем)		

Рациональные условия конструирования и изготовления деталей	Схема конструкции	
	неправильная	правильная
При необходимости усилить деталь ребрами жесткости их следует располагать в плоскости разреза формы или перпендикулярно к ней во избежание применения отъемных частей		
Бобышки на стенках детали, подлежащие сверлению, необходимо располагать с одной стороны, учитывая возможность их смещения относительно оси		
При оформлении внутренней полости стержнем и наличии с наружной стороны бобышек и приливов целесообразно переносить их на внутреннюю поверхность и выполнять стержнем		
Стенкам литых деталей необходимо придавать равномерные сечения во избежание образования усадочных раковин, рыхлот и других дефектов		
Особое внимание следует обращать на соблюдение принципа направленного затвердевания		
Детали должны иметь компактную конфигурацию и по возможности небольшие габариты (особенно по высоте). Этим достигаются снижение трудоемкости формовки и уменьшение расхода формовочных материалов		

Рациональные условия конструирования и изготовления деталей	Схема конструкции	
	неправильная	правильная
В конструкциях крупных шестерен, шкивов и маховиков во избежание образования трещин нужно применять изогнутые спицы		
Обрабатываемые взаимно перпендикулярные поверхности не должны быть близко расположены, так как припуски P на обработку создают участки, невыполнимые при формовке		
Если на поверхности детали имеются обрабатываемые бобышки, то их следует располагать на одном уровне с тем, чтобы они обрабатывались на проход		
Бобышки и приливы, расположенные на наружных стенках и подлежащие обработке, рекомендуется заменять выточками, если это допустимо при заданной толщине тела отливки		

обеспечения плавных переходов от тонких сечений к сечениям большей толщины и правильных сопряжений и радиусов. При правильно сконструированной детали отношение толщины стенок при переходе от одного сечения к другому должно быть не больше 4 : 1 (рис. IV.1, а). При соотношении сопрягаемых толщин $s : s_1 \leq 2$ переходы от одного сечения к другому выполняются с помощью галтелей (рис. IV.1, б), причем радиус закруглений галтели r при чугунных отливках принимают равным $0,3h$ ($h = s - s_1$). Такое же значение радиуса принимают и для деталей, не испытывающих при эксплуатации ударных нагрузок, но имеющих соотношение $s : s_1 > 2$; если же деталь при эксплуатации подвергается ударным нагрузкам, то при $s : s_1 > 2$ переходы выполняются в виде клинового сопряжения (рис. IV.1, в), причем длину участка перехода от одной толщины к другой принимают равной $(s - s_1) : l \leq 1 : 4$ или $l = 4h$. Если соотношение между s и s_1 (рис. IV.1, в) имеет большее значение, то переход от сечения большей толщины к тонкому сечению осуществляется с помощью участка l , длину которого принимают равной

$$l \geq 3 \left(\frac{s l_1}{s + l_1} - \frac{s_1 l_2}{s_1 + l_2} \right). \quad (\text{IV.1})$$

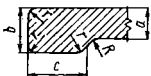
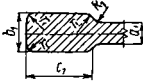
Примеры L-образного сопряжения элементов

Тип сопряжения	Форма сопряжения		
	рекомендуемая	нерекомендуемая	
$s = s_1$ $\alpha = 75 \div 105^\circ$			
$s = s_1$ $\alpha < 75^\circ$			
$s = s_1$ $\alpha > 105^\circ$			
$s = 1,25s_1$ $\alpha = 75 \div 105^\circ$			
$s > 1,25s_1$ $\alpha = 75 \div 105^\circ$			
$s > 1,25s_1$ $\alpha < 75^\circ$			
Значения h и l			
$s \leq s_1$	$> 2,5$	$1,8 - 2,5$	$1,25 - 1,8$
h	$0,7 (s - s_1)$	$0,8 (s - s_1)$	$s - s_1$
l	$\geq 4h$		
r	Принимается по графику рис. IV.2		

Примеры тавровых сопряжений элементов

Тип сопряжения	Форма сопряжения		
	рекомендуемая	нерекомендуемая	
$s \approx 1,25s_1$ $\alpha = 75 \div 105^\circ$			
$s = 1,25s_1$ $\alpha < 75^\circ$			
$s > 1,25s_1$ $\alpha = 75 \div 105^\circ$			
$s > 1,25s_1$ $\alpha < 75^\circ$			
Значения h и l			
$s : s_1$	$> 2,5$	$1,8 - 2,5$	$1,25 - 1,8$
h	$\frac{0,7 (s - s_1)}{2}$	$\frac{0,8 (s - s_1)}{2}$	$\frac{s - s_1}{2}$
l	$\geq 8h$		
r	Принимается по графику рис. IV.2		

Размеры односторонних и двусторонних окантовок

Односторонняя окантовка					Двусторонняя окантовка			
								
Толщина стенки детали а, мм					Размеры окантовок, мм			
					односторонних		двусторонних	
	b	c	R	r	b ₁	c ₁	R ₁	r ₁
4	7	10	5	1	8	10	3	2
5	8	10	5	1	10	12	3	2
6	10	10	6	2	12	14	3	2
7	12	12	8	3	14	16	5	3
8	14	12	8	3	16	18	6	3
10	16	15	10	3	18	20	6	3
12	20	18	12	5	22	25	8	5
14	22	20	15	5	25	28	8	5
16	25	22	16	6	28	30	8	5
18	28	25	16	6	30	32	8	6
20	30	28	20	8	32	32	8	6
22	32	30	20	8	35	35	10	8
25	35	32	20	10	38	35	10	8

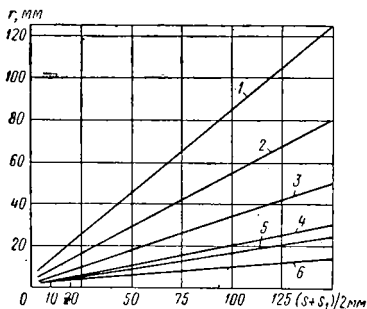


Рис. IV.2. График определения радиуса галтели r сопрягаемых элементов чугунных деталей в зависимости от средней толщины стенки $(s + s_1)/2$ и угла сопряжения α :

1 — $\alpha > 165^\circ$; 2 — $\alpha = 135^\circ \div 165^\circ$; 3 — $\alpha = 105^\circ \div 135^\circ$; 4 — $\alpha = 75^\circ \div 105^\circ$; 5 — $\alpha = 50^\circ \div 75^\circ$; 6 — $\alpha < 50^\circ$.

Примеры L-образных и тавровых сопряжений элементов, рекомендуемых РТМ 12.60, приведены соответственно в табл. IV.2 и IV.3 [22]. Радиусы галтели r определяют по графику, приведенному на рис. IV.2, и округляют по ГОСТ 6636—69.

Острые кромки литых отверстий и окон могут оказаться началом трещин и надрывов; поэтому литые отверстия и окна должны быть окантованы (отбортованы). В табл. IV.4 [22] приведены размеры односторонних и двусторонних окантовок.

2. РАЗРАБОТКА ЧЕРТЕЖЕЙ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ ОТЛИВОК

Для повышения геометрической точности отливок, которой в последнее время уделяется

много внимания [17], необходимо обеспечить их размерную точность, качество поверхности, точность конфигурации и т. д. Это является важнейшей народно-хозяйственной задачей литейщиков, выполнение которой обеспечивает не только уменьшение массы отливки, припусков на обработку и снижение себестоимости, но и повышение качества литья. Все это достигается правильными выбором технологии и разработкой чертежа отливки.

Определение класса точности отливок

Класс точности назначают для тех или иных размеров отливки в соответствии с ГОСТ 1855—55 в зависимости от наибольших габаритных размеров этих отливок. Классы точности и допускаемые отклонения по ним приведены ниже*.

Номер класса точности	I	II	III
Допускаемое отклонение по размерам, мм	$\pm 0,2$ до $\pm 5,0$	$\pm 0,5$ до ± 12	± 1 до ± 20
Допускаемое отклонение по толщине необрабатываемых стенок или ребер, мм	$\pm 0,2$ до $\pm 2,5$	$\pm 0,4$ до $\pm 4,0$	$\pm 0,8$ до $\pm 5,0$

Класс точности I назначают для отливок, получаемых в постоянных формах по неразъемным размерам, для некоторых размеров отливок, изготавливаемых по выплавляемым моделям, а также при затвердевании формы в модельной оснастке; класс точности II — для отливок, получаемых в постоянных формах, литьем по выплавляемым моделям, а также по неразъемным размерам отливок при изготовлении разовых форм под высоким удельным давлением прессования; класс точности III — для отливок, получаемых по разъемным размерам при всех способах формовки и на всех размерах при обычной формовке разовых песчаных форм. В соответствии с назначенным классом точности принимают способ изготовления отливки или, наоборот, класс точности назначают в зависимости от примененного способа изготовления.

Проведение размерного анализа выборочной партии отливок [15] методами математической статистики позволяет определить наиболее точно класс точности отливок и активно воздействовать на его обеспечение. При анализе прежде всего производят выборочные измерения. Для получения достоверных результатов величина выборки из партии должна быть достаточно большой, практически не менее 30 измерений, а если есть возможность, то и до 100 и более, результаты которых подвергают обработке — группированию, состоящему в систематизации наблюдений по одинаковым измерениям. Для этого поле рассеивания измерений, т. е. промежуток между крайними значениями, разбивают на одинаковые интервалы. Затем для каждого измерения или интервала между двумя соседними измерениями подсчитывают частоту n_i в выборке или частоту n_i/N , где N — количество всех замеров. В результате получают интервальный ряд распределения с непрерывным изменением типа: 10,1—10,3; 10,3—10,5 и т. д. или дискретный с периодическим изменением типа 10,1; 10,2; 10,3; 10,4 и т. д.

Дальнейшая обработка состоит в определении обобщающих показателей выборки: среднего арифметического $\bar{x}$ и среднего квадратического отклонения s , по которым определяют предельные отклонения, принимая поле допуска δ равным полю рассеивания ω . Для закона нормального распределения поле рассеивания ω приравнивают $6s$ или $\pm 3s$ от центра группирования. При поле рассеивания $\pm 3s$ вероятность попадания значений (измерений) в поле равна 0,9973, т. е. из поля рассеивания выпадает 0,27% измерений. Предельные отклонения (верхние Δ_B и нижние Δ_H) определяют по формулам:

$$\Delta_B = \bar{x} + \delta/2; \quad (IV.2)$$

$$\Delta_H = \bar{x} - \delta/2. \quad (IV.3)$$

* Рекомендации по стандартизации (РС) устанавливают пять классов точности, причем первый класс выделен для размеров до 500 мм и назначается независимо от положения детали при заливке.

Класс точности принимают по величине предельных отклонений. Однако размеры, получаемые в производственных условиях, отличаются от номинальных на величину погрешностей, возникающих по различным причинам. Погрешности делятся на случайные, систематические и промахи. Случайные погрешности имеют определенный закон распределения, хотя причина их возникновения неизвестна. При неизменном процессе величина случайных погрешностей не изменяется. Для того чтобы изменить ее, необходимо переделать процесс; например, для уменьшения случайных погрешностей размеров стержней вместо изготовления их из песчано-масляных смесей можно применить процесс с твердением смеси в стержневом ящике. Систематические погрешности, имеющие постоянные величину и направление, возникают по определенным причинам, которые могут быть выявлены в результате анализа. Центр распределения при систематических погрешностях получается смещенным. При определении суммарных отклонений размера случайные погрешности, подчиняющиеся закону нормального распределения, складывают по правилу квадратного корня. Систематические погрешности суммируют между собой алгебраически, случайные погрешности с систематическими слагаются также алгебраически. Резко отличающиеся результаты из анализа исключают и снова определяют $\bar{x}$ и s . По полученному распределению строят эмпирические кривые: для интервального ряда — гистограмму, для дискретного — полигон. Гистограмма может быть превращена в полигон соединением середины интервалов прямыми линиями. На рис. IV.3, а представлен эскиз отливки блока цилиндров, а на рис. IV.3, б — гистограмма, выполненная сплошными линиями в виде столбиков, и полигон, выполненный штриховой линией. Для установления графического согласия между эмпирической кривой (штриховая линия) для данного распределения и теоретической кривой (полушпирная линия) нормального распределения определяют теоретическую частоту n_{it} по формуле

$$n_{it} = \frac{N \Delta x_i \varphi(z_i)}{s}, \quad (IV.4)$$

где Δx_i — разность между двумя соседними измерениями; $\varphi(z_i)$ — значение функции нормированного распределения (см. приложение 2).

Величину z_i определяют по формуле

$$z_i = (x_i - \bar{x})/s, \quad (IV.5)$$

где x_i — значение измерения.

Для графического сравнения эмпирической кривой с теоретической обе кривые строят в одном масштабе, а выбор масштаба проводят следующим образом. На оси X произвольно выбирают отрезок, равный $6a$, которому приравнивают $6s$ в мм. Отсюда масштаб по оси X составляет:

$$1 \text{ мм} = a/s, \text{ мм.} \quad (IV.6)$$

По оси Y максимальную ординату принимают равной $0,4b$ и приравнивают отрезку $6a$, откуда $b = 15a$. Отсюда масштаб (мм) для частоты n_i определяют по формуле

$$1 \text{ измерение} = bs/N \Delta x_i. \quad (IV.7)$$

По построенным эмпирической и теоретической кривым определяют их графическую сходимость. Близость эмпирического распределения к теоретическому может быть также определена аналитически по критериям согласия [8]. Установив наличие близости между кривыми, для анализа применяют характеристики нормального закона. Для размерного анализа на кривой распределения наносят основные характеристики.

Пример. Требуется произвести размерный анализ ширины картера отливки блока цилиндров с номинальным размером по чертежу детали $A = 272$ мм (рис. IV.3, а).

Результаты измерений размера A на 96 отливках приведены в табл. IV.5. По этим данным определяют среднее арифметическое значение и среднее квадратич-

ческое отклонение: $\bar{x}_A = 26\,372,5/96 = 274,71$ мм; $s_A^2 = \frac{1}{95} \left(7\,244\,923\,5 - \frac{1}{96} \times \right.$
 $\times 26\,372,5^2) = 0,4276$; $s_A = \sqrt{0,4276} = 0,65$ мм. После этого выявляют и исклю-
 чают резко выделяющиеся результаты и определяют нормированные отклонения:

$$V_1 = \frac{276,75 - 274,71}{0,65} = 3,1;$$

$$V_2 = \frac{274,71 - 273,25}{0,65} = 2,21.$$

По таблице критических точек
 распределения Стьюдента для $n = 8$
 и уровня значимости $0,05$ $t_{0,05; 8} =$
 $2,31$, а $V_1 > 2,31$, поэтому размер
 276,75 из расчета исключается.
 В результате исправления $\bar{x}_A$ и s_A

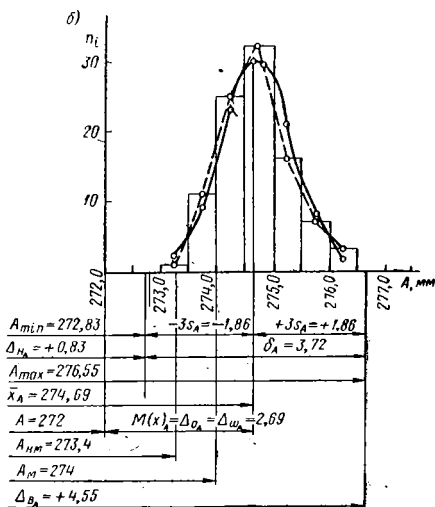
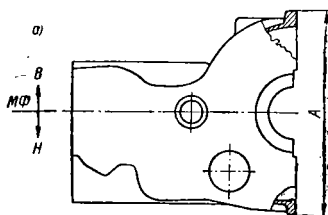


Рис. IV.3. Эскиз отливки блока цилиндров (а) и распределение размеров ширины блока по фланцу картера (б):

$\bar{x}_A$ — среднее арифметическое значение; s_A — среднее квадратическое отклонение;
 δ_A — поле допуска; $M(x)_A$ — координата центра группирования; Δ_{OA} , Δ_{OA} — коор-
 динаты середины поля рассеивания; A — номинальный размер отливки; A_{max} — наибольш-
 ий размер отливки; A_{min} — наименьший размер отливки; $A_{н.м}$ — номинальный раз-
 мер модели; A_M — измеренный размер модели; Δ_{BA} — верхнее отклонение размера A от-
 ливки; Δ_{NA} — нижнее отклонение размера A отливки

Результаты измерений размера A картера блока цилиндров

Границы интервалов, мм	Середина интервала x_i , мм	Число наблюдений, n_i	$x_i n_i$	$x_i^2 n_i$	z_i	$\Phi(z_i)$	Теоретическая частота $n_{тi}$ [формула (IV.4)]
1	2	3	4	5	6	7	8
273,0—273,5	273,25	1	273,25	74 665,562	—2,32	0,02705	2,07
273,5—274,0	273,75	11	3 011,25	824 329,68	—1,51	0,12758	9,77
274,0—274,5	274,25	25	6 856,25	1 880 326,5	—0,71	0,31006	23,75
274,5—275,0	274,75	32	8 792,00	2 415 601,9	+0,1	0,39695	30,4
274,71—275,0	—	—	—	—	0	0,39894	30,56
275,0—275,5	275,25	16	4 404,00	1 212 200,9	0,90	0,26609	20,38
275,5—276,0	275,75	7	1 930,25	532 266,25	1,71	0,09246	7,08
276,0—276,5	276,25	3	828,75	228 942,18	2,51	0,01709	1,31
276,5—277,0	276,75	1	276,75	76 590,652	—	—	—
Итого		96	26 372,5	7 244 923,5			

после исключения размера 276,75 получаем $\bar{x}_A = 274,69$ мм и $s_A = 0,62$ мм = 620 мкм. Расчеты по новым значениям $\bar{x}_A$ и s_A приведены в столбцах 6, 7 и 8 табл. IV.5.

При определении предельных отклонений размеров ширины картера блока по формулам (IV.2) и (IV.3) при поле допуска $\delta_A = 6s_A = 3,72$ мм получаем:

$$\Delta_{вА} = \bar{x}_A + \delta_A/2 = 274,69 + 3,72/2 = 276,55 \text{ мм};$$

$$\Delta_{нА} = \bar{x}_A - \delta_A/2 = 274,69 - 3,72/2 = 272,83 \text{ мм}.$$

Масштаб для построения кривых для оси X равен $6a = 78$ мм ($a = 13$ мм) и по формуле (IV.6) масштаб 1 мкм = $13/620 = 0,02$ мм; для оси Y масштаб $b = 15a = 15 \cdot 13 = 195$, а по формуле (IV.7) $195 \cdot 0,62/(96 \cdot 0,5) = 2,6$ мм.

Построенные на рис. IV.3, б эмпирическая и теоретическая кривые показывают, что по их графической сходимости для данного распределения можно принять нормальный закон. Из анализа следует, что величина случайных погрешностей $\pm 3s_A = \pm 1,86$ мм, а сумма систематических погрешностей $M(x)_A = +2,69$ мм. Верхнее отклонение от номинального размера отливки A $\Delta_{вА} = +4,55$ мм и нижнее отклонение $\Delta_{нА} = -0,83$ мм, поле допуска $\delta_A = 3,72$ мм. Несимметричность расположения отклонений вызвана систематическими погрешностями.

Теперь по ГОСТ 1855—55 можно подобрать класс точности для ширины картера отливки блока цилиндров. Учитывая, что номинальный размер ее 272 мм, можно принять, что в данном случае больше подходит класс точности III, по которому допускаемые отклонения равны $\pm 2,5$ мм, т. е. $\delta = 5$ мм, а для блока $\delta = 3,72$ мм.

Величина отклонений размера A картера отливки
от размера A_M на модели

Середина интервала, мм	$\bar{x}_i - A_M$	n_i	$(\bar{x}_i - A_M) n_i$	$(\bar{x}_i - A_M)^2 n_i$
273,25	-0,75	1	-0,75	0,5625
273,75	-0,25	11	-2,75	0,6875
274,25	-0,25	25	-6,25	1,5625
274,75	0,75	32	24,00	18,0
275,25	1,25	16	20,00	15,0
275,75	1,75	7	12,25	21,4375
276,25	2,25	3	6,75	15,1875
Итого		95	65,75	82,4375

Величина случайных погрешностей распределения, равная $\pm 1,86$ мм, зависит только от самого процесса и показывает отклонения от средних величин таких погрешностей, как линейная усадка, раздутие формы и т. п. Систематические погрешности, равные в данном случае $+2,69$ мм, складываются из известных и неизвестных по величине элементарных погрешностей, которые можно выявить по характеристикам, приведенным на рис. IV.3, б. К заранее известным погрешностям относятся: погрешность изготовления и износа модели ($274 - 273,4 = 0,6$ мм); шероховатость отливки (если принять шероховатость поверхности класса 2 по ГОСТ 2789—73, то на две стороны она будет равна $+0,32$ мм); отклонение положения плоскости разреза формы [15] ($+0,6$ мм); отклонения средней фактической линейной усадки от запроектированной в модельной оснастке (если считать, что линейная усадка, заложенная в модельной оснастке, $273,4 - 272 = 1,4$ мм, а фактическая линейная усадка ширины картера, по данным работы [12], равна $0,43\%$ или $1,16$ мм, то отсюда погрешность линейной усадки равна $1,4 - 1,16 = 0,24$ мм). Таким образом, известная систематическая погрешность в сумме равна $M'(x)_A = 0,6 + 0,32 + 0,6 + 0,24 = 1,76$ мм, а неизвестная определится как разность $M^*(x)_A = 2,69 - 1,76 = 0,93$ мм. Можно предположить, что это величина раздутия формы под действием металлостатического давления жидкого металла. На величину систематических погрешностей можно воздействовать, например, корректировкой модели. А если устранить их полностью, то останутся только случайные погрешности, равные $\pm 1,86$ мм, и отклонение будет точно соответствовать классу точности III.

Для размерных расчетов можно пользоваться отклонениями от номинального размера отливки, которые равны, как приведено выше, $\Delta_{вА} = +4,55$ мм и $\Delta_{нА} = +0,83$ мм, а также отклонениями от фактического размера модели:

$$\Delta_{вА} = A_{\max} - A_M = 276,55 - 274 = +2,55 \text{ мм};$$

$$\Delta_{нА} = A_{\min} - A_M = 272,83 - 274 = -1,17 \text{ мм}.$$

Обработку измерений можно производить не только по их абсолютной величине, но и по величине отклонений, например от размера модели. Такой метод позволяет объединять измерения-аналоги с разных моделей, например измерения диаметров разных шеек коленчатого вала. В табл. IV.6 сделано определение характеристик по отклонениям измерений от размера модели A_M по данным табл. IV.5.

При этом имеем $\bar{x}'_A = 65,75/95 = 0,69$ мм, откуда абсолютная величина $\bar{x}_A = A_m + \bar{x}'_A = 274 + 0,69 = 274,69$ мм, а $s_A^2 = (1/94) [82,4375 - (1/95) \times 65,75^2] = 0,3929$, $s_A = \sqrt{0,3929} = 0,62$ мм.

Найденные величины $\bar{x}_A$ и s_A равны рассчитанным по табл. IV.5.

Влияние технологических факторов на рассев размеров отливок

Рассев размеров отливок зависит от погрешностей [6], возникающих при изготовлении элементов формы, при установке стержней (металлических в кокиль — 0,2—1,2 мм, песчаных в кокиль — 0,2—1,5 мм, песчаных в песчаную форму — 0,8—3,0 мм), при соединении частей формы (металлических — 0,1—1,0 мм, песчаных — 0,2—4,0 мм при площади разреза формы 400—25 000 см²). Погрешности возникают также вследствие износа моделей (для металлических моделей он может быть допущен на две стороны 0,3 мм, а для деревянных — 0,5 мм), вследствие деформаций при удалении моделей при размерах отливок для всех случаев от 120 до 1250 мм (для оболочковых форм — 0,15—1,0 мм, для машинной формовки — 0,3—1,2 мм, для песчаных форм по деревянным моделям — 0,5—4 мм), вследствие деформаций под влиянием металлоstaticеского напора (при напоре 35—55 см и расходе металла 6—20 кг/с для сырых песчано-глинистых форм — 0,8—2,2%, для песчано-жидкостекольных — 0,2—0,7%, для сухих песчано-глинистых — 0,2—0,4%) [7].

Погрешности также зависят от вида измерения размера отливок (от 0,007 мм при измерении микрометром до 8 мм при измерении рулеткой), колебаний величины коэффициента линейного расширения α материалов формы, температуры металла и формы при заливке, усадки металла, температуры отливки в момент ее извлечения из формы. При этом отклонение размеров стержней по длине и ширине имеет положительное значение, а по высоте — отрицательное. Величина отклонения зависит и от деформации ящика и стержней (отделка и окраска стержней на величину отклонения мало влияют). При высушивании форм отклонения по длине имеют положительное значение, а по ширине — отрицательное [21].

Относительное влияние различных технологических факторов на величину допуска можно выразить так: влияние модельной оснастки 15%, расталкивание моделей 6%, деформация в процессе сушки и при транспортировании 14%, сборочные операции 18%, деформация форм при заливке 6%, усадка 16%, коробление отливок при литье и термообработке 12%, неточность при механической обработке 13%. Повышение размерной точности и обеспечение получения отливок даже класса точности III по ГОСТ 1855—55 требуют строгого соблюдения технологии на всех этапах производства, точной оснастки, формовки на станках, прочного крепления опок, повышенной точности моделей, причем деревянные модели следует изготавливать по 14—15-му качеству стандарта СЭВ 145—75 вместо 16—17-го качества, а еще лучше заменять их металлическими, пластмассовыми или изготовленными из специальной древесины.

Для уменьшения рассева размеров целесообразно повысить точность и прочность форм и стержней и точность сборочных операций. Для того чтобы уменьшить погрешности сборки, следует применять размерные расчеты на основе размерных цепей. При этом весьма важно достижение высокой размерной точности замыкающего звена. Это можно получить путем: 1) повышения точности элементов литейной формы; 2) уменьшения количества элементов формы (стержней); 3) разработки и внедрения конструкций форм и оснастки, при которых отклонения отдельных элементов не приводил бы к суммарной ошибке.

По первому методу повысить точность замыкающего звена (отливки) можно в случае, если средний допуск δ_{cp} каждого звена будет равен

$$\delta_{cp} = \delta_{\Delta} / (n - 1), \quad (IV.8)$$

где δ_{Δ} — величина допуска замыкающего звена размерной цепи; n — число всех звеньев цепи.

Однако получить такие допуски (очень малые) можно только при применении высококачественной оснастки и при стабильных технологических процессах. Из второго метода следует, что чем короче размерная цепь (т. е. чем меньше $n - 1$), тем легче получать отливки с повышенной точностью. Третий метод требует применения таких технологических процессов и оснастки, при которых исключалось бы суммирование всех отклонений размеров отдельных элементов форм. Если считать, что на точность замыкающего звена основное влияние оказывает суммарный допуск на усадку и зазоры между формой и стержнями, то его высокая точность может быть получена в случаях, когда допуски на усадку $\delta_{ус}$ и на зазоры в знаках δ_z равны нулю. Так как определить заранее усадку отливки, имеющих различные конфигурации, трудно, то возможно следующее технологическое решение: в местах контактов стержней следует создавать воздушные зазоры от 0,2 до 2,0 мм, которые резко уменьшают торможение усадки, делают ее стабильной и приводят к получению допуска $\delta_{ус}$, стремящегося к нулю. Для того чтобы допуск на зазор δ_z стремился к нулю, необходимо изготавливать формы без зазора в знаках и с креплением каждого знака стержня. В этом случае точность отливок возрастает, так как не будет происходить суммирования ошибок установки каждого стержня. Для установки отдельных независимых друг от друга стержней можно применять специальные модели — объемные шаблоны. При этом при уплотнении смеси происходит закрепление стержней, что увеличивает точность и устраняет заливы. Применяя такой метод при многостержневых отливках, например моторных блоках, можно получить отливки с точностью выше класса I по ГОСТ 1855—55 [5]. Однако при увеличении точности отливок требуется создание более совершенных оснастки, оборудования, технологин, что приводит к увеличению стоимости, и поэтому применение их может быть рекомендовано только в тех случаях, когда это экономически целесообразно. Классы точности отливок в зависимости от модельной оснастки и вида формовки приведены в табл. IV.7 [7].

Таблица IV.7

Классы точности отливок в зависимости от модельной оснастки и вида формовки

Вид формовки	Модель	Класс точности по ГОСТ 1855—55	
		размеров, зависящих от условий сборки	размеров, не зависящих от условий сборки
Ручная	Деревянная	III	II—III
Машинная	»	II—III	II
»	Металлическая	II	I

При анализе факторов, влияющих на размерную точность, необходимо пользоваться методом математической статистики. Общее отклонение размеров отливки (d , мм) от номинального может быть подсчитано по формуле:

$$i = k_1 + k_2 d + k_3 (0,001d - 0,45 \sqrt[3]{d}), \quad (IV.9)$$

где k_1 — коэффициент технологин; k_2 — коэффициент дисциплины, который во всех случаях принимается равным 0,002; k_3 — коэффициент оснастки. Значения коэффициентов k_1 и k_3 приведены в табл. IV.8.

Для уменьшения заливов и их стабилизации рекомендуются: раздельная набивка полумформ на гладких плитах; постоянство свойств и толщины глины для прокладок; прокладка глины на остывший разъем формы (лад); применение шнурового асбеста при гладких ладах двух полумформ; применение жидкостекольных смесей, точных опок, яерекрытия по песчаному ладу. Значительное влияние

Значения коэффициентов k_1 и k_2

Способ литья	Коэффициенты						
	k_1	k_2 для квалитетов					
		11	12	13	14	15	16
По выплавляемым моделям	0,03—0,05	0,1	0,2	—	—	—	—
В стержнях	0,05—1,0	—	—	0,3	—	—	—
При машинной формовке	1,0—2,0	—	—	—	0,4	0,6	—
При ручной формовке	2,0—5,0	—	—	—	—	—	1,0
Примечание. Цифровые значения квалитетов по стандарту СЭВ 145—75 на семь единиц больше значений ранее применявшихся классов размерной точности по системе ОСТов.							

на размерную точность оказывают колебания усадки. При крупносерийном и массовом производстве их можно устранять доводкой, а в индивидуальном производстве технолог должен учитывать данные, практики. Влияние способа литья на размерную точность отливок приведено в табл. IV.9.

Таблица IV.9

Влияние способа изготовления отливок на их размерную точность *

Способ литья	Квалитет по стандарту СЭВ 145—75							
	11	12	13	14	15	16	17	Выше 17
По выплавляемым моделям	+	+	+	+				
В оболочковые формы		+	+	+	+			
В металлические формы			+	+	+	+		
В песчаные формы при производстве:								
массовом				+	+	+	+	
серийном					+	+	+	
индивидуальном						+	+	+
* Для размеров до 500 мм включительно.								

Пространственные отклонения элементов отливок

Пространственные отклонения элементов отливок характеризуются расположением одного элемента детали в пространстве по отношению к другому, что определяется поверхностями и осями, а именно: непараллельностью плоскостей и осей, перпендикулярностью плоскостей и осей, торцовым биением (разностью

наибольшего и наименьшего расстояния от точек реальной торцевой поверхности, расположенных на окружности заданного диаметра, до плоскости, перпендикулярной к базовой оси вращения), несоосностью относительно базовой поверхности или относительно общей оси, радиальным биением, непересечением осей и несимметричностью, смещением оси от номинального расположения. Образуются они вследствие деформации модели, формы, неточности сборочных операций, деформации отливки. Для предупреждения деформации деревянных моделей необходимы систематический контроль этих моделей, соблюдение при складировании равновесных условий между влажностью древесины и влажностью воздуха, применение водонепроницаемых покрытий, гидрофобизированной древесины, лигнана (древесины, обработанной аммиаком, что придает ей прочность и износоустойчивость), замена деревянных моделей или их частей металлическими или пластмассовыми. Деформация формы и стержней происходит при извлечении модели из формы или стержня из стержневого ящика, при транспортировании и в процессе тепловой обработки. Для ее устранения необходимо механизировать извлечение моделей, применять приспособления при транспортировании, высушивании и охлаждении форм и стержней, использовать материалы с малым коэффициентом термического расширения, упрочнять форму на модели (химическое упрочнение, спекание). Для устранения неточностей, связанных со сборочными операциями, надо применять приспособления для сборки стержней в узлы, использовать способ изготовления форм по моделям с вкладными стержнями, заменять стержни сырыми болванами, применять неразъемные спекаемые формы.

Качество поверхности отливок

Качество литой поверхности характеризуется наличием инородного слоя (пригара, окислов), ее профилем и различными поверхностными дефектами (ужинами, спаями, приливами, и др.). Комплексной оценки качества поверхности не имеется. Так, для оценки пригара может быть использована балльная система, где баллы соответствуют определенному методу его удаления:

Номер балла	1	2	3	4	5
Метод удаления пригара	Ударом молотка	Стальной щеткой	Пневматическим зубилом	Песко-струйной очисткой	Дробе-очисткой

Пригар может быть определен также работой, затрачиваемой на очистку от него. При оценке микропрофиля следует учитывать, что литые поверхности в отличие от механически обработанных не имеют чередующихся с определенной закономерностью примерно одинаковых впадин и выступов, а характеризуются хаотическим их расположением, разнообразной формой и размерами. Такой характер литой поверхности, связанный с природой ее формирования, в значительной степени зависит от процессов взаимодействия между формой и отливкой.

Качество поверхности отливок без пригара и окислов или после их удаления оценивается по высоте выступов и впадин профиля, которые измеряются и выражаются в линейных единицах. Методы измерения неровностей литой поверхности могут быть подразделены на три группы: а) непосредственные измерения (оптическими приборами, приборами, основанными на методе ощупывания, методами стереоснимков с последующим планметрированием, микрофотографированием); б) косвенные методы измерения (по воздухопроницаемости, по емкости); в) методы сравнения с эталонами или со стереоснимками. Первая группа измерений наиболее точная, но трудоемкая, вторая — менее трудоемка, но требует доработки для увеличения точности, третья — позволяет быстро оценить качество поверхности и, несмотря на приближенную оценку, может быть рекомендована для заводской практики. Для чугуна литья параметры шероховатости эталонов могут изменяться от 10 (залливка в металлические формы мелких деталей) до 600 мкм (крупные детали, отливаемые в песчано-глинистые формы).

Борьба за улучшение качества поверхности должна вестись в направлении устранения пригара и получения ровной гладкой поверхности. Качество поверхности отливок, получающихся при различных способах литья, характеризуется данными, приведенными в табл. IV.10.

Качество поверхности отливок в зависимости от способа литья

Способ литья	Значение микронеровностей R_z , мкм					
	320	160	80	40	20	10
По выплавляемым моделям				+	+	+
В оболочковые формы			+	+	+	
В металлические формы			+	+	+	
В песчаные формы:						
при песчано-органических смесях		+	+	+		
при песчано-глинистых смесях	+	+	+			

Разработка чертежей отливок

Чертежи отливок оформляются в соответствии с ГОСТ 2.423—73 и другими ГОСТами Единой системы конструкторской документации (ЕСКД). Они выполняются по чертежам деталей, которые согласно ГОСТ 2.316—68 должны содержать технические требования к отливке по тем пунктам ГОСТ 1412—70, ГОСТ 1215—59, ГОСТ 7923—72, которые оговариваются в заказе, т. е. требования, предъявляемые к материалу, термической обработке и свойствам готовой детали; указания на возможные заменители материалов; предельные отклонения размеров и формы отливки и т. п.; требования к качеству поверхностей, указания по их отделке, покрытию; специальные требования: условия и методы испытания; указания о маркировании и клеймении; правила транспортировки и хранения. Все эти требования переносятся заказчиком в чертеж отливки, в котором учитываются также особенности изготовления отливки, обеспечение технологичности конструкции (ГОСТ 18831—73) и получение высоких технико-экономических показателей, что по существу предусмотрено ГОСТ 14204—73, а также отраслевыми стандартами и ОСТами. Чертежи отливок выполняют как конструкторский документ и согласовывают с заказчиком. По ГОСТ 2.423—73 допускается замена чертежа отливки чертежом детали, на котором наносятся данные для отливки, что исключает повторение размеров, а следовательно, возможность разногласий в размерах чертежей детали и отливки.

На чертеже отливки внутренние контуры обрабатываемых поверхностей, необрабатываемых отверстий и выточек, которые в литье не выполняются, вычерчивают сплошной тонкой линией. На несложных отливках эти контуры можно не вычерчивать.

Минимальный диаметр литых отверстий зависит от спекания формовочной смеси в отверстия, которое определяется массой металла. Поэтому минимальный размер литых отверстий для чугунных отливок принимают в зависимости от толщины стенки. Чем толще стенка, тем больше должен быть диаметр минимального отверстия в литье (см. табл. IV.24). Кроме того, диаметр литых отверстий также ограничивается возможностью получения его болваном или стержнем. Болваны применяют при отношении $d_0 : h \geq 1$, стержни — при отношении $d_0 : h < 1$, где d_0 — диаметр болвана; h — высота болвана.

Вертикальные стенки отливки, для того чтобы обеспечить извлечение модели из формы и стержня без повреждений, делают с формовочными уклонами, которые выполняются в зависимости от принятой плоскости разъема формы и стержня и направления протягивания модели и стержневого ящика. Величину формовочных уклонов наружных поверхностей моделей и стержневых ящиков, а также болванов принимают по ГОСТ 3212—57 в зависимости от высоты протя-

обработку, и положения поверхности отливки в форме: верх, низ, бок. В зависимости от этого припуски на механическую обработку согласно ГОСТ колеблются в пределах от 2 до 11 мм для класса точности I, от 2,5 до 15 мм для класса точности II и от 3,5 до 24 мм для класса точности III; при этом предусматривается уменьшение припусков до минимально необходимых. Минимально необходимые экономичные припуски на обработку можно рассчитать методом размерных цепей, как это изложено в работе [16].

Пример. Требуется определить оптимальный припуск на механическую обработку плоскости фланца отливки корпуса поворотного кулака (рис. IV.4, б).

Построение размерной цепи начинают с нанесения на эскизе отливки припуска на обработку и обозначения его замыкающим звеном A_{Δ} . Из рисунка видно, что величину припуска определяют поверхность отливки aa и плоскость механической обработки bb . Отклонения положения этих плоскостей от номинала вызываются погрешностями составляющих звеньев, к которым относятся размеры модельной оснастки, формы, отливки и механической обработки. В размерную цепь вводят только те составляющие звенья, которые имеют влияние на замыкающее звено и связаны с ним через координирующую ось (ось, от которой заданы размеры для детали и для построения модели) и первичную базу, отмеченную знаком $\blacktriangle$. Таким образом, в размерную цепь вошли следующие составляющие звенья: A_{1MO} — звено на размер механической обработки (МО); A_2 мн+имн — звено на размер модели низа (МН) вместе с величиной износа модели по этому размеру (ИМН); A_3 мв — звено на размер модели верха (МВ); A_4 имв — звено на износ размера A_3 мв модели верха; A_5 у+Ф — звено, выражающее величину линейной усадки и формы (У+Ф) по размеру $(A_1 + A_{\Delta})$.

По влиянию на замыкающее звено все звенья разделены на увеличивающие и уменьшающие. К увеличивающим относятся те звенья, с увеличением которых замыкающее звено увеличивается, а к уменьшающим — звенья, с увеличением которых замыкающее звено уменьшается. Увеличивающие звенья показывают стрелками вверх, а уменьшающие — стрелками вниз. Различие в выражении износа для размеров A_2 и A_3 вызвано тем, что в случае размера A_2 размеры модели низа (МН) и износа (ИМН) являются уменьшающими, и поэтому их можно объединить в одном звене; для размера A_3 они имеют различное направление, и объединять их нельзя. Звено A_5 объединяет значения линейной усадки (У) и усадки формы (Ф) по той причине, что величина их была определена совместно-выборочным образом отливок. Построенную размерную цепь описывают основным уравнением размерной цепи. Для данного примера она равна

$$A_{\Delta} = A_3 - (A_1 + A_2 + A_4 + A_5). \quad (IV.10)$$

Для того чтобы определить оптимальную величину припуска, надо знать, какие отклонения получит замыкающее звено A_{Δ} в результате действия погрешностей составляющих звеньев. Поэтому расчет размерной цепи можно вести по величине отклонений, без номинальных размеров. Проводят его табличным методом. Исходные данные и расчет многочленов размерной цепи для определения припуска на механическую обработку поворотного кулака приведены в табл. IV.11 [15]. В столбцах 1, 2, 3, 4 и 5 таблицы записаны исходные данные по каждому звену размерной цепи: обозначения звеньев $A_1, A_2, \dots$, их шифр по начальным буквам слова, определяющего принадлежность звена (например, М — модель), номинальный размер, допускаемые отклонения по ТУ, ГОСТам, чертежам или другим источникам. В столбце 6, согласно размерной цепи, даны значения передаточных отношений ξ_i для каждого звена. В данном примере звенья между собой параллельны, поэтому $\xi_i = 1$, а знаки зависят от направления действия звена (уменьшающие с минусом, увеличивающие с плюсом). В столбце 7 записаны координаты середины поля допуска, которые определяют по допускаемым отклонениям из столбца 4; например, для допускаемого отклонения $\pm 0,1$ мм $\Delta_{0i} = 0$, для отклонения $-0,2$ мм $\Delta_{0i} = -0,1$ мм. В столбце 8 записаны величины полей допусков δ_i ; например, для допускаемых отклонений $\pm 0,1$ мм $\delta_i = 0,2$ мм.

Коэффициенты λ'_i и α_i (столбцы 9 и 10) определяются только для случайных погрешностей, имеющих нормальный закон распределения. Погрешности звеньев A_1 и A_5 являются случайными, подчиняющимися закону нормального распределения; поэтому по ГОСТ 19415—74 они принимаются равными $\lambda'_i = 0,11$, $\alpha_i = 0$. Там как распределение звена A_1 принято асимметричным, то $\alpha_1 = 0,1$. Погрешности звеньев A_2, A_3, A_4 являются систематическими, и поэтому для них коэффициенты не определяются.

В столбцах 11—14 приведены значения многочленов $\Sigma_1, \Sigma_2, \Sigma_3, \Sigma_4$, которые входят в формулы для определения величины поля допуска замыкающего звена $\delta_{A\Delta}$ и координаты середины поля допуска $\Delta_{oA\Delta}$.

Многочлены введены в расчетные формулы, рекомендованные ГОСТ 16320—70, для упрощения расчетов. Для вероятностных расчетов ГОСТ рекомендует формулы:

$$\delta_{\Delta} = \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_i^2 \lambda_i'^2 \delta_i^2} \quad (IV.11)$$

$$\Delta_{o\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i \left(\Delta_{oi} + \alpha_i \frac{\delta_i}{2} \right), \quad (IV.12)$$

а для метода максимума-минимума—формулы:

$$\delta_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} |\xi_i| \delta_i \quad (IV.13)$$

$$\Delta_{o\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i \Delta_{oi} \quad (IV.14)$$

Принимаем

$$\Sigma_1 = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i^2 \delta_i^2 \quad (IV.15)$$

$$\Sigma_2 = \sum_{i=1}^{m-1} |\xi_i| \delta_i \quad (IV.16)$$

Таблица IV.11

Исходные данные и расчет многочленов размерной цепи для определения припуска на механическую обработку отливки поворотного кулака

Звено размерной цепи				Допускаемые отклонения, мм		Передаточное отношение ϵ_i	Координата ее редения Δ_{oi} , мм	Поле допуска δ_i , мм	Коэффициенты		Σ_1	Σ_2	Σ_3	Σ_4
Обозначение	Шифр	Номинальный размер, мм	Размер	Использованный источник	Относя- тельного рас-преде-ления λ_i [15]				Всимиет- рия α_i [15]					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
A_1	МО	16	$\pm 0,1$	По чертежу	1	0	0,2	0,11	0,1	0	—	0,0044	—0,01	
A_2	МН	55	$-0,2$	По ТУ	1	$-0,10$	0,2	—	—	$+0,1$	0,2	—	—	
A_3	ИМН	0	$+0,3$	По ТУ	1	$+0,15$	0,3	—	—	$-0,15$	0,3	—	—	
A_4	МВ	71,5	$+0,2$	По чертежу	1	$+0,10$	0,2	—	—	$+0,10$	0,2	—	—	
A_5	ИМВ	0	$-0,3$	По ТУ	1	$-0,15$	0,3	—	—	$+0,15$	0,3	—	—	
A_6	У+Ф	0,7	$-1,5$	По измерениям	1	$-0,75$	1,5	0,11	0	$+0,75$	—	0,2475	—	
Сумма многочленов											$+0,95$	1,0	0,2519	—0,01

$$\sum_3 = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i^2 \lambda_i' \delta_i^2, \quad (IV.17)$$

$$\sum_4 = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i \alpha_i \frac{\delta_i}{2}. \quad (IV.18)$$

В результате формулы (IV.11)–(IV.14) с учетом сложения случайных и систематических погрешностей принимают вид:

$$\delta_\Delta = \sqrt{\sum_3 + \sum_2}; \quad (IV.19)$$

$$\Delta_{o\Delta} = \sum_1 + \sum_4. \quad (IV.20)$$

По величинам δ_Δ и $\Delta_{o\Delta}$ определяют предельные отклонения:

$$\Delta_{в\Delta} = \Delta_{o\Delta} + \delta_\Delta/2; \quad (IV.21)$$

$$\Delta_{н\Delta} = \Delta_{o\Delta} - \delta_\Delta/2. \quad (IV.22)$$

Проверка правильности построения размерной цепи по номинальным размерам производится исходя из того, что $A_\Delta = 0$. Подсчет по формуле (IV.10), когда $A_\Delta = 71,7 - (16 + 55 + 0 + 0,7) = 0$, подтверждает это, и, следовательно, размерная цепь построена правильно.

Определение поля допуска замыкающего звена производится путем сложения погрешностей в соответствии с их классификацией, как было указано ранее. В данном случае к случайным погрешностям относятся отклонения звеньев A_1 и A_5 , к систематическим — отклонения звеньев A_2 , A_3 и A_4 . Отсюда по формуле (IV.19)

$$\delta_{A_\Delta} = 3\sqrt{0,2519} + 1 = 2,5 \text{ мм}. \quad (IV.23)$$

Координата середины поля допуска замыкающего звена, определяемая по формуле (IV.20), равна

$$\Delta_{oA_\Delta} = 0,95 - 0,01 = 0,94 \text{ мм}, \quad (IV.24)$$

а предельных отклонений замыкающего звена, определяемых по формулам (IV.21) и (IV.22), —

$$\Delta_{вA_\Delta} = 0,94 + \frac{2,5}{2} = 2,19 \text{ мм}; \quad (IV.25)$$

$$\Delta_{нA_\Delta} = 0,94 - \frac{2,5}{2} = -0,33 \text{ мм}.$$

Величина припуска на обработку, учитываемую в модельной оснастке, определяется по формуле

$$\text{Пр}_м = \text{Пр}_{\text{min}} - \Delta_{нA_\Delta} = 1,5 - (-0,33) = 1,83 \text{ мм}, \quad (IV.26)$$

где $\text{Пр}_м$ — припуск на модели; Пр_{min} — минимально допустимый припуск. Отсюда наибольший и наименьший припуски на отливку с учетом верхнего и нижнего отклонения равны: $\text{Пр}_{\text{но}} = 1,83 + 2,19 = 4,02 \text{ мм}$; $\text{Пр}_{\text{ни}} = 1,83 - 0,33 = 1,5 \text{ мм}$.

Этот же припуск по ГОСТ 1855—55 (исходя из того, что отливка имеет наибольший размер до 260 мм, номинальный размер 16 мм и положение — верх) должен быть равен 5 мм, т. е. больше расчетного на $5 - 1,83 = 3,17 \text{ мм}$. Следовательно, применение расчетного припуска (1,83 мм) дает значительное снижение расхода металла.

Базы для механической обработки отливок разделяют на первичные и вторичные. К первичным базам относят литые поверхности, относительно которых обрабатывают плоскости и отверстия, служащие затем вторичными базами при последующей обработке отливок. Расположение первичных баз оказывает решающее влияние на точность обработки отливок: они должны определять положение отливки в трех координатных плоскостях. На чертежах отливок эти базы обозначают знаком треугольника с заштриховкой.

При выборе базовых поверхностей для обработки отливок необходимо стремиться к кратчайшим связям их с базовыми поверхностями и осями, примененными для сборки формы. Достигают этого назначением тех и других баз на каком месте отливки и формы, которое получается одним элементом формы (стержнем, полуформой и т. п.) — без участия разъемов. Для правильного выбора базовых поверхностей необходимо проводить расчет методом размерных цепей [15]. При этом необходимо добиваться минимальной величины суммарных отклонений.

Разработка технических условий на отливки

Технические условия на отливки разрабатывают в соответствии с ГОСТ 2.115—70 и отраслевыми стандартами, а также другими стандартами, относящимися к данному виду литья. Технические условия выпускают в тех случаях, когда требования к отливкам превышают требования ГОСТов; в противном случае ограничиваются чертежами отливок и ссылками на ГОСТы с конкретизацией некоторых пунктов ГОСТов, например количества и места допускаемых поверхностных дефектов.

Согласно ГОСТ 1855—55, как указывалось, к отливкам предъявляют определенные требования по толщине стенок и ребер, а также массе отливок. Для обеспечения этих требований необходимо проводить расчеты толщины стенки методом размерных цепей и определять допускаемые отклонения на те размеры, которые определяют толщину стенки и относятся к форме, модели, стержневому ящику, опокам и др. Расчеты рекомендуется проводить по методике, описанной в работе [15]. При особом требовании потребителя допуски на толщину стенок по ГОСТ 1855—55 можно перераспределить — увеличивать нижние отклонения за счет верхних. Отдельные утолщения или утонения необходимо оговаривать. Допускаемые отклонения (в %) от номинальной массы отливок по ГОСТ 1855—55 приведены ниже.

Класс точности	I	II	III
Номинальная масса отливки, кг:			
до 80	5	7	8
80—500	4	6	7
св. 500	3	5	6

Полученные допускаемые отклонения по массе отливки указывают в чертеже отливки или в заказе. В случае необходимости на чертеже отливки указывают и класс шероховатости поверхности по ГОСТ 2789—73*. Всего в зависимости от высоты неровностей на указанной базовой длине установлено 14 классов шероховатости поверхности, причем для отливок назначаются только первые пять классов:

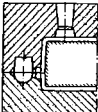
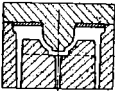
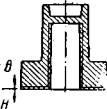
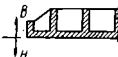
Класс шероховатости поверхности	1	2	3	4	5
Высота неровностей R_z , мкм	От 320	От 160	От 80	От 40	От 20
	до 160	до 80	до 40	до 20	до 10
Базовая длина, мм	8,0	8,0	8,0	2,5	2,5

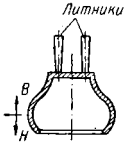
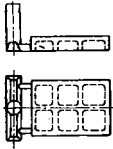
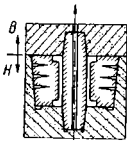
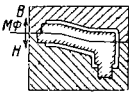
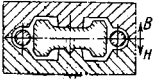
Шероховатость поверхности согласно ГОСТ 2789—73 и ГОСТ 2.309—73 обозначают специальными знаками. В чертеже отливки в основной надписи под наименованием детали пишут слово «Отливка».

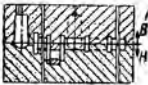
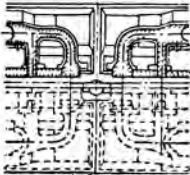
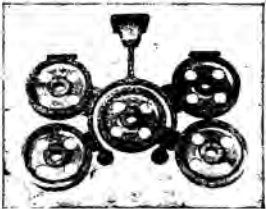
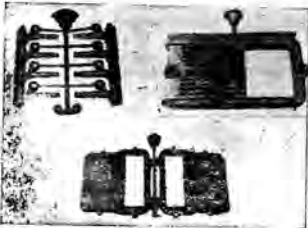
* Согласно п. 3 ГОСТ 2789—73, классы шероховатости поверхности допускаются применять до 1980 г.

Таблица IV.12

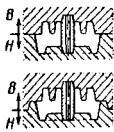
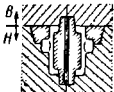
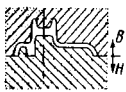
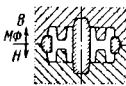
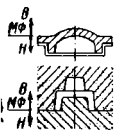
Основные требования к выбору положения отливки в форме [22, 25]

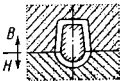
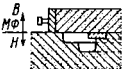
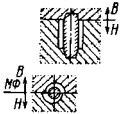
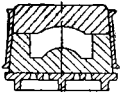
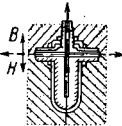
Эскиз	Основные требования
	При повышенной склонности чугуна к образованию усадочных раковин следует отливки располагать так, чтобы толстые части были сверху или сбоку по разъему, что позволяет удобно устанавливать прибыли
	Массивные части отливок из серого чугуна следует располагать в нижней полуформе, а при формовке в одной полуформе — вниз; направленная кристаллизация для крупных отливок при этом обеспечивается применением металлических холодильников или смесей с повышенной теплопроводностью
	Наиболее ответственные части отливок следует располагать в нижней части формы или, в крайнем случае, вертикально, что уменьшает дефекты по неметаллическим включениям, усадочным и газовым раковинам
	При подводе металла по разъему формы горизонтальные тонкие стенки отливки следует располагать в нижней части формы, что обеспечивает лучшее заполнение формы и устраняет недолив и спай
	Большие плоские поверхности не следует располагать вверх, а если это неизбежно, следует делить их ребрами, что уменьшает образование ужиин и разрушение верхней поверхности формы лучистой теплотой металла, или резко уменьшить время заполнения формы

Эскиз	Основные требования
	Основную часть отливок с малой и равномерной толщиной стенок (посудное литье, ванны) следует располагать в верхней части формы, обеспечивая тем самым хорошее ее заполнение клиновыми щелевыми или дождевыми питателями, подводимыми в верхнюю часть отливки
	Отливку необходимо располагать так, чтобы обеспечить спокойное заполнение формы, исключая разрушение струей металла отдельных участков формы и стержней
	Для устранения образования газовых раковин отливки при заливке следует располагать так, чтобы был обеспечен преимущественно верхний отвод газов из стержней
	При изготовлении форм под высоким давлением, особенно на автоматических линиях, а также для деталей, подвергающихся испытанию на герметичность, отливки в форме следует располагать так, чтобы обеспечить крепление стержней без жеребеков, а закрепление увеличенной нижней части знака — плоскостью разъема верхней полуформы
	Отливку в форме следует располагать по возможности так, чтобы можно было объединить несколько стержней в один для двух и более отливок

Эскиз	Основные требования
	Отливку в форме следует располагать так, чтобы общая высота формы была наименьшей, а полуформы имели примерно одинаковую высоту
	При диафрагменном прессовании отливку в форме следует располагать так, чтобы обеспечить уплотнение формовочной смеси в углах опоки
	При формовке на автоматических линиях с автоматической заливкой отливку в форме следует располагать так, чтобы при отливках, разных по конфигурации и толщинам стенок, подвод металла исключал образование отбела
	Отливку в форме на автоматах «ДИСА» следует стремиться располагать так, чтобы максимально была использована модельная плита при учете условия получения качественной отливки
	При формовке на автоматах «ДИСА» отливку в форме следует располагать так, чтобы подвод металла в форму исключал недолив, неслитину и другие литейные дефекты

Основные требования к выбору разъема формы [22]

Эскиз	Основные требования
	Число разъемов формы должно быть минимальным, а поверхности разъемов — плоскими; при фасонной поверхности разъема его построение должно выполняться линиями, имеющими определенную геометрическую форму, что упрощает процесс изготовления, доводки и контроля модельных плит
	Число отъемных частей должно быть минимальным; при массовом и серийном производстве, если нельзя изменить конструкцию отливки, их следует заменять стержнями
	Количество стержней должно быть минимальным; по возможности стержни следует заменять болванами, особенно на автоматических линиях формовки, или несколько отдельных стержней заменять одним общим; в единичном производстве для возможности замены стержней болванами следует применять парные модельные плиты по типу машинной формовки
	Разъем формы должен быть таким, чтобы все или основные стержни устанавливались в нижней полуформе и обеспечивали тем самым максимально удобные процессы сборки формы, ее отделки, окраски и просушивания, а также контроль установки стержней
	Базовые поверхности отливок должны быть расположены в одной полуформе с обрабатываемыми поверхностями, а также с фланцами и приливами, связанными с базовыми жесткими размерами; части детали, не допускающие относительного взаимного смещения, должны также располагаться в одной полуформе; если же разъем формы не допускает их расположения в одной полуформе, то ответственные поверхности должны занимать в форме строго определенное положение по отношению к базовым, что достигается применением специальной оснастки и средств контроля

Эскиз	Основные требования
	Для обеспечения равномерной толщины стенок отливок линии разъема формы и стержня должны совпадать, а величины их формовочных уклонов быть одинаковыми
	Для повышения точности отливки располагать ее следует в одной полуформе, что обязательно для отливок, формируемых в почве или неспаренных опоках; с этой же целью фиксацию стержней следует производить в той части формы, в которой оформляются все или большинство наружных поверхностей отливок
	Разъем формы должен обеспечить наименьшее количество дефектов по перекосам, а также минимальную протяженность литейных швов по поверхностям отливок и соответственно заливок; если же заливок не избежать, то обработка их не должна вызывать затруднений; на базовых поверхностях отливок литейные швы и заусенцы не допускаются
	При безопочной формовке более высокая часть отливки должна быть расположена в нижней части полуформы; в этом случае съем верхней формы и нижней, находящейся под воздействием вибратора, не вызывает затруднений
	Разъем формы должен быть таким, чтобы обеспечить удобный вывод газов из всех стержней, болванов и углубленных (при почвенной формовке) участков формы
	При ручной формовке, а также при использовании машин без поворота для изготовления верхних полуформ болваны следует располагать в нижней полуформе, так как при этом уменьшаются усилия, стремящиеся их разрушить при извлечении моделей из формы
	При формовке на автоматах «ДИСА» разъем формы следует располагать так, чтобы обеспечить надежное крепление стержней

3. ВЫБОР ПОЛОЖЕНИЯ ОТЛИВКИ В ФОРМЕ

Положение отливки в форме и разъем формы должны обеспечивать высокое качество отливки, минимальные затраты на ее изготовление и на механическую обработку, минимальный расход металла и возможность применения механизации и автоматизации технологического процесса (табл. IV.12 и IV.13). Кроме того, при литье в оболочковые формы надо стремиться к тому, чтобы размеры отливок, к которым предъявляются более жесткие требования по точности, не пересекались с линией разъема формы. Разъем оболочковых форм следует выбирать с учетом применения минимального числа стержней, даже в том случае, если для этого потребуется применение фасонного разъема. При литье в кокиль положение отливки должно быть выбрано с учетом вывода газов, устранения усадочных дефектов, получения точных размеров отливки. Тонкие стенки отливки следует располагать в нижней части кокиля; число разъемов кокиля должно быть наименьшим, а разъемы должны быть по возможности плоскими; базовая поверхность отливки не должна располагаться в плоскости разъема кокиля; разъем кокиля должен обеспечить легкое удаление металлических стержней и отливки, надежное крепление песчаных стержней.

4. РАЗРАБОТКА МОДЕЛЬНО-ОПЕЧАТНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАТКИ

Общие положения по разработке и эксплуатации средств технологического оснащения литейного производства

Технологической оснасткой литейного производства называют совокупность приспособлений и инструмента, необходимых для получения отливок и регламентированных ГОСТ 14.310—73, обязательным при разработке как стандартных, так и нестандартных средств технологического оснащения. При этом стандартными являются средства технологического оснащения, установленные государственными и отраслевыми стандартами, а также стандартами предприятия, а нестандартными — все остальные. Стандарты предприятия разрабатывают для дополнения государственных и отраслевых стандартов или для унификации средств технологического оснащения, имеющих распространение на данном предприятии. Разработка средств технологического оснащения должна осуществляться специализированными конструкторскими подразделениями или, при необходимости, под их руководством цеховыми специализированными частями конструкторских подразделений.

В соответствии с ГОСТ 14.301—73 технологическая оснастка, кроме основных единиц (литейные модели, стержневые ящики и т. п.), включает инструменты и средства, выбор которых должен производиться с учетом типа производства, его структуры, вида изделия, программы его выпуска, характера намеченной технологии, возможности группирования операций, максимального применения имеющейся стандартной оснастки и, согласно ГОСТ 14.305—73, должен основываться на анализе затрат на реализацию технологического процесса в установленном промежуток времени при заданном количестве изделий. Анализ затрат включает: сравнение вариантов оснастки, отвечающих одинаковым требованиям и обеспечивающих решение одинаковых задач в конкретных производственных условиях; выбор вариантов, основывающихся на использовании разной информации (технических требований к изделию, количества и сроков изготовления изделий, технических возможностей технологической оснастки, затрат на изготовление технологической оснастки и ее эксплуатацию); учет требований техники безопасности и промышленной санитарии.

Технологически процесс получения отливок предопределяет конструкцию оснастки, которая должна обеспечить применение рациональных условий ее эксплуатации. Комплекс этих работ согласно ГОСТ 14.105—74, включает: установление норм расхода, оборотных фондов и норм запаса оснастки, подлежащей хранению; разработку инструкций по эксплуатации оснастки, проведение

инструктажа по эксплуатации и осуществление технического надзора за соблюдением правил эксплуатации; разработку графиков планово-предупредительного ремонта оснастки; организацию ремонта и восстановления оснастки; формирование парка стандартной переналаживаемой оснастки многократного применения и организацию централизованного обслуживания его производства. Нормы расхода технологической оснастки должны быть технически обоснованными, их следует устанавливать расчетным путем на основании показателей государственных и отраслевых стандартов. В состав оборотного фонда входят оснастка, одновременно находящаяся на всех рабочих местах; годная к работе оснастка, находящаяся в запасе; оснастка, находящаяся в ремонте.

На технологическую оснастку, постоянно применяемую в производстве и подлежащую хранению на складе, устанавливаются нормы запаса (в пределах планирования оборотных средств) в штучном исчислении на каждый типоразмер и вид оснастки, фиксируемые в картах учета оснастки. Технологическую оснастку, снятую с производства, следует хранить на складе со сроком, установленным отраслевыми стандартами. Ограбленную и изношенную оснастку разделяют на подлежащую восстановлению и подлежащую утилизации.

Литейные модели и стержневые ящики

Основными видами литейной оснастки [3, 13] при изготовлении литейных форм являются модели и стержневые ящики. Прежде всего в этом отношении особо важна разработка конструкции стержней, которые по сложности разделяют на пять классов*.

В зависимости от назначения стержни делятся на основные и вспомогательные. Основными являются стержни, участвующие в формировании поверхности отливки. Их два вида: образующие внутренние полости и отверстия и образующие наружные контуры отливки. Вспомогательными являются стержни, косвенно участвующие в формировании отливки: литниковые фильтры, стержни легко отделяемых прибылей, стержни-подкладки и т. п. При конструировании стержней технологам необходимо решать комплекс взаимосвязанных вопросов, определяющих метод их изготовления и конструкцию стержневых ящиков, производительность труда всех рабочих, занятых стержневыми операциями, точность и качество получаемых отливок. Этими вопросами являются: выбор границ стержней, определение форм и размеров знаков стержней с учетом знаковых фиксаторов, определение конструкции каркасов, определение мест расположения и размеров вентиляционных каналов.

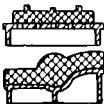
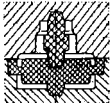
При выборе границ стержней необходимо руководствоваться следующими соображениями: стержни должны быть простыми в изготовлении; конструкция стержней должна обеспечивать их получение без применения съемных частей стержневых ящиков (или с минимумом таковых), снижающих производительность труда и ухудшающих размерную точность отливок; конфигурация стержней должна обеспечивать минимальную их деформацию в процессе сушки (это положение не относится к стержням, упрочнение которых осуществляется непосредственно в стержневых ящиках); необходимо стремиться к уменьшению количества стержней в форме (однако их укрупнение ведет к чрезмерному усложнению конструкции стержневого ящика); по возможности необходимо избегать склейки отдельных частей стержней, снижающей размерную точность отливок; в массовом производстве для повышения производительности труда и точности установки в процессе сборки форм стержни необходимо предварительно собирать в блоки, применяя для этой цели специальные сборочные кондукторы; выбор границ должен предусматривать удобство установки стержней в форму (номера стержней присваиваются в порядке их установки в форму), четкую их фиксацию и возможность контроля правильности сборки.

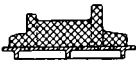
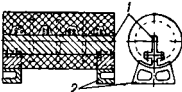
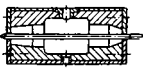
В табл. IV.14 приведены основные требования к выбору границ стержней и разъемов стержневых ящиков.

* См. табл. V. 31.

Основные требования к выбору границ стержней
и разрезов стержневых ящиков

Таблица IV.14

Эскиз	Основные требования
	Разъемы ящиков и поверхность высушивания стержней при единичном ручном, а также мелкосерийном машинном изготовлении на встряхивающих и прессовых машинах должны быть, как правило, плоскими; при массовом производстве в случае применения специальных сушителей допускаются сложные неплоскостные разрезы, ограниченные прямыми линиями строгой геометрической формы, что упрощает изготовление ящиков
	Применение сложных неплоскостных разрезов при отсутствии сушителей допускается в случае использования смесей химического твердения, когда оно производится до извлечения стержней из ящиков
	Границы стержней при ручной набивке и изготовлении на встряхивающих машинах должны обеспечивать простоту стержневого ящика, наименьшее число отъемных частей в них, а также удобство извлечения стержня из ящика; применение вкладышей, которые при изготовлении стержня должны осаживаться, допускается в виде исключения, так как такие вкладыши быстро выходят из строя и не обеспечивают точных размеров стержня
	Каждый стержень должен быть достаточно прочным; основные опорные знаки стержня следует устанавливать в нижней части формы, особенно при крупных стержнях; верхние знаки стержней должны обеспечивать их точное и устойчивое положение
	Следует избегать кантовки крупных стержней, а высушивание их необходимо производить в том положении, в каком они устанавливаются в форму; в противном случае ящик необходимо снабдить устройством для кантовки. При изготовлении очень крупных стержней сушильная плита может использоваться как нижняя стенка ящика, что предохраняет сырой стержень от деформации

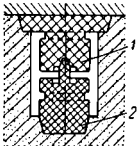
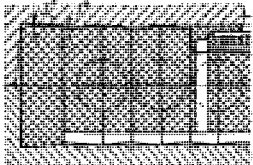
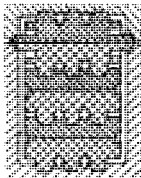
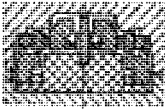
Эскиз	Основные требования
	Для того чтобы исключить деформацию стержня под влиянием собственной массы и обеспечить его устойчивость при транспортировании на сушильной плите, опорные поверхности для высушивания должны быть достаточно большими
	Если нельзя использовать при высушивании стержней обычные знаки, то следует сделать такие боковые знаки, которые обеспечили бы установку стержня в сушило на боковые опоры; такими опорами могут служить рамки и каркасы 1, выходящие за пределы стержня и опирающиеся на специальные подставки 2
	В стержневых ящиках для пескочувствительных машин, имеющих усложненную конструкцию в целях исключения операций по подгонке и склейке отдельных частей стержня, не следует применять лишние плоскости разреза стержня. Для сложных стержней применяют фасонные сушители (однако при использовании смесей химического упрочнения и применения способа получения стержней в горячих ящиках надобность в них отпадает)

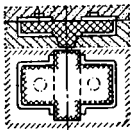
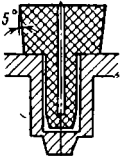
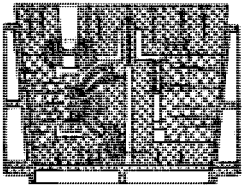
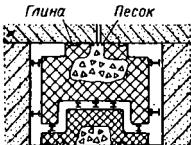
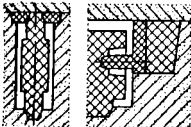
Форма и размеры знаков и уклонов, а также величины зазоров между знаком формы и стержнем регламентированы ГОСТ 3606—57. На рис. IV.5 представлены примеры устройства фиксаторов на знаках, предупреждающих осевые и радиальные смещения стержней, а в табл. IV.15 — способы фиксации стержней в форме.

Для повышения конструктивной прочности и жесткости стержней применяют различного рода конструкции каркасов, которые не должны препятствовать усадке отливок при охлаждении и мешать устройству в стержнях вентиляционных каналов; кроме того, они должны легко удаляться из отливок при выбивке стержней. Технология изготовления каркасов должна быть несложной и доступной для условий данного литейного цеха. Для стержней различных классов рекомендуются следующие типы каркасов [14]: для стержней класса I — простые связываемые элементы из тонкой проволоки или формовочных шпилек, образующие единый каркас; для стержней класса II — сложные и особо сложные связываемые провололочные каркасы, а также литые рамочные каркасы с провололочными торцами, изогнутыми в соответствии с конфигурацией стержня; для стержней класса III — провололочные связываемые или разборные каркасы; для больших цилиндрических стержней — стальная труба с отверстиями, расположенными по всей поверхности в шахматном порядке, а также сварные каркасы, сочетающие в себе плоское цилиндрическое основание и стальную трубу с отверстиями; для стержней классов IV и V — сварные каркасы рамочные, а также сварные объемные и коробчатые.

В табл. IV.16 [14] приведены размеры некоторых весок (подъемов) стержней. Для изготовления каркасов может быть использована отожженная проволока, поставляемая по ГОСТ 14085—68, для весок — проволока, поставляемая по ГОСТ 2590—71.

Способы фиксации положения стержней в форме

Эскиз	Способ фиксации
	Фиксация каждого отдельного стержня (например, 1 и 2) независимо от других стержней. Применяется в случае образования отдельными стержнями полостей, разделенных между собой, и обеспечивает достаточную точность отливки
	Взаимная фиксация стержней. Применяется тогда, когда ряд стержней образует общую полость отливки или когда знаки их соприкасаются между собой. Точность фиксации отдельных стержней обеспечивается только при условии жесткого соблюдения системы зазоров и допусков при изготовлении стержней
	Взаимная фиксация стержней. Отличается от предыдущего способа тем, что нижний стержень, образующий общую полость с верхним, фиксируется в форме знаками; верхний, накладываемый на нижний, фиксируется в вертикальном направлении плоскостью разреза, а в горизонтальном — контурами нижнего стержня. Применяется для установки крупных стержней и обеспечивает достаточную точность
	Фиксация в других стержнях. Если стержень 3, образующий внутреннюю полость, не имеет знаков в нижней половине формы, он фиксируется в стержнях 1, 2, расположенных ниже и имеющих сочленение со стержнем 3; в этом случае необходима проверка установки стержней шаблоном
	Соединение стержней вне формы в общий узел с последующей подачей на сборку. Рекомендуется при невозможности фиксации в форме отдельных стержней. Обеспечивает высокую точность внутренних полостей и увеличивает производительность участка сборки форм

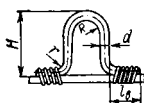
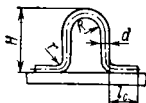
Эскиз	Способ фиксации
	Фиксация стержней на знаках для нескольких отливок. Надежность фиксации обеспечивается объединением стержней для двух или нескольких отливок. Применяется в случае сложности раздельной установки стержней 1
	Фиксация стержней в моделях. Применяется для получения небольших отверстий и углублений, связанных жесткими допусками, а также сквозных отверстий в мелких втулках. В этом случае стержни, имеющие знаки с обратными конусами, вставляются перед формовкой в углубления, имеющиеся на модели
	Фиксация в жакетах, внутренние стенки которых являются базой для внешних поверхностей стержней. Точность фиксации зависит от жесткости размеров жакетов и качества изготовления стержней. Рекомендуется при серийном производстве отливок, имеющих наряду со сложными внутренними также и внешние сложные контуры
	Фиксация жеревейкам при отсутствии у стержней нижних и боковых опорных знаков. Рекомендуется при производстве крупного литья средней сложности, не подвергающегося испытанию на плотность и не требующего повышенной точности выполнения внутренних полостей
	Фиксация стержней путем применения вспомогательного стержня. Применяется при установке высоких вертикальных стержней с малым отношением диаметра к высоте, а также при установке боковых стержней

Размеры весок (подъемов) стержней, мм

Вески, прикрепляемые к каркасам:

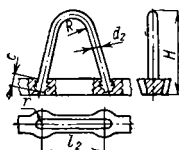
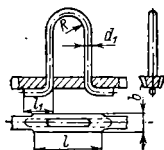
сваркой

вязальной проволокой



Допускаемые нагрузки на одну веску, кг	d	H	R	l_c	l_b	d	r	Число витков
До 15	3	40—250	15	20	15—20	0,5	5	20—25
15—25	4		20	25	20—30	0,8	5	25—30
25—50	6		25	30	30—40	0,8	6	30—40
50—100	8		30	35	40—50	1,0	6	40—50
100—200	10		35	40	50—60	1,0	7	50—60
200—300	12		35	45	—	—	7	—

Вески, залитые в каркас



Допускаемые нагрузки на одну веску, кг	d_1	l	l_1	b	d_2	R	l_2	H	r	c
До 50	6	60	25	25—30	6	20	36	100	10	12
50—100	8	80	30	30—35	8	20	40	100	10	16
100—200	10	100	40	35—40	10	20	46	100	10	20
200—300	12	120	45	40—45	12	20	54	100	10	24
300—500	16	150	50	45—50	14	20	60	100	10	28
500—700	—	—	—	—	16	25	64	110	15	32
700—900	—	—	—	—	18	30	67	120	20	36
900—1200	—	—	—	—	20	30	70	125	25	40
1200—2000	—	—	—	—	30	30	74	—	30	50
2000—3000	—	—	—	—	36	36	—	—	40	—
3000—4000	—	—	—	—	42	42	—	—	50	—

Вентиляционные каналы для удаления из стержней и форм газов, выделяющихся в процессе заливки, должны выполняться в стержнях с таким расчетом, чтобы образующиеся газы удалялись не через рабочую полость литейной формы, а через торцы знаков (рис. IV.6). Осуществляется вентиляция стержней следующими основными способами: установкой душников (или железных прутьев) с последующим их удалением из стержня; накалыванием стержней душником;

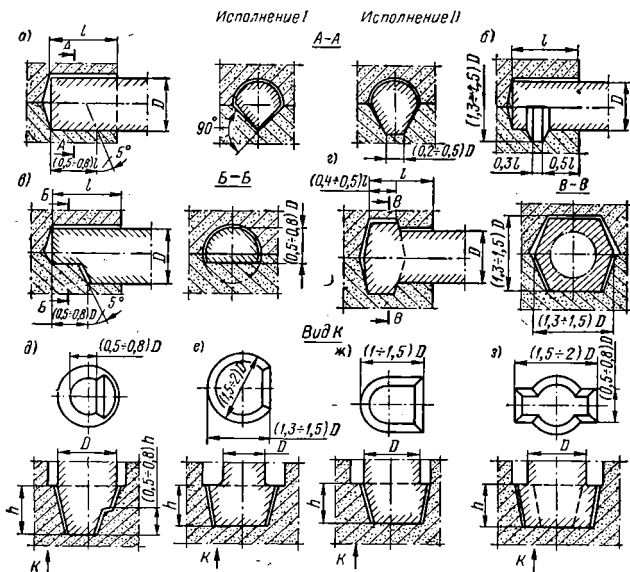


Рис. IV.5. Различные конструктивные исполнения фиксаторов, предупреждающих осевые и радиальные смещения стержней: а — г — на горизонтальных знаках; д — з — на вертикальных знаках

установкой трубных каркасов с отверстиями; изготовлением стержней с внутренней полостью, заполненной шлаковой гарью или коксом (если возможно, то внутреннюю полость не заполняют совсем).

После выполнения чертежа элементов литейной формы (ГОСТ 2.423—73) при единичном производстве непосредственно по этому чертежу приступают к изготовлению модельного комплекта, при массовом, крупносерийном и серийном производстве — к проектированию модельного комплекта. В последнем случае изготовление модельного комплекта осуществляется на основе конструкторских чертежей.

Для изготовления моделей и стержневых ящиков в зависимости от масштаба производства, сложности и габаритов отливок, предъявляемых к ним требований и условий, применяют материалы, характеристики которых приведены в табл. IV.17. Согласно ГОСТ 13354—67, для деревянной оснастки в зависимости от класса прочности применяют разную древесину (табл. IV.18) с содержанием влаги в пределах 8—12% (чем выше атмосферная влажность, тем выше верхний предел

содержания влаги в древесине). Нормы точности деревянных моделей и стержневых ящиков регламентированы ГОСТ 11963—66 (I, II и III классы соответствуют классам точности отливок по ГОСТ 1855—55 и ГОСТ 2009—55).

Класс шероховатости обрабатываемых поверхностей моделей зависит от вида поверхности модели, класса точности модели и других факторов. Для деревянной оснастки шероховатость рабочей поверхности должна быть не грубее 6-го класса, поверхности разъема стержневых ящиков — не грубее 4-го класса, всех остальных (нерабочих) поверхностей — не грубее 2-го класса (ГОСТ 7016—75) *.

В соответствии с ГОСТ 2413—67 деревянный модельный комплект красится следующим образом: поверхности моделей и стержневых ящиков, соответствующие необрабатываемым поверхностям отливок, — цветом основного фона (для чугуна — красным); поверхности моделей и стержневых ящиков, соответствующие обрабатываемым поверхностям отливок, — черными круглыми пятнами по основному фону; знаковые части — черным цветом; поверхности частей моделей и стержневых ящиков, отпечатки от которых заделываются, — штриховкой наклонными черными полосами по основному фону; сопряжения моделей и стержневых ящиков с их отъемными частями — окантовкой сопряжений черной полосой по основному фону; поверхности элементов литниковой системы, прибылей, выпоров, приливов для контрольных образцов — цветом основного фона и окантовкой черной полосой по контуру сопрягаемых элементов; поверхности установки холодильника — окантовкой и штриховкой в клетку черными полосами по основному фону; поверхности «фальшивых» модельных плит и поверхности шаблонов — цветом основного фона.

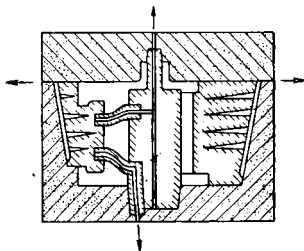


Рис. IV.6. Схема удаления газов из стержней

Маркировка модельного комплекта показана ниже.

Для модели

A-9230
K1-Я4
ОЧМ1-Ш2-ПВ2-Л5

Для стержневого ящика

A-9230
K1-Я № 2-Ст № 2а, 2б
ОЧС5-Ш1

Здесь А-9230 — номер детали (по чертежу); К1 — порядковый номер модельного комплекта (при наличии дублера); Я4 — количество стержневых ящиков; ОЧМ1 — количество отдельных и отъемных частей модели; Ш2 (Ш1) — количество шаблонов; ПВ2 — количество прибылей и выпоров; Л5 — количество элементов литниковой системы; Я № 2 — порядковый номер стержневого ящика (при наличии более одного); Ст № 2а, 2б — номера стержней, изготавливаемых по одному стержневому ящику с применением разных вкладок; ОЧС5 — количество отъемных и вставных частей ящика.

Маркировка выполняется на поверхностях модели, соответствующих необрабатываемым поверхностям отливок, и на наружных поверхностях стержневых ящиков. Прибыли, выпоры, элементы литниковой системы, отъемные части также должны иметь маркировку: номер детали, порядковый номер модельного комплекта с шифром К, специальную метку, соответствующую метке на модели (стержневом ящике) в месте их сопряжения. Места вывода вентиляционных

* При изготовлении деревянной оснастки кроме стандартов можно также пользоваться нормами машиностроения МН 2031—61 — МН 2060—61.

Сравнительная характеристика и условия применения материалов для изготовления модельной оснастки

Материал	Характеристика материала	Область применения	Срок службы (число формовок)	
			Ручная формовка	Машинная формовка
Дерево (ГОСТ 8486—66 и ГОСТ 2695—71)	Легкая обрабатываемость, дешевизна. Деформируется и подвергается загниванию	В единичном и мелкосерийном производстве литья для любых по размерам и сложности моделей	До 100	До 1 000
Алюминиевые сплавы АЛ3В, АЛ4В, АЛ7В, АЛ9В, АЛ10В, АЛ14В, АЛ15В (ГОСТ 2685—75)	Легкость, наличие антикоррозийной пленки, удовлетворительная прочность, хорошая обрабатываемость (усадка 1,0—1,2%)	В серийном и массовом производстве литья для моделей мелких и средних отливок	До 5 000	50 000—75 000
Бронза (ГОСТ 613—65), латунь (ГОСТ 1020—68)	Гладкая, стойкая против коррозии поверхность, неприлипаемость смесей (усадка 1,2—1,5%)	В крупносерийном и массовом производстве литья для моделей мелких сложных отливок	—	100 000— 150 000
Чугун марки не ниже СЧ 15-32 (ГОСТ 1412—70)	Прочность, хорошая обрабатываемость, гладкая поверхность, относительная дешевизна, быстрая коррозия (усадка 1%)	В крупносерийном и массовом производстве литья для моделей крупных и средних отливок, нагреваемых стержневых ящиков и для модельных плит	—	100 000— 150 000
Сталь (ГОСТ 977—75) и Ст3 (ГОСТ 380—71)	Прочность, гладкая поверхность, трудная обрабатываемость, быстрая коррозия	При массовом производстве литья для моделей средних и мелких сложных отливок	—	До 500 000
Пластмассы	Простота изготовления, почти не требуется механической обработки	При серийном и крупносерийном производстве для моделей мелких и средних размеров и стержневых армированных ящиков	До 4 000	До 35 000
Пенополистирол	Легкая обрабатываемость, прочность при длительном хранении, не реагирует на влажность, малая плотность	При индивидуальном и мелкосерийном производстве для любых по размерам и сложности газифицируемых моделей	—	—

Материалы, применяемые для изготовления деревянных моделей и стержневых ящиков

Часть модели или стержневого ящика	Класс прочности		
	I	II	III
Основа модели или стержневого ящика	Лиственные породы (ольха, ясень, бук, липа) по ГОСТ 2695—71 и хвойные породы (сосна) не ниже 2-го сорта по ГОСТ 8486—66	Те же породы древесины, что и для класса I. Для неответственных моделей допускается применение древесины 3-го сорта	Те же породы древесины, что и для класса I, не ниже 3-го сорта. Допускается применение ели не ниже 2-го сорта по ГОСТ 8486—66
Отъемные и другие быстроснашивающиеся выступающие части	Фанера клееная березовая и буковая сортов АВ и В по ГОСТ 3916—69	Твердые породы древесины или древесный слоистый пластик ДСП-Б, ДСП-В по ГОСТ 13913—68	—
Заостренные кромки моделей, стержневых ящиков и шаблонов (окантовка)	Пластины из полосовой стали	Твердые породы древесины, пластмасса или пластины из полосовой стали	—
Крепления моделей и стержневых ящиков	Нагели на клею, болты, шурупы и гвозди (с предварительной посадкой на клею)	Гвозди (с предварительной посадкой на клею)	Гвозди (с предварительной посадкой на клею)
Крепления бобышек, платиков, ребер	Нагели на клею, болты, шурупы, гвозди (с предварительной врезкой и предварительной посадкой на клею)	Шурупы и нагели (с предварительной посадкой на клею)	Гвозди (с предварительной посадкой на клею)

каналов маркируются знаками В ↑ К, места вывода весок — В ↑ П (по требованию заказчика). Маркировка наносится краской, отличающейся от цвета основного фона, и врезкой литых знаков, высота которых должна быть не менее 5 мм.

Конструкция и размеры соединений, креплений, стяжек, угольников, подъемов и цапф, применяемых при изготовлении деревянных моделей и стержневых ящиков, установлены ГОСТ 22325—77—ГОСТ 22334—77.

Деревянная оснастка должна храниться в закрытых помещениях с $t \geq 8-12^{\circ}\text{C}$ и относительной влажностью воздуха в пределах 40—50%.

Для организации в литейных цехах группового метода изготовления стержней в условиях единичного и мелкосерийного производства ГОСТ 21074—75 — ГОСТ 21077—75 предусматривают применение типовых металлических корпусов стержневых ящиков со сменными вкладышами, предназначенных для изготовления песчаных стержней на встряхивающих формовочных машинах. Отливки же корпусов и деталей стержневых ящиков в соответствии с ГОСТ 21078—75 должны изготавливаться из алюминиевых сплавов марок АЛЗВ, АЛ4В, АЛ7В, АЛ9В, АЛ10В, АЛ14В по ГОСТ 2685—75 и из стали по ГОСТ 977—75. Отливку плит, торцовых и продольных стенок металлических корпусов вместо стальных допускается производить из ВЧШГ марок не ниже ВЧ 50-1,5 по ГОСТ 7293—70. Конструкция элементов и размеры металлических стержневых ящиков и моделей, способы фиксации и крепления моделей к модельным плитам регламентированы ГОСТ 21079—75—ГОСТ 21086—75, ГОСТ 19367—74—ГОСТ 19409—74, ГОСТ 20340—74—ГОСТ 20350—74, ГОСТ 13138—67. Металлические модели и стержневые ящики должны быть легкими и в то же время достаточно жесткими. Этому требованию удовлетворяют модели и ящики, снабженные для жесткости ребрами. В соответствии с ГОСТ 13138—67 исходными данными для определения толщины тела модели и ящика являются их длина L и ширина B , определяющие средний габаритный размер $(L+B)/2$:

$(L+B)/2$, мм	До 250	250—400	400—630	630—1000	1000—1600	1600—2000
Толщина стенок, мм:						
алюминиевых	8/8	9/10	10/12	12/15	15/—	18/—
чугунных	6/6	7/8	8/10	10/12	—	—

Здесь цифры в числителе — для моделей, в знаменателе — для стержневых ящиков, причем ГОСТ оговаривает также соответствующие допуски в пределах от +1,5 до —0,5 мм для малых толщин и от +3,0 до —2,0 мм — для больших.

При этом допускается увеличение толщины стенок моделей для отливки в песчаные формы, уплотняемые под удельным давлением 12—40 кгс/см², до 35%. Модели со средними габаритными размерами до 160 мм допускается изготавливать сплошными (без пустот). Толщина ребер жесткости зависит от установленной толщины тела. Толщина нижней части ребра не должна превышать 0,8 толщины тела; формовочные уклоны на ребрах зависят от максимальной высоты ребра и могут изменяться в пределах $0^{\circ} 30' - 1^{\circ} 30'$. Расположение ребер (сетка ребер) также связано с габаритным размером модели. Минимальный размер между ребрами должен быть не меньше 60 мм, а максимальный не должен превышать 250 мм.

В целях увеличения срока службы моделей их наиболее изнашивающиеся части (ребра, бобышки и т. п.) следует изготавливать из более износостойких материалов: для алюминиевых моделей — из стали, чугуна или бронзы, для чугунных и стальных — из закаленной стали или стали повышенной твердости. Все съемные элементы должны иметь соединение, гарантирующее постоянную плотность прилегания.

Для упрощения технологии изготовления ящик может быть выполнен разборным из отдельных частей. При этом должно быть обеспечено жесткое крепление между собой отдельных элементов конструкции, взаимная фиксация которых обеспечивается не менее чем двумя контрольными штифтами. Отдельные части ящика крепят сквозными болтами с гайками или же винтами вглухую.

При ручном методе изготовления стержней при крупносерийном и массовом производстве масса ящика не должна превышать 3 кг, и поэтому они изготавливаются только из алюминиевых сплавов с минимальной толщиной стенок. Стержневые ящики для изготовления стержней на ручных машинах и машинах с пневма-

тическим встряхиванием по своей конструкции практически одинаковы и отличаются только по способу крепления.

Для пескодувных и пескострельных машин применяются стержневые ящики различных конструкций как с плоским, так и криволинейным разъемом, но в них недопустимы большие выступы, расположенные не по направлению потока смеси, а также острые углы и резкие переходы, так как это затрудняет процесс заполнения ящика смесью. В стержневом ящике должно быть такое расположение надувных и вентиляционных отверстий, при котором обеспечивается равномерная плотность стержня во всех его сечениях, причем необходимо иметь в виду, что с увеличением высоты стержня степень уплотнения смеси увеличивается при верхнем расположении вентиляционных отверстий и уменьшается при нижнем.

Соединения отдельных частей ящика между собой и соединение ящика с надувной плитой должны быть герметичными во избежание просачивания смеси в зоне негерметичности и усиленного износа в этом месте плоскости стержневого ящика. Зазор между соприкасающимися поверхностями не должен превышать 0,05 мм. Отклонение от параллельности опорных плоскостей и плоскостей, прилегающих к надувной плите, не должно превышать 0,05 мм. Необходимая герметичность обеспечивается конструкцией ящика и шириной бортов (не менее 18 мм), а также элементами уплотнения плоскостей разъема (планками—замками или резиновыми губками). В верхней половине стержневого ящика закрытого типа ставятся надувные втулки с размерами согласно ГОСТ 19398—74 и ГОСТ 19399—74.

В стержневом ящике необходимо предусматривать бронирование поверхностей (особенно против вдувных втулок), подвергающихся износу под воздействием потока смеси, стальными пластинами или специальными бронированными вставками. Стержневая смесь поступает через надувную плиту, прикрепляемую к бункеру пескодувной машины.

Разъем нагреваемых стержневых ящиков выбирают в зависимости от геометрической формы стержней и типа применяемых машин. Элементы узлов и деталей нагреваемых стержневых ящиков необходимо выполнять в соответствии с ГОСТ 21293—75—ГОСТ 21304—75. Конструкция их в значительной мере зависит от способа нагрева (в электрических и газовых печах, встроенными электронагревателями, газовыми горелками). Однако во всех случаях должен быть обеспечен равномерный нагрев рабочей поверхности ящика; встроенные электронагреватели должны быть смонтированы в доступных местах, допускающих легкую замену. Расчет числа электронагревателей приведен в РТМ 36—61.

Нагреваемые ящики, заполняемые смесью на пескодувных или пескострельных машинах, должны иметь средство для вентиляции. Для этой цели используются щелевые прорезы на плоскости разъема и стальные венты с прямыми или клинообразными прорезями (последние более целесообразны). В труднодоступных для смеси местах применяют венты—пробки. Площадь всех вентиляционных отверстий в вентах должна составлять от $0,4S_0$ (для самых мелких стержней) и до $1,8—2,0S_0$ (для самых крупных стержней), где S_0 — площадь вдувных отверстий. При этом для смесей с малой текучестью величина этого отношения берется по верхнему пределу. Венты не рекомендуется располагать против вдувных отверстий [11, 18].

Точность изготовления металлических моделей и стержневых ящиков регламентирована ГОСТ 11961—66 в зависимости от размеров и класса точности отливок, а шероховатость поверхностей — ГОСТ 13355—74 и ГОСТ 21293—75 (табл. IV.19).

В соответствии с ГОСТ 19505—74 литейные модели и стержневые ящики, предназначенные для изготовления песчаных форм и стержней ручной и машинной формовкой, могут быть изготовлены также из пластических масс. С этой целью применяются компоненты на основе эпоксидных, акриловых и других самотвердеющих смол, обеспечивающие ударную вязкость не менее $12 \text{ (кгс·м/см}^2\text{)}$ (120 Дж/см^2). Составные компоненты (по массе) пластических масс для изготовления моделей и стержневых ящиков приведены в табл. IV.20.

Пластмассовые модели и стержневые ящики по прочности разделяют на два класса: I — для крупносерийного и серийного производства отливок; II — для мелкосерийного и единичного производства отливок. Способы изготовления

Шероховатость поверхностей металлических моделей и стержневых ящиков

Наименование поверхности	Класс точности моделей и стержневых ящиков по ГОСТ 11961-66	Значения параметров шероховатости поверхности, мкм					
		моделей		стержневых ящиков			
		для песчаных форм	для оболочковых форм и песчаных, уплотненных под средним и высоким удельным давлением	колотых		нагреваемых	
				при машинном или ручном способе изготовления стержней	при пескоструйном способе изготовления стержней	для оболочковых стержней	для цельных стержней
Рабочие поверхности	I	$Ra = 1,0 \div 2,5$	$Ra = 0,32 \div 1,25$	$Ra = 1,0 \div 2,5$	$Ra = 1,0 \div 2,5$	$Ra = 0,32 \div 1,25$	$Ra = 0,32 \div 1,25$
	II						
	III						
Плоскости разъема	I	$Ra = 1,0 \div 2,5$	$Ra = 1,0 \div 2,5$	$Ra = 1,0 \div 2,5$	$Ra = 1,0 \div 2,5$	$Ra = 1,0 \div 2,5$	$Ra = 1,0 \div 2,5$
	II			$Rz = 8,0 \div 20$			
	III			—			
Плоскости пружения	I	$Rz = 8,0 \div 20$	$Rz = 8,0 \div 20$	$Ra = 1,0 \div 2,5$	$Ra = 1,0 \div 2,5$	$Ra = 1,0 \div 2,5$	$Ra = 8,0 \div 40$
	II			$Rz = 8,0 \div 20$			
	III			—			

Наименование поверхности	Класс точности моделей и стержневых ящиков по ГОСТ 11961—66	Значения параметров шероховатости поверхности, мкм					
		моделей		стержневых ящиков			
		для литейных форм	для оболочковых форм и песчаных, уплотненных под средним и высоким удельным давлением	холодных		нагреваемых	
				при машинном или ручном способе изготовления стержней	при пескоструйном способе изготовления стержней	для оболочковых стержней	для цельных стержней
Установочные плоскости	I	$Rz = 10+40$	$Rz = 10+40$	$Rz = 10+80$	$Ra = 1,0+2,5$	$Rz = 10+40$	$Ra = 1,0+2,5$
	II						
	III	$Rz = 10+80$	—			—	
Отверстия под выталкиватели и колонки возврата	I	—	$Ra = 1,0+2,5$	—	—	—	$Ra = 1,0+2,5$
	II						
	III						
Плоскости набивки	I	—	—	$Rz = 10+40$	$Ra = 1,0+2,5$	$Rz = 8,0+20$	—
	II						
	III			$Rz = 20+80$		—	

Примечание. Ra — среднеарифметическое отклонение профиля; Rz — высота неровностей профиля по десяти точкам.

Таблица IV.20
Составные компоненты пластических масс для изготовления моделей и стержневых ящиков (ГОСТ 19505—74)

Смола	Модификатор	Отвердитель	Наполнитель
Смола эпоксидная ЭД-20 или ЭД-16 (ГОСТ 10587—72) — 100 частей	Смола эпоксидная ДЭГ-1 (СТУ 30-14339—65) — 30 частей	Полиэтиленполиамин (СТУ 49-2529—62); для смолы ЭД-20 — 14 частей, для смолы ЭД-16 — 12 частей	Порошок железный (ГОСТ 9849—74) — 150 частей или ткань из стекловолокна (ГОСТ 8481—61) — 40 частей
Смола эпоксидная ЭД-20 или ЭД-16 — 100 частей	—	Отвердитель № 254 (ТУ 176—69) — 22 части	Порошок железный — 150 частей или ткань из стекловолокна — 40 частей
Смола эпоксидная ЭД-20 — 80 частей или полиуретан СКУ-7Л (ВНИИСК) — 100 частей	—	Метафенилендиамин (ГОСТ 5826—68) — 12 частей	—

литейных моделей и стержневых ящиков в зависимости от класса прочности оговорены ГОСТ 19505—74: литье с применением армирующих материалов — класс прочности I; наплавление (для эпоксидных смол) и прессование (для акриловых смол) — классы прочности I, II; литье без армирующих материалов — класс прочности II.

Для изготовления моделей и стержневых ящиков класса прочности II допускается применение фенолформальдегидных смол и пениполистирола. При изготовлении моделей и стержневых ящиков из пластмасс можно также использовать рекомендации РТМ 68—62 «Модели и стержневые ящики литейные пластмассовые. Материалы и способы изготовления».

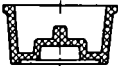
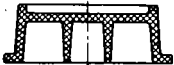
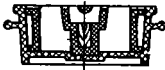
Примеры типовых конструкций моделей и стержневых ящиков по ГОСТ 19505—74 указаны в табл. IV.21. Расстояние между ребрами жесткости должно быть не более 300 мм. Толщину стенок и ребер при изготовлении моделей и стержневых ящиков из составов на основе эпоксидных смол можно определять по формуле:

$$\delta = 0,00285 (L + B) + 6,43, \quad (IV.27)$$

где δ — толщина стенки или ребра, мм; L — наибольшая длина модели или стержневого ящика, мм; B — наибольшая ширина, мм.

Быстроизнашивающиеся выступающие части моделей и стержневых ящиков класса прочности I следует изготавливать из стали или армировать стальными пластинами толщиной до 3 мм при длине армирующей части до 800 мм и толщиной до 6 мм при длине свыше 800 мм. Заостренные кромки стержневых ящиков должны быть окантованы стальными пластинами толщиной до 3 мм при длине окантовки до 800 мм и толщиной до 4 мм при длине свыше 800 мм. Ширина окантовки должна быть не более 20 мм. Неразъемные и разборные стержневые ящики следует армировать в плоскости уплотнения стальными пластинами толщиной до 3 мм при длине армирующей части до 800 мм

Конструкции пластмассовых моделей и стержневых ящиков

Эскиз	Вид модели	Эскиз	Вид стержневого ящика
	Литая, объем до 0,5 дм ³		Неразъемный
	Литая полая, объем 0,5—1 дм ³		
	Литая с деревянной вставкой, объем 1—5 дм ³		Разъемный
	Корковая облегченная, объем 5—15 дм ³		
	Корковая облегченная, объем >15 дм ³		Неразъемный с вкладышем и съемной частью

и толщиной до 4 мм при длине свыше 800 мм. Крепление стальных пластин, применяемых для армирования и окантовки, следует производить винтами и гайками на клею. Для склеивания необходимо применять составы на основе эпоксидных и акриловых самотвердеющих смол, обеспечивающие предел прочности на сдвиг не менее 20 кгс/см² (20·10⁶ Па). Разъемные стержневые ящики следует скреплять болтовыми и клиновыми стяжками, скобами и другими металлическими замками. На крупногабаритных стержневых ящиках для предотвращения прогиба стенок должны быть установлены несколько рядов крепежных приспособлений и сквозные стяжные болты. Расстояние между крепежными приспособлениями должно быть не более 300 мм, а между стяжными болтами — не более 500 мм.

Спаривание моделей и стержневых ящиков должно производиться металлическими штырями и втулками. Плоскость модели должна быть ровной по всей площади. Модели и элементы литниковой системы (питатели, шлакоуловители и т. п.) следует приклеивать к модельным плитам с одновременным усилением пластмассовыми заклепками, винтами на клею, резьбовыми втулками и шурупами в случае наличия деревянного сердечника. Съемные части крепятся металлическими цилиндрическими шипами и шипами в виде ласточкиного хвоста. Галтели следует выполнять за счет основного тела модели (стержневого ящика) или съемными планками и рамками. Дефектные места на рабочей поверхности должны быть заделаны составами на основе эпоксидных или акриловых композиций. Шероховатости рабочих поверхностей моделей и стержневых ящиков должны быть не грубее $Ra = 2,5$ мкм по ГОСТ 2789—73. Формовочные уклоны принимаются по ГОСТ 3212—57. Пластмассовые модели окрашиваются в соответствии

е ГОСТ 2413—67. В зависимости от цвета окрашиваемой поверхности следует употреблять в качестве красителей: лак рубиновый ЖК (ГОСТ 8499—69), сурик свинцовый (ГОСТ 19151—73), нитрокраску красную и черную (ГОСТ 6631—74).

Стойкость моделей в зависимости от способа формовки и типа модели должна соответствовать данным ГОСТ 19505—74 (табл. IV.22).

Таблица IV.22

Стойкость моделей в зависимости от способа формовки
и типа модели

Тип модели	Стойкость моделей (число съёмов)	
	при ручной формовке	при машинной формовке
Модели из эпоксидных составов, изготовленные:		
с армированием	3 000	30 000
без армирования	2 000	25 000
наслаиванием	4 000	35 000
Модели из акриловых самотвердеющих составов, изготовленные:		
с армированием	1 000	25 000
без армирования	800	20 000
прессованием	1 000	25 000

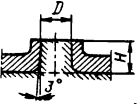
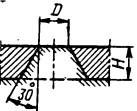
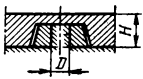
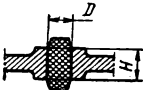
Кроме приведенной выше литейной оснастки, используют также облицованные кокили (ГОСТ 19507—74—ГОСТ 19516—74), металлические формы (ГОСТ 16234—70—ГОСТ 16262—70), кокили с жидкостным охлаждением (ГОСТ 21088—75—ГОСТ 21093—75), изложницы для центробежной заливки (ГОСТ 19305—73—ГОСТ 19315—73). Во всех случаях при проектировании литейной оснастки следует учитывать усадку металла, которую для мелких отливок можно принять в следующих пределах (%): для чугунов СЧ и ВЧШГ — 0,5—1,25, для легированных чугунов — 1,25—1,75, для ковкого чугуна — 0,5—1,0, для белого чугуна — 1,5—2,0. В сером чугуне усадка тем больше, чем тоньше отливки; в легированных чугунах — чем больше антиграфитизирующих элементов; в ВЧШГ — чем меньше предусадочное расширение $\epsilon_{рас}$; в ковком чугуне — чем меньше углерода, а значит, и графита; в белом чугуне — чем меньше углерода. Во всех случаях усадка зависит от прочности формы и стержней, тормозящих предусадочное расширение и усадку. Поэтому при ручной формовке,

Таблица IV.23

Отрицательные припуски на моделях при ручной формовке

Толщина стенок отливки, мм	Отрицательные припуски (мм) при массе отливок, кг			
	До 250	250—1000	1000—10 000	>10 000
До 15	0,5—1,0	1,0—1,5	1,5—2,0	—
15—40	1,0—2,0	1,5—2,5	2,0—3,5	4,0
40—50	2,0—2,5	2,5—3,0	3,5—4,0	4,5
50—60	2,5—3,0	3,0—3,5	4,0—4,5	5,0
60—80	3,0—3,5	3,5—4,0	4,5—5,0	5,5
80—100	3,5—4,0	4,0—4,5	5,0—5,5	6,0

Минимальные диаметры литых отверстий

Способ выполнения отверстий	Эскиз	Минимальные диаметры отверстий D в зависимости от глубины отверстия H , мм							
		До 10	До 20	До 30	До 40	До 50	До 60	До 75	До 100
Болваном, изготовленным в металлических моделях и стержневых ящиках		$1,7H$	$1,6H$	$1,5H$	$1,45H$	$1,4H$	$1,35H$	$1,3H$	$1,2H$
Болваном, изготовленным в деревянных моделях и стержневых ящиках		$0,8H$	$0,75H$	$0,7H$	$0,65H$	$0,6H$	$0,55H$	$0,5H$	—
Болваном, изготовленным в моделях и стержневых ящиках с использованием вытряхных конусных вставок		—	$1,15H$	$1,1H$	$1,05H$	$1,0H$	$0,95H$	$0,9H$	$0,85H$
Стержнем		8	10	12	14	16	18	20	20

когда вследствие слабой прочности формы происходит расширение отливки, модели должны иметь отрицательный припуск, учитывающий также расталкивание модели, как это рекомендуется табл. IV.23 [3].

Минимальные диаметры литьих отверстий определяются данными табл. IV.24, а максимальные формовочные уклоны наружных поверхностей моделей, стержневых ящиков и пресс-форм регламентируются ГОСТ 3212—57 в пределах: в выплавляемых моделях — $0^{\circ}30' - 0^{\circ}10'$, в оболочковых формах — $1^{\circ} - 0^{\circ}20'$, в металлической оснастке — $3^{\circ} - 0^{\circ}20'$, в деревянной оснастке — $3^{\circ} - 0^{\circ}15'$. При этом формовочные уклоны даются при отсутствии конструктивных уклонов на отливке.

Уклоны на обрабатываемых поверхностях назначаются сверх припуска на механическую обработку за счет увеличения размеров отливки. Уклоны на необрабатываемых, несопрягаемых с другими деталями поверхностях назначаются за счет одновременного увеличения и уменьшения размеров отливки.

Уклоны на необрабатываемых поверхностях, сопрягаемых с другими деталями, назначаются за счет уменьшения, увеличения или одновременного увеличения и уменьшения размеров отливки.

Модельные плиты

Модельные плиты можно классифицировать по масштабу производства, условиям и виду формовки, по циклу производства на машинах (постоянные и быстросменные), по конструкции (простые и комбинированные), по характеру монтажа моделей (односторонние и двусторонние), по материалу. Простыми являются плиты, состоящие из одного узла, устанавливаемого непосредственно на стол формовочной машины, комбинированными — плиты, состоящие из двух и более соединенных между собой узлов. Собственно модельная плита в этом случае вмонтирована в один из узлов комбинированной плиты.

При конструировании модельных плит необходимо учитывать масштаб производства отливок, габаритные размеры полуформы, вид и условия формовки, конструктивные особенности и необходимые размеры формовочных машин, технические возможности цеха или участка, где будут изготавливаться плиты. Модельные плиты для ручной формовки единичного производства представляют собой простые деревянные щитки необходимых размеров. Модельные плиты массового и крупносерийного производства стандартизованы или нормализованы (табл. IV.25, IV.26). Для расширения применения машинной формовки в единичном и мелкосерийном производстве с целью повышения производительности труда, в особенности при групповом методе изготовления отливок, используют различные конструкции быстросменных модельных плит, особенно с вкладышами (табл. IV.27, IV.28), и координатные. Последние (рис. IV.7) представляют собой плоские металлические или деревянные плиты, имеющие на рабочей поверхности отверстия для фиксации и крепления моделей. Оси этих отверстий расположены в вершинах квадратов, образованных рядами линий, параллельных двум взаимно перпендикулярным осям плиты. Горизонтальные ряды отверстий имеют цифровые (1, 2, 3...), а вертикальные — буквенные обозначения (А, Б, В...).

При такой маркировке каждое отверстие плиты имеет свой шифр, например: А9; Б5 и т. д., определяющий положение отверстий на плите. В ряде конструкций координатных плит применяются устройства для точного и автоматического крепления моделей. Для этого модели снабжаются по разьему шипами,

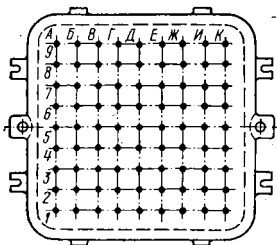
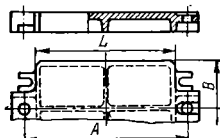


Рис. IV.7. Координатная модельная плита

Типоразмеры модельных металлических плит
для встряхивающих формовочных машин

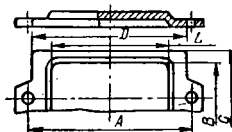


Характеристика формовки	Размеры опок в свету, мм	Размеры плит, мм			ГОСТ
		L	B	A	
Без поворота полуформы, с допрессовкой	400×300	450	350	500	20084—74
	450×350	500	400	550	20101—74
	500×400	550	450	600	
	600×500	680	550	700	20088—74 20105—74
	800×700	830	730	920	20090—74 20107—74
С поворотом полуформы, с допрессовкой	1000×600	1120	720	1120	20086—74 20103—74
	1000×800	1120	840	1120	20092—74 20109—74
	600×500	680	580	700	20094—74
	800×700	880	780	920	20111—74
	1000×800	1120	920	1120	
Без поворота полуформы, без допрессовки	1200×1000	1350	1150	1320	20087—74 20104—74
С поворотом полуформы, без допрессовки	800×700	880	780	920	20096—74 20113—74
	1000×800	1120	920	1120	20098—74 20115—74

Характеристика формовки	Размеры онок в свету, мм	Размеры плит, мм			ГОСТ
		L	B	A	
С поворотом полуформы, без допрессовки	1200×1000	1350	1150	1320	$\frac{20100-74}{20117-74}$
	1600×1200	1750	1350	1760	$\frac{-}{20118-74}$
	2000×1600	2220	1820	2200	$\frac{-}{20119-74}$
	2600×1600	2820	1820	2840	$\frac{-}{20120-74}$
	2500×2000	2720	2220	2740	$\frac{-}{20121-74}$
Примечание. В числителе даны ГОСТы на чугунные плиты, в знаменателе — на стальные.					

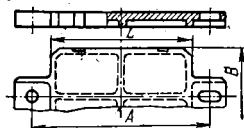
Таблица IV.26

Размеры (мм) нормализованных модельных плит
для безопочной формовки [3]



Размеры съемных онок в свету, мм	L	B	C	D	A
300×300	250	250	350	350	420
350×300	300	250	350	400	470
350×350	300	300	400	400	470
400×300	350	250	350	450	520
400×350	350	300	350	450	520
450×300	400	250	350	500	570
600×300	550	250	350	650	720

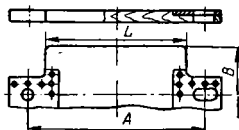
**Типоразмеры металлических вкладышей модельных плит и рам
для встряхивающих формовочных машин**



Характеристика формовки	Размеры опок в свету, мм	Размеры вкладышей, мм			ГОСТ
		L	B	A	
Без поворота полуформы, с допрессовкой	400×300	406	306	500	20085—74
	450×350	456	356	550	20102—74
	500×400	506	406	600	
	600×500	606	506	700	20089—74 20106—74
С поворотом полуформы, с допрессовкой	800×700	798	698	920	20091—74 20108—74
	1000×800	1006	806	1120	20093—74 20110—74
	600×500	606	506	700	20095—74
	800×700	806	706	920	20112—74
С поворотом полуформы, без допрессовки	800×700	806	706	920	20097—74 20114—74
	1000×800	1006	806	1120	20099—74 20116—74

Примечание.
В числителе даны ГОСТы на чугуновые модельные плиты и рамы, в знаменателе — на стальные.

Типоразмеры деревянных вкладышей модельных плит
для встряхивающих формовочных машин



Размеры опок в свету, мм	Размеры вкладышей, мм			ГОСТ		
	L	B	A	для вкладышей	для рам	для модель- ных плит
400×300 450×350 500×400	406 456 506	306 356 406	500 550 600	20151—74	20085—74	20146—74
600×500 800×700	606 806	506 706	700 920	20151—74	20095—74	20147—74
800×700	806	706	920	20152—74	20097—74	20148—74
800×700	798	698	920	20153—74	20091—74	20149—74
1000×600	1006	606	1120	20171—74	20156—74	20156—74
1000×800	1006	806	1120	20168—74	20159—74	20159—74
1200×1000	1206	1006	1720	20169—74	20162—74	20162—74
1600×1200	1606	1206	1760	20168—74	20163—74	20163—74
2000×1600	2006	1606	2200	20168—74	20164—74	20164—74
2600×1600	2606	1606	2840	20170—74	20165—74	20165—74
2500×2000	2506	2006	2740	20170—74	20166—74	20166—74

проходящими через плиту, а на нижней стороне плиты монтируются защелки, захватывающие концы шипов моделей.

Плиты и рамы модельных плит должны изготавливаться из стали марок 25Л, 30Л, 35Л по ГОСТ 977—75 и из чугуна марок СЧ 18-36 и выше по ГОСТ 1412—70. Допускается изготовление плит и рам из ВЧШГ по ГОСТ 7293—70. Металлические вкладыши модельных плит изготавливаются из алюминиевых сплавов марок АЛ3В, АЛ4В, АЛ7В, АЛ9В, АЛ10В, АЛ14В по ГОСТ 2685—75; деревянные — из ольхи и ясеня по ГОСТ 2695—71, сосны по ГОСТ 8486—66, фанеры марок ПФ-А и ПФ-Б по ГОСТ 8673—68.

Отливки деталей модельных плит не должны иметь трещин, усадочных рыхлотов, раковин и других дефектов, снижающих их прочность. Допускается исправление дефектов заваркой, пайкой и другими способами, обеспечивающими эксплуатационные качества и товарный вид модельных плит. Литые заготовки для модельных плит должны быть термически обработаны для снятия напряжений. Шероховатость поверхности отливок деталей модельных плит должна быть не грубее $R_z = 800$ по ГОСТ 2789—73. Для механической обработки отверстий модельных плит необходимо использовать специальные кондукторы в соответствии с ГОСТ 21028—75.

При проектировании модельных плит для изготовления полуформ *прессованием под высоким давлением* необходимо учитывать некоторые явления, происходящие при этом методе формовки. Формовочная смесь в полуформе, изготовленной таким методом, практически не обладает податливостью и становится хрупкой, особенно на острых кромках. Увеличивается прилипаемость формовочной смеси к рабочим поверхностям всех деталей модельной плиты. В формовочных смесях, спрессованных под давлением более 20 кгс/см^2 ($20 \cdot 10^5 \text{ Па}$), возникает способность к упругой деформации. В результате этого после снятия давления, под влиянием возникающей упругой деформации, отдельные элементы рабочей части полуформы могут защемляться в модели или в модельной плите, деформироваться и затем, при отделении полуформы от модельной плиты, разрушаться.

В целях устранения влияния указанных явлений необходимо учитывать следующие требования, предъявляемые к конструкции модельной оснастки: она должна иметь достаточно высокие износостойкость и жесткость, рассчитанные на работу в абразиве под давлением до 40 кгс/см^2 ($40 \cdot 10^5 \text{ Па}$); класс шероховатости внутренних вертикальных поверхностей должен быть не ниже 8-го, наружных — 7-го, а горизонтальных — 6-го (по ГОСТ 2789—73); для уменьшения прилипаемости формовочной смеси и лучшего отделения песчаных болванов следует в модели ставить бронзовые или латунные вставки; для предупреждения разрушений полуформ при их отделении от модели необходимо применять формовку с протяжкой и выталкивающими устройствами для песчаных болванов; без контурной протяжки рекомендуется выполнять модели простые и средней сложности по конфигурации, без глубоких болванов; для облегчения отделения полуформы от моделей на их вертикальных поверхностях желательно иметь несколько больших формовочных уклонов, чем по ГОСТ 3212—57 для машинной формовки:

Высота модели, мм	До 10	10—20	20—40	40—70
Уклон по ГОСТ 3212—57	1° 45'	1° 30'	1°	0° 45'
Уклон при прессовой формовке	2° 30'	1° 45'—2° 30'	1°—1° 30'	0° 45'

Оснастка, разработанная институтом НИИ тракторосельхозмаш (Москва) для своих прессовых линий, имеет общие основные элементы: плиту-стул, модельную плиту, протяжную плиту и модель. Плита-стул выполняется односторонней с ребрами жесткости, пазами для элементов обогрева или гладким верхом. Модельная плита выполняется гладкой без ребер жесткости толщиной 40—50 мм. Протяжная плита применяется только для оснастки с протяжкой модели по контуру; выполняется она гладкой без ребер жесткости. В целях предупреждения прорыва жидкого металла через разъем формы необходимо на модельных плитах предусматривать замки. Для уменьшения напряженности газового режима песчаной формы рекомендуется по линии разреза, а в отдельных случаях по знакам стержней устанавливать газоотводные каналы. Вследствие высоких нагрузок и абразивного износа плита-стул, протяжная и модельная плиты изготавливаются

из чугуна СЧ 24-44 с предварительным отжигом или из стали марок 20Л и 35Л (ГОСТ 977—75).

Проектирование модельных плит для литья в оболочковые формы начинают с выбора положения плоскости разъема формы при заливке (горизонтальное или вертикальное). Расстояние между основными элементами для вертикальной и горизонтальной заливки рекомендуется выдерживать в пределах, указанных в табл. IV.29.

Конструкция всех элементов должна обеспечивать жесткость оснастки в интервале рабочих температур $t = 180 \div 250^\circ \text{C}$. Рекомендуемые материалы и виды термической обработки элементов оснастки приведены ниже.

Модельные плиты, модели	СЧ 21-40, СЧ 24-44 (старение, HB 180—280)
Элементы литниковой системы	СЧ 21-40, СЧ 24-44, сталь Ст3, сталь 45, АЛ2
Толкатели	Сталь У8А или 40Х (закалка, HRC 50—54)
Окантовочная рамка, разделительный гребень, фиксаторы, клеевые знаки	Сталь 45

Таблица IV.29

Расстояния между элементами оснастки

Элементы оснастки	Расстояния между элементами оснастки (мм) при расположении плоскости разъема при заливке	
	горизонтальном	вертикальном
Модель	7—25	15—30
Край плиты (рамка)	20—30	25—40
Стояк	20—30	—
Литниковый ход	—	25—40
Шлакоулавливатель	15—25	—
Толкатель	Не менее	5 мм
Клеевой замок	20	25

Высокие тонкостенные модели или аналогичные выступающие их элементы рекомендуется выполнять из бронзы или латуни; модели и элементы литниковых систем для мелкосерийного производства (менее 1000 отливок/год) можно выполнять из алюминиевых сплавов. Требования к конструкции модельных плит для оболочковых форм заключаются в том, чтобы толщина стенок модельных плит и моделей была не менее 15—20 мм; толщина ребер жесткости на этих деталях — от 70 до 100% толщины стенок; литейные уклоны на вертикальных стенках моделей — $0,5—1^\circ$, на знаковых частях моделей и элементах литниковой системы — $2—5^\circ$; шероховатость рабочих поверхностей моделей $Ra = 0,32 \div 1,25$ мкм по ГОСТ

2789—73; дефекты на этих поверхностях могут быть заделаны тугоплавким припоем типа ПМЦ-54, причем рекомендуется хромирование поверхностей; зазоры между знаковыми частями моделей и стержней при диаметре знака до 30 мм — 0,3 мм на сторону, свыше 30 мм — 0,5 мм. Размерные отклонения при монтаже моделей на плите не должны превышать 0,3 допуска на габаритные размеры отливки.

Толкатели располагают вокруг (или внутри) модели, высоких элементов литниковой системы и по краям плиты. Сложность конфигурации, высота модели и величина литейных уклонов обуславливают их количество. Толкатели различных конструкций представлены на рис. IV.8.

Точность сборки двух полуформ при соединении обеспечивают фиксаторы типа «выступ-впадина», модели которых устанавливаются на плите. Допускаемое размерное отклонение при монтаже фиксаторов должно быть не более 0,05 мм. Система, аналогичная фиксаторам, но используемая для склеивания полуформ, носит название клеевых знаков. Клеевые знаки аналогичной конструкции могут иметь также удлиненную форму и располагаться в виде прерывистой или непрерывной линии по периметру оболочки, на расстоянии 20—40 мм от края. Максимальное сечение канавки клеевого знака 10×10 мм.

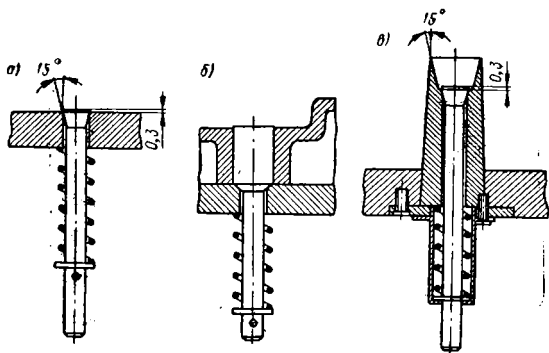


Рис. IV.8. Конструкции толкателей: а — гладкий; б — с головкой, установленный в фасонной плите; в — устанавливаемый в модели стояка (острые кромки на верхнем торце модели облегчают пробивку отверстия при подъеме толкателя)

Опоки

Нормальные размеры опок определяются габаритами моделей, расположением литейной системы и необходимыми расстояниями между ними и стенками опок, а также между моделями и верхними и нижними кромками опок. Эти расстояния надо делать возможно меньше; однако они должны быть достаточными,

Таблица IV.30

Данные для определения размеров опок

Размер отливок	Размеры опок, мм			
	а	б	в	г
Мелкие	20—30	35—60	50—75	0,5 от высоты модели в полуформе —
Средние	50—75	75—100	100—125	
Крупные	125—175	150—200	175—200	

чтобы обеспечить сопротивление формы продавливанию или прорыву ее металлом в плоскости разреза (табл. IV.30). Площадь опок должна быть максимально использована моделями. ГОСТ 2133—75 классифицирует опки по конструкции — цельнолитые (сталь, чугун, легкие цветные сплавы), сварные (стандартный прокат, прокат специальных профилей, стальные литые элементы) и сборные (стальные и чугунные элементы); по конфигурации — прямоугольные (квадратные, круглые и фасонные; по массе — ручные (до 30 кг), комбинированные с ручным и крановым подъемом (30—60 кг) и крановые (свыше 60 кг); по типу формовки — для машинной формовки, пескометной и ручной формовки, почвенной формовки. Основной расчетной величиной для всех типов опок принят средний габаритный размер, равный $1/2 (L+B)$. По схеме расположения центрирующих отверстий

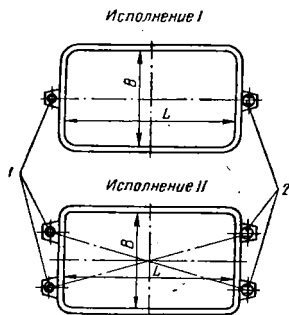


Рис. IV.9. Схема расположения центрирующих и направляющих отверстий опок:

1 — втулка центрирующая; 2 — втулка направляющая

опки изготавливаются в двух исполнениях (рис. IV.9). Основные рекомендации по типам, размерам и применению приведены в ГОСТ 14973—69 — ГОСТ 15018—69, ГОСТ 17127—71 — ГОСТ 17131—71 для опок из сварных стальных элементов, в ГОСТ 20024—74 — 20039—74 для сварных опок из прокатной полосовой стали специальных профилей, в ГОСТ 14928—69 для опок встряхивающих формовочных машин-автоматов в автоматических и полуавтоматических линиях; однако при формовке под высоким давлением все указанные опки применять не следует.

Чугунные опки для ручной и машинной формовки изготавливаются из чугуна марки не ниже СЧ 15-32, стальные цельнолитые — из стали марок 15Л—45Л, сварные из литых стальных элементов — из стали марки 25Л (допускается применение стали марок 20Л и 30Л). Чугунные опки, применяемые для встряхивающих формовочных машин-автоматов в автоматических и полуавтоматических линиях, изготавливаются из чугуна ВЧ 50-2, цельнолитые стальные и сварные из стальных

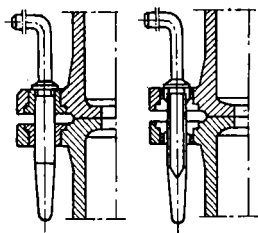
литых элементов — из стали марок 30Л—45Л, сварные из прокатной полосовой стали специальных профилей — по ГОСТ 9637—61.

В целях взаимозаменяемости опок и повышения точности форм ГОСТ 2133—75 установлен допуск на расстояния между центрирующими отверстиями в ушках опок:

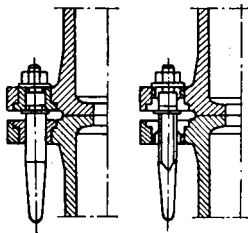
Длина или диаметр опок, мм . . .	До 750	750—1600	1600—2400	2400—7100
Предельные отклонения, мм . . .	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$\pm 1,5$

Механическая обработка отверстий должна осуществляться в помощью кондукторов, изготавливаемых в соответствии с ГОСТ 21028—75. Способы центрирования опок приведены на рис. IV.10. Указанные способы центрирования опок рекомендуется применять в следующих условиях: «штырем» — при мелкосерийном производстве; «на штырь» — при серийном и массовом производстве; «на штырь и втулку» — при транспортировании опок со средним габаритом не более 2500 мм по конвейерам и рольгангам. Типоразмеры центрирующих и направляющих втулок для стальных и чугунных опок регламентированы ГОСТ 15019—69. Втулки изготавливаются из стали марки 15 по ГОСТ 1050—74. Сталь марки 15 необходимо цементировать на глубину 0,8—1,2 мм, твердость HRC 45—52. Для втулок, устанавливаемых в стальные опки, применяя прессовую посадку, в чугунные опки — глухую (с целью предохранения от поломки ушек чугунных опок). Размеры штырей определены МН 159—59 с корректировкой на размеры втулок по ГОСТ 15019—69. Требования к материалу штырей такие же, как и к втулкам. Крепление опок между собой перед валивкой металла

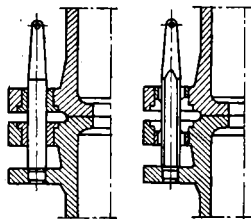
а) *Исполнение I*



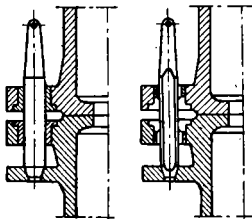
Исполнение II



б) *Исполнение III*



Исполнение IV



в) *Исполнение V*

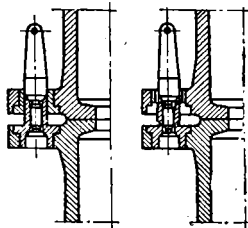


Рис. IV.10. Способы центрирования (спаривания) опок: а — штырем; б — на штырь; в — на штырь и втулку

осуществляется с помощью автоматической установки грузов, скобами, болтами, штырями с клиньями, эксцентриковыми зажимами (рис. IV.11). Типоразмеры подопочных плит рекомендованы ГОСТ 20377—74 — для плит из алюминия,

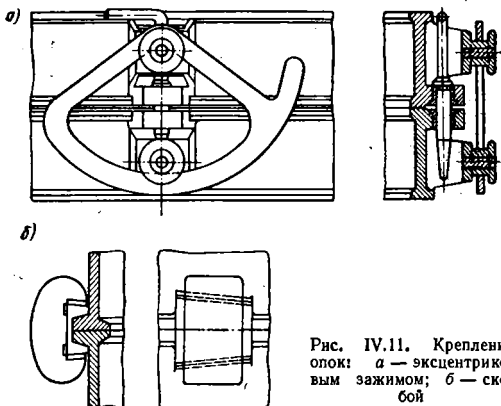


Рис. IV.11. Крепление опок: а — эксцентриковым зажимом; б — скобой

ГОСТ 20380—74 — ГОСТ 20383—74 — для плит из чугуна, ГОСТ 20385—74 и ГОСТ 380—71 — для стальных сварных плит.

Плиты для сушки стержней

Плиты для сушки стержней подразделяют на плоские литые и сварные и фасонные литые. Габаритные размеры плоских литых плит определяются по МН 909—60—МН 921—60 и равны: $L = 200 \div 3000$ мм, $B = 160 \div 2000$ мм; плоских сварных плит — по МН 922—60—МН 927—60 и равны $L = 200 \div 800$ мм, $B = 160 \div 800$ мм. Толщина стенок (мм) фасонных плит по МН 928—60 в зависимости от среднего габаритного размера приведена ниже.

Средний габаритный размер $1/2 (L + B)$. . .	До 320	320—630	630—1000
Толщина стенок:			
алюминиевых плит	4	5	6
чугунных плит	4	—	—

Литые плиты изготавливаются из алюминиевых сплавов марок АЛ3В, АЛ7В, АЛ10В и АЛ14В по ГОСТ 2685—75 и из чугуна марок не ниже СЧ 15-32. Сварные плиты изготавливаются из листовой стали по ГОСТ 19903—74, полосовой стали по ГОСТ 103—57, стальной ленты по ГОСТ 6009—74 и из стали марок Ст1, Ст2, Ст3 по ГОСТ 380—71. При изготовлении фасонных плит применяются калибры в соответствии с МН 3329—62 — МН 3347—62.

При проектировании сушильных плит необходимо особое внимание обращать на то, чтобы стержень имел достаточную площадь контакта с плитой с целью предупреждения его деформации при транспортировке и сушке. Опорными поверхностями в фасонной плите обычно являются горизонтальные. Вертикальные поверхности стержня, как правило, не соприкасаются со стенками плиты. В момент накрытия стержня фасонной плитой последняя должна прилегать к плоскости разреза ящика отдельными выступающими платиками, которые значительно упро-

щают и ускоряют пригонку плоскостей разреза плит при их изготовлении. Пластики должны выступать над поверхностью разреза на 2—5 мм и располагаться равномерно по всей плоскости разреза. Конструкция фасонной плиты должна быть максимально легкой и жесткой с соответствующим числом ребер жесткости; фиксирование относительно стержневого ящика происходит за счет отверстий плиты и штыревой части ящика. Для обеспечения нормальной сушки стержней в плитах необходимо предусматривать вентиляционные отверстия. Высушивание стержней с ровной опорной плоскостью производится на плоских сушильных плитах, отлитых из вторичных алюминиевых сплавов, или стальных сварных. Основное требование к сушильным плитам — жесткость конструкции при наименьшей массе. Перед механической обработкой сушильные плиты подвергаются отжигу при $t = 230 + 250^\circ \text{C}$ в течение 2 ч.

Кондукторы для зачистки стержней

С целью устранения отклонений размеров, возникающих в процессе сушки, отдельные базовые плоскости стержней подвергают калибровочной зачистке, что необходимо также в случае склеивания частей стержня. В серийном и массовом производстве зачистка ведется в специальных металлических кондукторах, разработку которых начинают с определения установочных баз у стержня, образующих наиболее ответственные поверхности отливки. Эта база должна быть расположена в тех частях стержня, которые в меньшей степени подвержены деформации. Фиксация положения стержня в кондукторе осуществляется двумя способами: 1) с помощью неподвижных упоров, которые располагают по периметру стержня (число их выбирают таким, чтобы оно обеспечило точность установки стержня в кондукторе и исключило возможность перемещения стержня во время его зачистки; зазор между упором и стержнем должен быть не больше 1 мм); 2) с помощью всевозможных подвижных зажимов (в зависимости от конфигурации стержня и от того, какая плоскость у него зачищается, зажим осуществляется сверху либо сбоку).

Из существующих типов кондукторов предпочтение следует отдавать открытой конструкции, как более технологичной в изготовлении и более удобной во время зачистки. Кондукторы изготовляют из чугуна и из вторичных алюминиевых сплавов; опорные площадки следует бронировать стальными пластинами. При использовании шлифовальных станков для зачистки горизонтальных плоскостей стержней кондукторы для их крепления к станку должны иметь лапки.

Кроме кондукторов для зачистки, применяют сборочные и транспортировочные кондукторы. Первые предназначены для сборки комплектов стержней, вторые — для снятия стержней со сборочных кондукторов, их транспортировки и постановки в нижнюю полуформу.

Общие правила изготовления и приемки модельных комплектов

При изготовлении и приемке оснастки пользуются следующими техническими условиями:

а) модельно-опочная оснастка должна быть изготовлена в строгом соответствии с размерами и допусками, указанными в рабочих чертежах;

б) рабочая поверхность должна иметь шероховатость в соответствии с требованием чертежа и не должна иметь пороков, рисок, вмятин и следов от режущего инструмента;

в) материал оснастки должен обеспечивать необходимую износостойкость и механическую прочность;

г) литые заготовки оснастки для снятия напряжений необходимо подвергать термической обработке;

д) зазор между плоскостями разреза моделей по контрольной плите и щупу не должен превышать: на длине до 300 мм — 0,1 мм; на длине до 500 мм — 0,15 мм; на длине свыше 500 мм — 0,2 мм;

е) отъемные (вытряхные) части стержневых ящиков должны вгоняться в гнезда без качки: зазор между стенками гнезд стержневых ящиков и замками отъемных частей не должен превышать 0,1 мм; при переворачивании стержневых ящиков вставки должны свободно выпадать из своих гнезд под влиянием собственной массы;

ж) допустимый зазор по плоскостям разъемов двух половинок стержневых ящиков не должен превышать 0,1 мм, а для пескодувных — 0,05 мм;

з) допустимый зазор (по шупу) между плоскостями разреза стержневых ящиков (вытряхных) и контрольной плитой не должен превышать: при длине ящиков до 300 мм — 0,05 мм; до 500 мм — 0,12 мм; свыше 500 мм — 0,15 мм;

и) допускается несовпадение в спаренном виде рабочих контуров (в плоскости разреза) двух половинок моделей или двух половинок стержневых ящиков в пределах: при габаритных размерах до 300 мм — до 0,05 мм; свыше 300 мм — до 0,1 мм;

к) отклонение от размеров толщин модельных плит безопочной формовки допускается в пределах от +2,0 до -1,0 мм; разница в размерах толщин рамки плиты и рабочего полотна плиты не должна превышать 0,2 мм;

л) неплоскостность плит опочной формовки со стороны рабочей поверхности допускается в пределах 0,2 мм на 1 м длины плиты;

м) размеры литниковых систем изготавливаются с отклонением от номинальных в пределах ± 1 мм; исключения составляют шейки питателей, знаковые части и дроссели, которые выполняются с отклонением от номинальных размеров в пределах от +0,2 до -0,1 мм;

н) рабочие поверхности фасонных сушителей пригоняются по калибрам (по краске — одно пятно на 1 см²) и зачищаются шкуркой; качка сушителей на платиках при проверке на плите не допускается;

о) калибры для пригонки сушителей после станочной обработки пригоняют по краске в гнезда верхней половины стержневого ящика; неплоскостность плит калибров допускается в пределах 0,05 мм на 250 мм длины плиты;

п) на рабочих поверхностях моделей и стержневых ящиков допускается исправление мелких литейных пороков и производственных дефектов: заваркой автогеном, постановкой наделок (толщиной не менее 1,5 мм) с обязательным поднутрением кромок исправляемых мест, с последующей расчеканкой; пайкой припоем (60% олова и 40% цинка) при толщине слоя пайки не менее 1 мм и не более 3 мм; пайка припоем производится только в случае отсутствия возможности исправления осланки одним из двух первых методов;

р) контроль деталей модельного комплекта должен производиться методами непосредственного измерения и посредством шаблонов;

с) неплоскостность и непараллельность плоскостей разреза и набивки опок со средним размером в свету до 2500 мм не должны быть более 0,5 и 1,0 мм на длине 1000 мм; для опок со средним размером в свету более 2500 мм — по согласованию с потребителем *;

т) перпендикулярность осей центрирующих отверстий к плоскости разреза опок на длине 200 мм не должна быть более: 0,1 мм — для опок со средним размером в свету до 1500 мм; 0,2 мм — для опок со средним размером в свету 1500—2500 мм; для опок со средним размером в свету более 2500 мм — по согласованию с потребителем.

Б. ЛИТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ И ПРИБЫЛИ, ИХ РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ

Литниковые системы служат для заполнения форм металлом, а прибыли — для питания отливок в процессе кристаллизации. Боковые прибыли часто связаны с литниковой системой, элементы которой в этом случае могут быть разделены на подводящие и питающие. До расчета литниковой системы определяют положение отливки при заливке и места подвода металла, размещение моделей на плите

* Для прессовых и других автоматических формовочных линий применяются опочки специальной конструкции.

или в опоке, выбирают конструкцию литниковой системы. Исходными данными для расчета являются: m — масса отливки, кг; M — суммарная масса отливок в форме (включая боковые приливы), кг; δ — характерная толщина отливки, мм; h_0 — высота отливки по положению при заливке, см; $h_{0,в}$ — высота отливки выше уровня подвода металла, см; H — напор, высота стояка, см; τ — время заливки, с; $m_{\tau\text{ ср}} = M/\tau$ — средний массовый расход, кг/с; $m_{\tau\text{н}} = K m_{\tau\text{ ср}}$ — начальный массовый расход, кг/с ($K \geq 1$). Размеры и конструкция ковша дозирующего устройства должны обеспечивать нужный начальный расход и его изменение в процессе заливки (см. гл. V, п. 8).

Выбор места подвода металла и конструкции литниковых систем

Подвод металла в тонкое место отливки имеет целью выравнивать скорость охлаждения тонкой и более массивной частей отливки, что способствует уменьшению напряжений, а при отсутствии приливов — и усадочных раковин. При необходимости у массивной части отливки устанавливается холодильник. Подвод металла в массивную часть отливки или прилив позволяет создать последовательное (направленное) затвердевание, при котором улучшаются условия питания. При этом следует стремиться располагать питатели так, чтобы струя не ударяла в стенку формы или стержня (металл растекался «по ходу»), горизонтальные поверхности формы быстро покрывались металлом, уровень его в форме в процессе заливки не имел продолжительных остановок, части стержней, в которых расположены вентиляционные каналы, не перегревались потоком подводящего металла.

Литниковую систему можно классифицировать по нескольким признакам. В частности, она может быть закрытой (заполненной металлом) и открытой (не заполненной). Для чугунных отливок применяются главным образом системы первого типа, способствующие задержанию шлака. В зависимости от положения малого («узкого») сечения, литниковые системы разделяются на сужающиеся (малое сечение является выходным) и расширяющиеся (малое сечение расположено внутри системы). В первой системе легче достигаются положительное давление и заполнение всех элементов; недостатком ее является относительно высокая скорость струи из питателей (эффект «брандспойта»). По гидравлическому признаку различают системы с относительно малым сопротивлением и «тормозящие».

Торможение является одним из средств уменьшения скорости потока в каналах (при заданном расходе), в частности — выходной скорости струи, и достигается увеличением гидравлического сопротивления канала по его длине (например, при помощи щелевидного или зигзагообразного стояка) или введением местного сопротивления — дросселя (например, в виде сетки*, щели, внезапного сужения канала и последующего расширения и т. п.).

Торможение по длине канала применяется, например, когда надо в начальный момент заливки заполнить с малой скоростью еще пустой стояк («спустить металл на тормозах») и последующие элементы, что важно при заливке легкоокисляющихся сплавов. Но на качество отливок из серого чугуна скорость металла в литниковой системе влияет меньше, и обычно достаточно обеспечить малую выходную скорость металла из питателей, что проще всего решается применением дросселя, который, обладая большим сопротивлением, и регламентирует расход металла. Дроссель служит также для задержания шлака в литниковой системе.

В зависимости от способа заполнения формы металлом литниковые системы можно разделить на боковые, сифонные, верхние и дождевые, ярусные и комбинированные (рис. IV.12—IV.15). Рекомендации по их применению — в табл. IV.31.

Все эти системы и приводимые дальше нормализованные элементы предназначены для заливки форм обычным методом из поворотных ковшей. При использовании других приемов заливки в конструкции литниковых систем вносятся

* Сетки изготавливают из стержневой смеси, шамотной массы или стеклоткань (марки КС11-ЛА с ячейками 2х2 мм и толщиной 2 мм; температура размягчения не менее 1350°С).

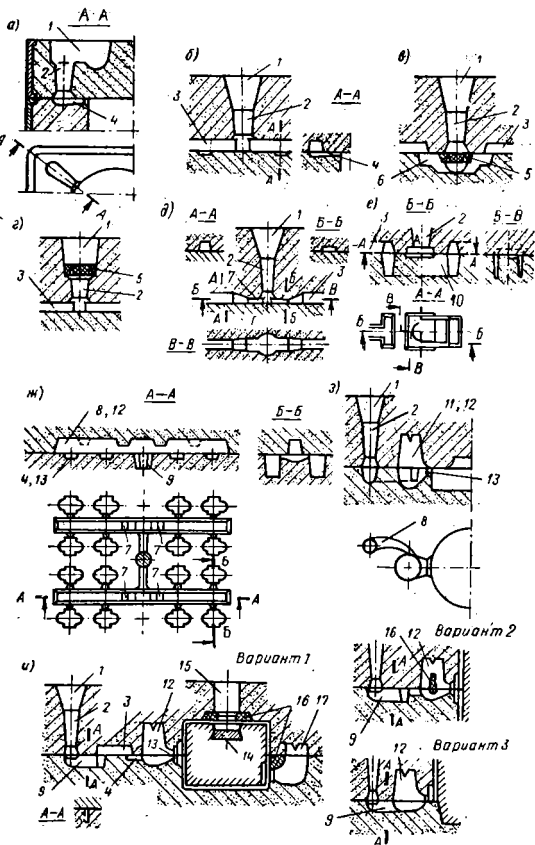


Рис. IV.12. Боковые литниковые системы:

1 — воронка или чаша; 2 — стояк; 3 — шлакоуловитель; 4 — питатель; 5 — ветка; 6 — металлоприемник сетки; 7 — горизонтальный дроссель; 8 — литниковый ход; 9 — вертикальный одноходовой дроссель; 10 — вертикальный двухходовой дроссель; 11 — центробежный шлакоуловитель; 12 — боковая проточная прибыль; 13 — шейка; 14 — кокиль; 15 — верхняя сливная отбиваемая прибыль; 16 — стержень; 17 — боковая сливная прибыль

Рекомендации по применению конструкций литниковых систем

Вид конструкции	Условия применения
Боковые литниковые системы Простая конструкция (рис. IV.12, а и б) С сеткой на разъеме (рис. IV.12, в) или в воронке (рис. IV.12, г) С горизонтальным (рис. IV.12, д) и вертикальным (рис. IV.12, е) дросселями Подводящая и питающая система с дросселями (рис. IV.12, ж) Подводящая и питающая система с центробежной бобышкой (рис. IV.12, з) Подводящая и питающая система с дросселем и боковой прибылью (рис. IV.12, и)	
Рожковая (рис. IV.13, а)	Для неотчетственных отливок Для ответственных обрабатываемых отливок при подаче металла через боковую прибыль и при большом числе мелких отливок в форме. Система с сеткой в воронке менее удобна вследствие выплескивания металла при заливке, но она дает меньшую скорость заливки и уменьшает раздутие форм Применяется в тех же случаях, что и система с сеткой, но проще в исполнении Для борьбы с усадочными раковинами в мелких тонкостенных отливках. Питание осуществляется за счет массивного литникового хода, выполняющего роль боковой прибыли, и коротких питателей большого сечения Для ответственных массивных отливок; центробежная бобышка выполняет функции прибыли и шлакоуловителя Для отливок из ковкого чугуна и ВЧШГ, а также для отливок из серого чугуна с массивными узлами. Вариант 1 — полная система; вариант 2 — за недостатком места прямой шлакоуловитель отсутствует и чтобы удержать шлак в боковой прибыли, в нее вставляется стержневая перегородка, имеющая внизу небольшой проход; вариант 3 — металл из дросселя непосредственно поступает в боковую прибыль, служащую одновременно шлакоуловителем, когда отливка полностью размещена выше места подвода металла При ручной формовке мелких отливок, у которых подвод металла по разъему формы нежелателен (например, шестерни с литым зубом), а также в тех случаях, когда требуется особо спокойное заполнение формы

Вид конструкции	Условия применения
С подводом металла через стержень (рис. IV.13, б) С подводом металла через сетку непосредственно в отливку (рис. IV.13, в) С кольцевым подводом (рис. IV.13, г) С центробежным шлакоуловителем (рис. IV.13, д)	При машинной формовке средних отливок Для ответственных корпусных отливок Для средних и крупных толсто-стенных отливок при ручной формовке с отъемной частью (для образования хода дросселя б) или при машинной формовке в парных опоках с последующей кантовкой форм под заливку Для ответственных отливок, изготовляемых в формах с вертикальным положением плоскости разъема при заливке
Верхние и дождевые литниковые системы	
Простая конструкция (рис. IV.14, а, б и в)	Для заливки шкивов, маховиков, шестерен, когда для сокращения пути металла и равномерного заполнения формы требуется заливка в центр отливки (рис. IV.14, а), для подачи горячего металла в верхнюю часть крышек блока (рис. IV.14, б) и для заливки тонкостенных отливок — сковородок, котлов и т. п. (рис. IV.14, в)
Подводящая и питающая система с сеткой (рис. IV.14, г)	Применяется в тех же случаях, что и система, приведенная на рис. IV.14, а, только для мелких отливок. Обеспечивает питание ступицы при затвердевании
Подводящая и питающая система с всплывающей сеткой (рис. IV.14, д)	Для заливки и питания отливок с массивным узлом в месте подвода металла. По окончании заливки сетка всплывает, благодаря чему образуется сплошная прибыль
Подводящая и питающая система с чашей и отбиваемой прибылью (рис. IV.14, е)	Для средних и тяжелых отливок
С подачей металла в прибыль (рис. IV.14, ж—и)	Для средних и тяжелых отливок (рис. IV.14, ж), втулок и цилиндров (рис. IV.14, в и и)

Вид конструкции	Условия применения
Ярусные и комбинированные литниковые системы Ярусная подводящая и питающая система со свободным уровнем в стояке, образованном падающей струей (рис. IV.15, а и б) Ярусная заполненная система (рис. IV.15, в) Ярусная система со свободным уровнем в стояке, образованном восходящим потоком (рис. IV.15, г) Ярусная система со свободным уровнем в распределительном стояке (рис. IV.15, д и е) Комбинированная система (рис. IV.15, ж)	
	Для последовательного заполнения литейных полостей в форме снизу вверх. Система (рис. IV.15, а) предназначена для заливки мелких отливок в цельных формах или с вертикальным разъемом. Стояк распределяет металл по этажам и служит прибылью, а питатель — шейкой. Скорость заливки регулируется заливщиком. При воронке, заполняемой доверху, скорость заливки ограничивают путем установки сетки или сужением основания воронки (рис. IV.15, а, справа). Система, приведенная на рис. IV.15, б, применяется для заливки стопочных форм Для одновременного заполнения литейных полостей формы во всех этажах при изготовлении мелких неотвественных отливок с вертикальным разъемом Для ответственных отливок, заливаемых в формах с вертикальным разъемом и стопочных формах. Литейные полости заполняются последовательно снизу вверх Для станин и других крупных отливок. Свободный уровень в распределительном стояке образуется падающей струей (рис. IV.15, д) или восходящим потоком (рис. IV.15, е). По мере заполнения формы уровень металла в распределительных стояках поднимается, и с определенного момента начинают работать верхние питатели Для высокнх тонкостенных отливок, заливаемых вначале снизу, а затем сверху. Назначение сифонной системы — заполнить форму металлом до некоторого уровня до начала работы дождевой литниковой системы и этим предохранить форму от разрушения

изменения. Так, для ответственных отливок иногда применяют мерные чаши с пробкой, вмещающие весь объем жидкого металла, необходимый для заполнения формы. Ввиду того, что металл в них не перемешивается, отпадает необходимость в перегорках, порогах и других усложнениях, предусматриваемых в обычных чашах. Чаши для автоматической заливки имеют свои особенности. Если доза выдается быстрее, чем должна заполниться форма, то емкость чаши выполняется равной разнице объемов дозы и металла, успевшего поступить в форму

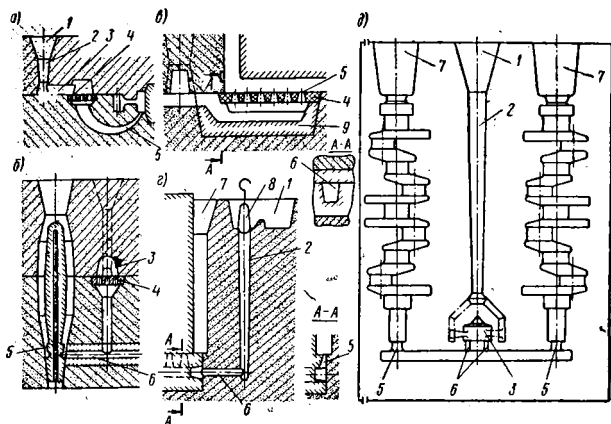


Рис. IV.13. Сифонные литниковые системы:

1 — воронка или чаша; 2 — стояк; 3 — шлакоуловитель; 4 — сетка; 5 — питатель; 6 — дроссель; 7 — прибыль; 8 — пробка; 9 — стержень

за время выдачи дозы (в правильно рассчитанной системе после заполнения формы металл остается только в стояке). Если чаша хорошо удерживает шлак, то в ряде случаев целесообразно, в отличие от указанных выше типовых схем, шлакоуловитель заменить литниковым ходом или коллектором, который помещают в нижней форме, а питатели — в верхней. Из такой системы металл поступает в полость формы после создания полного напора и сразу через все питатели, что важно для получения тонкостенных отливок без спаев и неслитин.

Время заливки и средний массовый расход металла

Время заливки форм τ можно определять по формулам, полученным в результате обобщения опыта разных заводов [9, 24, 26]:

$$\tau = \psi (1,41 + 0,076) \sqrt[3]{m}; \quad (IV.28)$$

$$\tau = 2 \sqrt[3]{6m}, \quad (IV.29)$$

где ψ — фактор жидкотекучести, определяемый по рис. IV.16; x — показатель степени, который при $m \leq 500$ кг равняется 2, а при большей массе — 3.

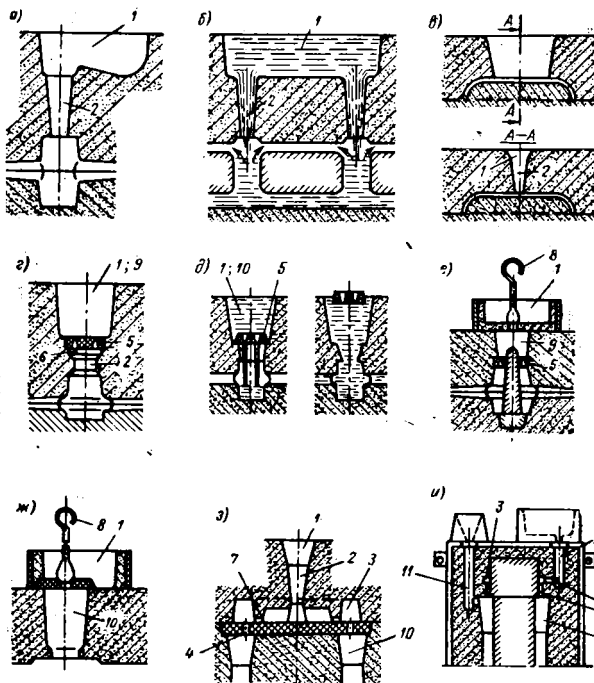


Рис. IV.14. Верхние и дождевые литниковые системы:

1 — воронка или чаша; 2 — стояк; 3 — шлакоуловитель; 4 — питатель; 5 — сетка; 6 — металлоприемник сетки; 7 — горизонтальный дроссель; 8 — пробка; 9 — отбрасываемая прибыль; 10 — отрезаемая прибыль; 11 — выпор

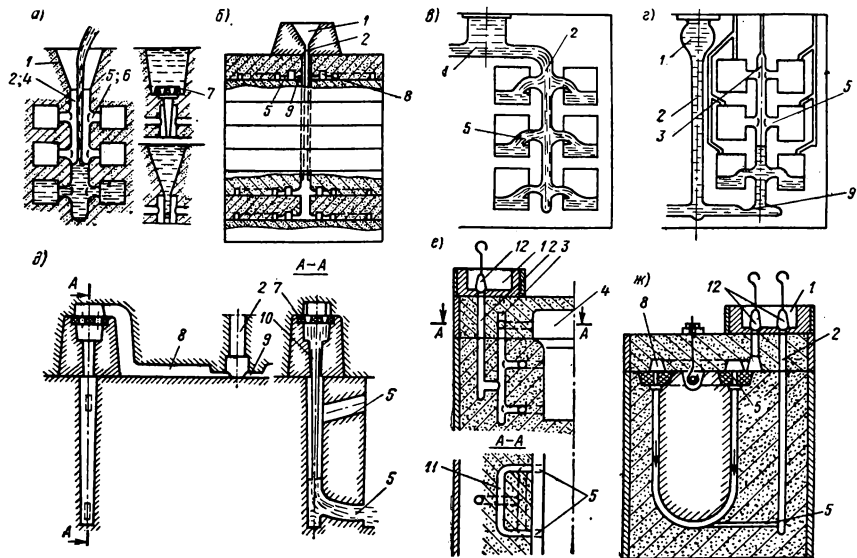


Рис. IV.15. Ярусные и комбинированные литниковые системы:

1 — воронка или чаша; 2 — стояк; 3 — обратный (распределительный) стояк; 4 — прибыль; 5 — питатель; 6 — шейка;
 7 — сетка; 8 — шлакоуловитель; 9 — дроссель; 10 — насадка; 11 — литниковый код; 12 — пробка

Зная τ , вычисляют средний массовый расход за время заливки $m_{\tau \text{ ср}} \approx M/\tau$ или определяют его непосредственно по графику на рис. IV.17, причем в последнем случае обычно следует пользоваться средней скоростью заливки. Преимущества, недостатки и области применения медленной и быстрой заливки приведены в табл. IV.32.

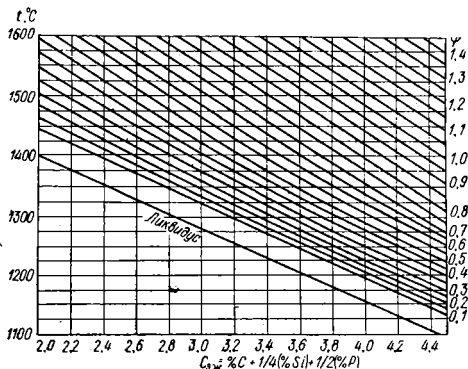


Рис. IV.16. График для определения фактора жидкотекучести ψ [26]

Таблица IV.32

Преимущества, недостатки и области применения медленной и быстрой заливки

Преимущества	Недостатки	Область применения
Медленная заливка		
Меньшее динамическое воздействие на форму, меньшие раздутие и засор при заливке в сырую форму. Лучшее удаление воздуха и газов из формы, особенно из больших стержней с малыми знаками. Меньшая масса литниковой системы. Уменьшение усадочных раковин (постепенное питание за счет поступающего жидкого металла)	Более длительное тепловое воздействие металла на поверхность формы, вызывающее обгар, обвал, засор, ужины. Уменьшение температуры и $\lambda_{\text{ж}}$ металла в процессе заливки, приводящее иногда к спаям и подкорковым газовым раковинам. Снижение производительности труда при заливке	При заливке толсто-стенных отливок из серого чугуна для получения плотных отливок без усадочных раковин при отсутствии прибылей. При заливке в сырую форму отливок с высокими вертикальными массивными частями в нижней опоре для уменьшения раздутия

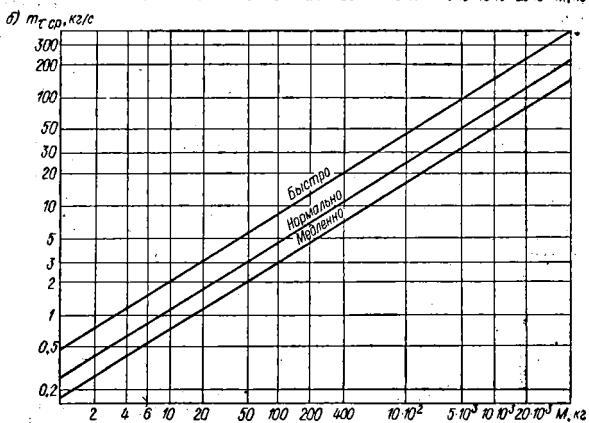
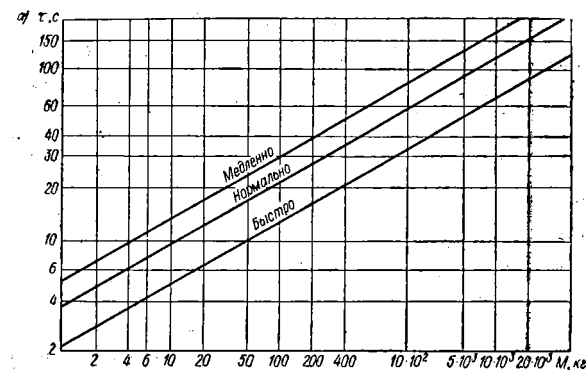


Рис. IV.17. Графики для определения времени заливки τ (а) и среднего расхода $m_{\tau, \text{ср}}$ (б)

Преимущества	Недостатки	Область применения
Быстрая заливка		
Малые потери температуры и $\lambda_{ж}$ металла, меньший брак по подкорковым пузырям и газовым раковинам. Малое тепловое воздействие на поверхность формы, меньший брак по обгару и ужилинам. Уменьшение внутренних термических напряжений в отливках при подводе металла в массивные части	Значительное динамическое воздействие на форму. Повышенная опасность размыва формы и стержней. Раздутые форм, увеличение массы отливки, смещение стержней, механический пригар. Большая масса литниковой системы	Для отливок с тонкими стенками и сложными очертаниями, фланцами и ребрами вверх формы и для отливок с большими плоскими поверхностями независимо от толщины стенок. При силовом подводе металла. Для крупных корпусных отливок

Расчет литниковых систем

Формулы (IV.30)—(IV.56), приведенные ниже, предназначены для аналитического расчета литниковых систем различных типов и размеров, который основывается на следующих требованиях.

1. Форма должна заполниться в течение заданного времени, на основании которого определяется площадь исходного расчетного сечения системы по одной из двух методик. По первой исходным расчетным сечением служит площадь верхнего сечения стояка $S_{ст. в.}$, см² (остальные элементы рассчитываются в последовательности «сверху вниз»), по второй — площадь выходного сечения системы * $S_{вых.}$, см² (расчет остальных элементов осуществляется «снизу вверх»). В обоих случаях предполагается, что в исходном расчетном сечении давление потока равно атмосферному, причем в стояке оно обеспечивается соответствующим соотношением площадей сечений (см. следующий пункт 2), а в выходном сечении давление также обычно практически равно атмосферному ввиду малого давления газов в полости формы. Более целесообразно использовать первую методику. Однако для сравнения ниже приведены обе методики. Соответственно при заливке форм чулуном:

$$S_{ст. в.} = 3,32 \frac{m_{тн}}{\mu_{ч} \sqrt{H_{ч}}}; \quad (IV.30)$$

$$S_{вых.} = 3,32 \frac{m_{тн}}{\mu_{сист} \sqrt{H}}, \quad (IV.31)$$

где $\mu_{ч}$, $\mu_{сист}$ — коэффициенты расхода при истечении соответственно из чаши и из всей системы; $H_{ч}$, H — высота уровня в чаше соответственно над верхним сечением стояка и над выходным сечением. Начальный массовый расход в формулах (IV.30), (IV.31) больше заданного среднего:

$$m_{тн} = K m_{т ср} = K \frac{M}{\tau}, \quad (IV.32)$$

* Выходным сечением может являться нижнее сечение стояка (рис. IV.14, а—г) или сечение питателей (рис. IV.12, а, б).

так как учитывает падение скорости заливки при заполнении формы под затопленный уровень. Величина $K = \frac{m_{\text{тн}}}{m_{\text{т ср}}} = 1 + \frac{h_0}{h_0} \frac{v}{\left(1 + \sqrt{1 - \frac{h_0 \cdot v}{H}}\right)}$ опре-

деляется по графику, приведенному на рис. IV.18; в частности, если вся отливка расположена ниже уровня подвода металла, $K = 1$, в остальных случаях имеем: $1 < K \leq 2$.

Падение скорости металла при истечении под затопленный уровень может учитываться и путем определения «среднего напора» за время заливки. В этом случае площадь выходного сечения системы

$$S_{\text{вых}} = 3,32 \frac{m_{\text{т ср}}}{\mu_{\text{сист}} \sqrt{H_{\text{ср}}}}, \quad (\text{IV.33})$$

где

$$\sqrt{H_{\text{ср}}} = \frac{\sqrt{H}}{1 + \frac{h_0 \cdot v}{h_0} \frac{1 - \alpha}{1 + \alpha}}; \quad (\text{IV.34})$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{H - h_0 \cdot v}{H}}. \quad (\text{IV.35})$$

Такой расчет, однако, менее удобен, так как величина $m_{\text{тн}}$ является еще параметром, определяющим размеры чаши и шлакоуловителя, и, следовательно, все равно должна быть определена.

Средний массовый расход

$$m_{\text{т ср}} = M/\tau \quad (\text{IV.36})$$

находят по графику, приведенному на рис. IV.17, б, или по времени заливки по формулам (IV.28), (IV.29).

Коэффициенты расхода находятся в пределах $\mu_{\text{ч}} = 0,8 + 0,95$, $\mu_{\text{сист}} = 0,4 + 0,8$. Точное их значение определяют опытным путем, приближенно

Рис. IV.18. График для определения $K = m_{\text{тн}}/m_{\text{т ср}}$

деляют для каждого типа литниковой системы опытным путем, приближенную величину находят расчетом по формулам:

$$\mu = \varepsilon \varphi; \quad (\text{IV.37})$$

$$\varphi = 1/\sqrt{1 + \xi}, \quad (\text{IV.38})$$

где ε — коэффициент заполнения сечения (коэффициент сжатия потока); если сечение заполнено, $\varepsilon = 1$; φ — коэффициент скорости; ξ — коэффициент сопротивления.

Для определения $\mu_{\text{ч}}$ или $\mu_{\text{сист}}$ в формулу (IV.37) вместо φ подставляют $\varphi_{\text{ч}}$ или $\varphi_{\text{сист}}$, которые в свою очередь для соответствующих значений $\xi_{\text{ч}}$ или $\xi_{\text{сист}}$ рассчитывают по формуле (IV.38). Коэффициент сопротивления системы $\xi_{\text{сист}}$ можно рассчитать по данным, приводимым в гидравлических справочниках [10], разбив литниковую систему на участки:

$$\xi_{\text{сист}} = \xi_1 \left(\frac{S_{\text{вых}}}{S_1} \right)^2 + \xi_2 \left(\frac{S_{\text{вых}}}{S_2} \right)^2 + \dots + \xi_{\text{вых}}, \quad (\text{IV.39})$$

где $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_{\text{вых}}$ — коэффициенты сопротивления участков литниковой системы (например, чаша, стояк, поворот, шлакоуловитель, питатель); $S_1, S_2, \dots, S_{\text{вых}}$ — площади сечений в конце соответствующих участков.

2. Во всех сечениях литниковой системы давление металла во избежание засоса газов должно быть равно или больше атмосферного. Если литниковая система имела бы на всем протяжении постоянное сечение, то наименьшее давление было бы в верхнем сечении стояка; причем при малом сопротивлении системы это давление может оказаться меньше атмосферного. С некоторым допущением можно принять, что для обеспечения в верхнем сечении стояка атмосферного давления необходимо соблюсти соотношение

$$\frac{S_{\text{ст. в}}}{S_{\text{вых}}} = \sqrt{\frac{H}{H_{\text{ч}}}}. \quad (\text{IV.40})$$

Более точно эта формула имеет следующий вид:

$$\frac{S_{\text{ст. в}}}{S_{\text{вых}}} = \sqrt{\frac{H + \xi_{\text{ч}} h_{\text{ст}}}{H_{\text{ч}} (1 + \xi_{\text{ст. в-вых}})}}, \quad (\text{IV.41})$$

где $\xi_{\text{ч}}$ — коэффициент сопротивления чаши на участке зеркало металла — выход из чаши; $h_{\text{ст}}$ — высота стояка; $\xi_{\text{ст. в-вых}}$ — коэффициент сопротивления литниковой системы на участке верхнее сечение стояка — выход из литниковой системы.

При соблюдении указанных условий массовый расход будет такой же, как если «отсечь» литниковую систему и оставить только чашу с отверстием в дне [19]. В дроссельных системах в некоторых случаях площадь дросселя $S_{\text{др}}$ меньше площади питателей. Чтобы при этом в дросселе не возникало вакуума, необходимо соблюсти условие:

$$\frac{S_{\text{вых}}}{S_{\text{др}}} \leq \sqrt{1 + \xi_{\text{др-вых}} - \frac{z_{\text{др}}}{H} (1 + \xi_{\text{сист}})}, \quad (\text{IV.42})$$

где $\xi_{\text{др-вых}}$ — коэффициент сопротивления на участке дроссель — выход; $z_{\text{др}}$ — вертикальное расстояние от оси дросселя до оси выходного сечения (питателя).

3. При заданном расходе скорость струи, вытекающей из питателей, должна быть по возможности малой независимо от напора в стояке. Это требование может быть удовлетворено при применении дроссельной литниковой системы, в которой имеется возможность выполнять сечения питателей достаточно большими. Предельное сечение питателей в такой системе определяется условием заполнения шлакоуловителя. Для этого пьезометрический напор в шлакоуловителе перед первым питателем $h_{\text{п1}}$ должен быть равен

$$h_{\text{п1}} = \frac{h_{\text{шл}}}{2} + \Delta_l, \quad (\text{IV.43})$$

где Δ_l — уровень металла в пьезометре (выпоре) над шлакоуловителем перед первым питателем (достаточно, чтобы $\Delta_l = 15 + 20$ мм); $h_{\text{шл}}$ — высота шлакоуловителя.

При соблюдении условия (IV.43) площади сечений питателей и шлакоуловителя находятся в соотношении

$$\frac{\sum S_{\text{пит}}}{S_{\text{шл}}} = \sqrt{\frac{1 + \xi_{\text{пит}}}{1 + \frac{2g}{v_{\text{м. шл}}^2} (h_{\text{шл}} + \Delta_l)}}; \quad (\text{IV.44})$$

$$v_{\text{м. шл}} = \frac{1000 q m_{\text{тн}}}{S_{\text{шл}} \gamma_{\text{ме}}}, \quad (\text{IV.45})$$

где $\xi_{\text{пит}}$ — коэффициент сопротивления питателя; $v_{\text{м. шл}}$ — скорость металла в шлакоуловителе; q — доля всей массы металла, протекающей через рассчитываемую ветвь шлакоуловителя; $\gamma_{\text{ме}}$ — плотность расплавленного металла (в среднем для чугуна $\gamma_{\text{ме}} = 6,8$ г/см³).

4. Литниковая система должна задерживать неметаллические включения. Примем, что шлакоуловитель имеет трапециевидное сечение, у которого высота $h_{\text{шл}}$ равна 1,25 нижнего основания, а верхнее основание — 0,7 нижнего основания; при этом $S_{\text{шл}} = 0,68h_{\text{шл}}^2$. Тогда наименьшее безопасное расстояние L (см) первого питателя от стояка в обычных боковых литниковых системах (см. рис. IV.12, б) при заливке чугуна определится из условия

$$L \geq 17,5 \frac{q m_{\text{тв}}}{h_{\text{шл}}} \quad (\text{IV.46})$$

Если длинный шлакоуловитель не помещается в опоке, то его можно расположить в два ряда или исходя из вынужденного расстояния L первого питателя от стояка определить минимальную высоту шлакоуловителя (а по ней остальные размеры сечения). Из условия (IV.46) следует, что

$$h_{\text{шл}} \geq 17,5 \frac{q m_{\text{тв}}}{L} \quad (\text{IV.47})$$

В целях экономии металла шлакоуловитель можно выполнять ступенчатым или сужающимся; при этом площадь его сечения пропорционально уменьшается за каждым питателем. Однако для обрабатываемых отливок шлакоуловители высотой меньше 17 мм ($S_{\text{шл}} = 2 \text{ см}^2$) выполнять не рекомендуется. Чтобы всплывшие частицы шлака не затянуло в питатель, надо делать его плоским (за исключением случаев, когда в отливке в месте подвода металла образуется усадочная раковина) и так, чтобы высота (толщина) питателя была

$$h_{\text{пит}} \leq \frac{1}{5} h_{\text{шл}} \quad (\text{IV.48})$$

Наряду с аналитическими формулами для расчета шлакоуловителей применяют эмпирические соотношения типа

$$\sum S_{\text{пит}}/S_{\text{шл}} = 1/(1,5 + 2). \quad (\text{IV.49})$$

Чем больше сечение шлакоуловителя (при неизменных питателях), тем меньше скорость металла в нем, лучше улавливание шлака. Соотношение (IV.49) влияет также на расход через отдельные питатели, расположенные по длине шлакоуловителя. При $S_{\text{шл}}/\sum S_{\text{пит}} \geq 2$ расход через питатели равномерный, при меньшем отношении он растет по направлению течения. При отсутствии шлакоуловителя (см. рис. IV.12, а) шлак можно задержать в стояке, причем диаметр стояка в его основании должен быть равен

$$d_{\text{ст. н}} = 13,6 \sqrt{\frac{m_{\text{тв ср}}}{h_{\text{ст}}/\tau + 18}} \quad (\text{IV.50})$$

Формула (IV.50) может быть использована в практике для малых $m_{\text{тв ср}}$ или для высоких стояков, иначе их диаметр получается слишком большим.

Нормализованные элементы подводящих систем

На рис. IV.19—IV.33 приведены нормализованные подводящие элементы и экспериментальные графики расходов, полученные при истечении в атмосферу. Вследствие колебания подачи металла из ковша в производственных условиях расчетные расходы $m_{\text{тв}}$ приняты на этих графиках на 20% меньше фактически полученных экспериментальным путем $m_{\text{тв}}$ при установившемся движении. Из отдельных элементов, показанных на этих рисунках, можно компоновать различные литниковые системы. Использование же расходных графиков, полученных для отдельных элементов, при их объединении в одну систему возможно при соблюдении определенных условий. Так, массовый расход из воронки или чаши (рис. IV.19—IV.21) после присоединения их к любой литниковой системе не изменится, если в верхнем сечении стояка будет обеспечено атмосферное давле-

ние в соответствии с соотношением (IV.41). Графики массовых расходов на рис. IV.22; б—IV.27, б, IV.29, а, IV.30, а, IV.31, б получены для базовых систем, состоящих из воронки или чаши, цилиндрического стояка, местного сопротивления и короткого начального отрезка шлакоуловителя при соблюдении двух условий: давление в верхнем сечении стояка равно атмосферному или больше его, и $S_{ст} \geq S_{др}$. К базовой системе возможны различные приставки: шлакоуловители (прямые, с поворотами, разветвлениями), питатели различных конструкций. В зависимости от сопротивления приставки будут изменяться пьезометрический напор в начале шлакоуловителя и расход. Поэтому при выборе номера мера местного сопротивления по заданному массовому расходу надо на нижней

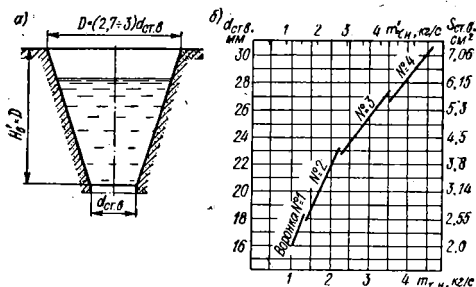


Рис. IV.19. Литниковая воронка (а) и график для определения номера воронки и размера $d_{ст.в}$ (б)

Таблица IV.33

Размеры воронок, мм (к рис. IV.19)

Номер воронки	$d_{ст.в}$ (калибр)	D	$H'_в$	Масса металла в воронке, кг
1	18	50	50	0,3
2	23	60	60	0,6
3	27	75	75	1,1
4	30	90	90	1,9

шкале соответствующего графика (рис. IV.22, б—IV.27, б, IV.29, а, IV.30, а, IV.31, б) отложить скорректированный расчетный напор H_p , т. е. полный напор H , уменьшенный на величину пьезометрического напора $h_{пн, шл}$ в начале шлакоуловителя, т. е.

$$H_p = H - h_{пн, шл} \quad (IV.51)$$

Если шлакоуловитель и питатели расположены в одной горизонтальной плоскости, то

$$h_{пн, шл} = h_{пн} + h'_{в, шл-л} - \frac{h_{шлн} - h_{шлл}}{2}, \quad (IV.52)$$

где $h_{пн}$ — пьезометрический напор перед первым питателем [его значение, в соответствии с выражением (IV.43), отложено на правых шкалах нижних графиков (рис. IV.32, а и б)]; $h'_{в, шл-л}$ — потери напора в шлакоуловителе на участке

между начальным сечением и сечением перед первым питателем, рассчитываемые по данным работы [10]; $h_{\text{шл.н.}}$, $h_{\text{шл.л.}}$ — высоты сечений шлакоуловителей соответственно в начале канала и перед первым питателем.

В случае прямого короткого шлакоуловителя постоянного сечения можно пренебречь потерями напора по длине и вместо формулы (IV.52) принять

$$h_{\text{п.шл}} \approx h_{\text{п.л.}} \quad (\text{IV.53})$$

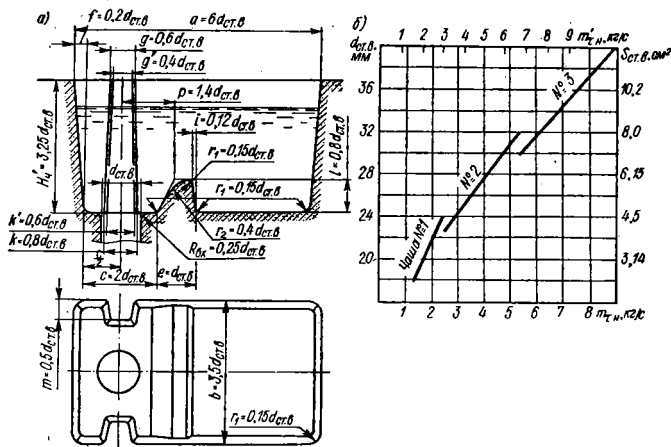


Рис. IV.20. Литниковая чаша (а) и график для определения номера чаши и $d_{\text{ст.в}}$ (б)

Таблица IV.34

Размеры чаш, мм (к рис. IV.20)

Номера чаш	$d_{\text{ст.в.}}$ (калибр)	a	b	c	e	f	g	g'	H'_0	l	p	k	k'	l	m	$R_{\text{вх}}$	r_1	r_2	Масса металла в чаше, кг
1	24	144	84	48	24	5	15	10	80	3	34	20	15	19	12	6	4	10	4,5
2	32	192	112	65	32	6	19	13	105	4	45	26	19	26	16	8	5	12	8,0
3	40	240	140	80	40	8	24	16	130	5	56	32	24	32	20	10	6	16	21,5

Конструкции нормализованных элементов рассмотрены ниже.

Воронки и чаши (см. на рис. IV.19, а—IV.21, а) построены так, чтобы каждый их размер (номер) подходил для стоек нескольких диаметров. По мере увеличения диаметра стойка массовый расход в данной чаше увеличивается, но движение в ней становится более бурным, коэффициент расхода уменьшается,

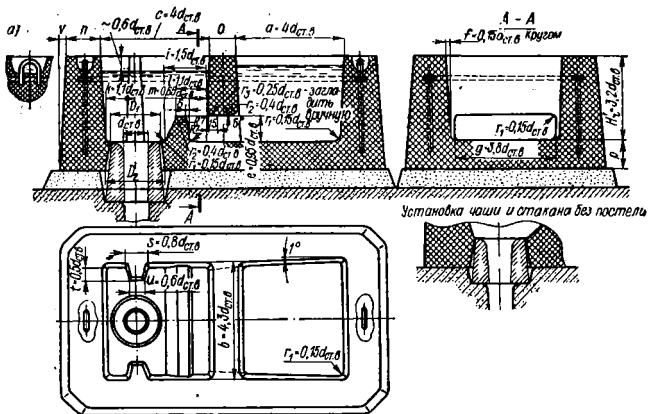


Рис. IV.21. Литниковые чаши-нарошки с перегородкой (а) и график для определения номера чаши и $d_{ст.в}$ (б)

Таблица IV.35

Размеры чаш, мм (к рис. IV.21)

Номера чаш	$d_{\text{ст. в}}$ (калибр)	a	b	c	D_1	D_2	e	l	g	$H'_ч$	t	k
1	50	200	215	200	97	108	48	8	190	160	75	55
2	65	260	280	260	118	135	62	10	246	210	97	72
3	75	300	320	300	133	150	70	12	285	240	112	83

Номер чаш	l	m	n	o	p	r_1	r_2	r_3	s	t	u	v	Масса металла в чаше, кг
1	55	32	45	30	50	8	20	12	40	25	30	15	68
2	72	42	75	60	70	10	26	16	52	32	40	20	156
3	83	48	90	60	70	12	30	20	60	38	45	22	231

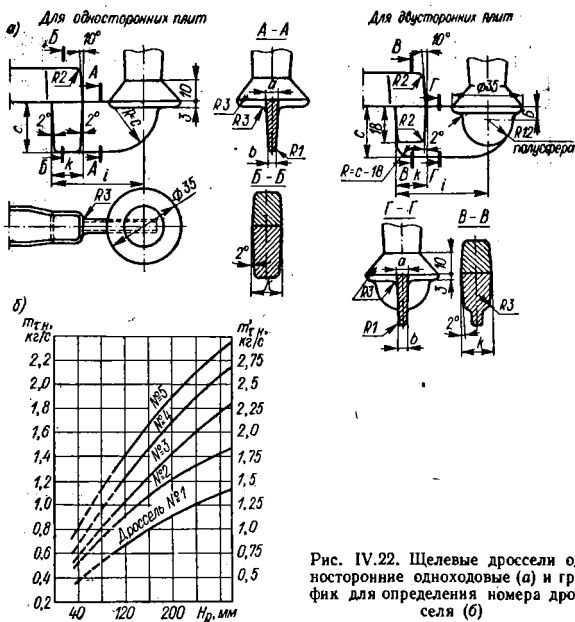


Рис. IV.22. Щелевые дроссели односторонние одноходовые (а) и график для определения номера дросселя (б)

Таблица IV.36

Размеры дросселей, мм (к рис. IV.22)

Номер дросселя	$S_{др}, \text{см}^2$	$a \pm 0,2$	$b \pm 0,2$	$c \pm 0,2$	i	k
1	1,0	4,5	3,6	24,6	45	15
2	1,5	5,5	4,5	30,0	45	15
3	1,5	7,0	6,2	22,8	48	18
4	2,0	7,0	6,0	30,8	48	18
5	2,5	9,0	8,0	29,4	53	23

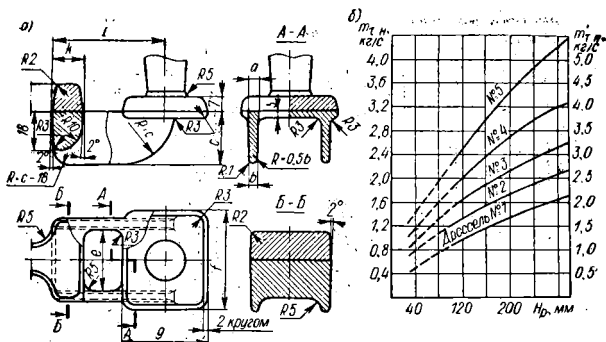


Рис. IV.23. Щелевые дроссели односторонние двухходовые (а) и график для определения номера дросселя (б)

Таблица IV.37

Размеры дросселей, мм (к рис. IV.23)

Номер дросселя	$\Sigma S_{др}, \text{см}^2$	$a \pm 0,2$	$b \pm 0,2$	$c \pm 0,2$	e	l	g	i	h
1	2,0	4,5	3,6	24,6	30	45	40	52	15
2	2,5	5,5	4,6	24,6	30	47	40	52	15
3	3,0	5,5	4,5	30	30	47	40	52	15
(3а)					40	57			
4	4,0	7,0	6,0	30,8	30	50	40	57	20
(4а)					40	60			
5	5,0	9,0	8,0	29,4	30	54	46	60	20
(5а)					40	64			

а способность удерживать шлак ухудшается. Стояк, отвечающий максимальному расходу в данной чаше, при котором она еще удовлетворительно выполняет свои функции, принят для данного номера чаши как основной. Размер его верхнего диаметра $d_{ст.}$ в назван калибром, и по нему определяются соотношения остальных размеров чаши. Воронки рекомендуется применять при $m_{тн} \leq \leq 5$ кг/с, а чаши — при больших расходах *. Для соединения стояка чаши-

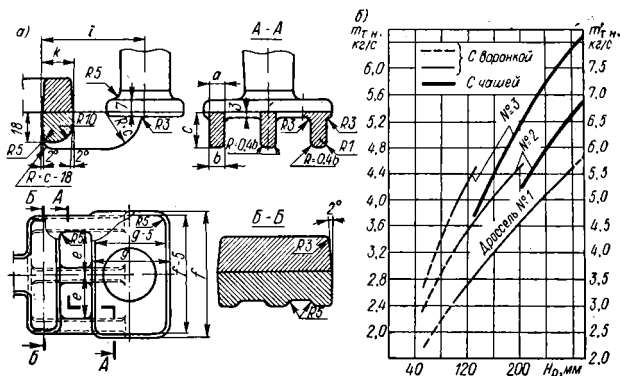


Рис. IV.24. Щелевые дроссели односторонние трехходовые (а) и график для определения номера дросселя (б)

Таблица IV.38

Размеры дросселей, мм (к рис. IV.24)

Номер дросселя	$\Sigma S_{др.}$ см ²	$a \pm 0,2$	$b \pm 0,2$	$c \pm 0,2$	e	f	g	l	k
1	5,15	10,0	9,5	17,6	25	76	46	62	20
2	7,0	10,0	9,2	24,3	35	96	50	62	20
3	8,55	10,0	9,0	30	35	96	50	62	20

парошалки со стояком в форме применяется стакан (рис. IV.21, а), высота которого должна быть не менее двух калибров. Размеры чаш и воронок приведены в табл. IV.33—IV.35. Уровень металла в них от верха далее в расчетах принят $0,6d_{ст.}$ в.

Местные сопротивления показаны в виде моделей щелевого дросселя, сетки с дросселем и центробежного шлакоуловителя (рис. IV.22, а—IV.27, а; IV.28; IV.29, а и б; IV.30, а и б; IV.31, а).

* В массовом производстве для заливки форм с начальным массовым расходом до 5 кг/с в некоторых случаях применяют специальные воронки увеличенных размеров; для этого необходимо, чтобы ковш имел оттянутый носок, а квалификация заливщика позволяла при большом расходе «держать воронку полной». При индивидуальном производстве чаши могут применяться и при расходах меньше указанных, если на плацу из большого ковша, наряду с крупными формами, заливают и мелкие.

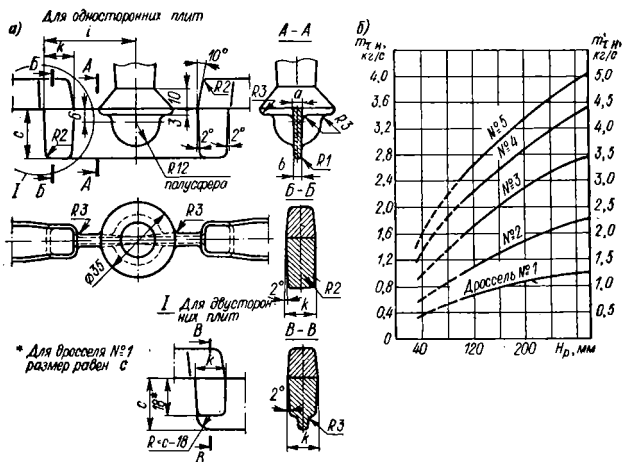


Рис. IV.25. Щелевые дроссели двусторонние одноходовые (а) и график для определения номера дросселя (б)

Таблица IV.39

Размеры дросселей, мм (к рис. IV.25)

Номер дросселя	$\sum S_{др}, \text{см}^2$	$a+0,2$	$b+0,2$	$c+0,2$	i	k
1	1,0	4,5	4,1	11,6	45	15
2	2,0	4,5	3,6	24,6	45	15
3	3,0	5,5	4,5	30,0	45	15
4	4,0	7,0	6,0	30,8	48	18
5	5,0	9,0	8,0	29,4	50	18

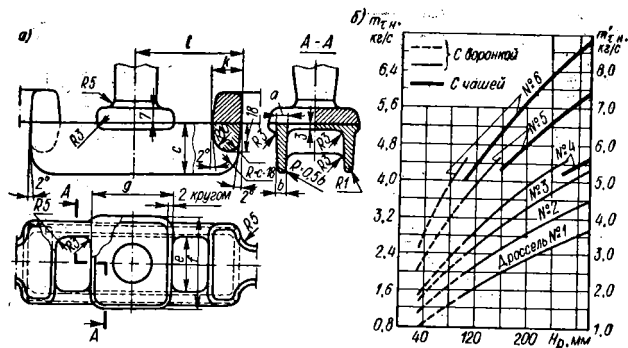


Рис. IV.26. Щелевые дроссели двусторонние двухходовые (а) и график для определения номера дросселя (б)

Таблица IV.40

Размеры дросселей, мм (к рис. IV.26)

Номер дросселя	$\sum S_{\text{др}}, \text{см}^2$	$a \pm 0,2$	$b \pm 0,2$	$c \pm 0,2$	e	f	g	l	k
1	3,0	4,5	3,9	18	30	46	46	55	15
2	4,0	4,5	3,6	24,6	40	56	46	55	15
(2а)	4,0	4,5	3,6	24,6	30	46	46	55	15
3	5,0	5,5	4,6	24,6	40	56	46	55	15
(3а)	5,0	5,5	4,6	24,6	30	46	46	55	15
4	6,0	5,5	4,5	30	40	56	56	60	15
5	8,0	7,0	6,0	30,8	40	60	56	65	20
6	10,0	9,0	8,0	29,4	40	64	56	65	20

Таблица IV.41

Размеры дросселей, мм (к рис. IV.27)

Номер дросселя	$\sum S_{\text{др}}, \text{см}^2$	$a \pm 0,2$	$b \pm 0,2$	$c \pm 0,2$	D	l	k	R
1	2	4,5	4,1	11,6	35	45	15	12
2	3	4,5	3,9	18,0	35	45	15	12
3	4	4,5	4,0	24,6	35	45	15	12
4	5	5,5	4,6	24,6	40	50	15	15
5	6	5,5	4,5	30,0	40	50	15	15
6	6,8	7,0	6,1	26,0	45	55	18	17,5
7	8	7,0	6,0	30,8	45	55	18	17,5
8	10	9,0	8,0	29,4	50	60	18	20

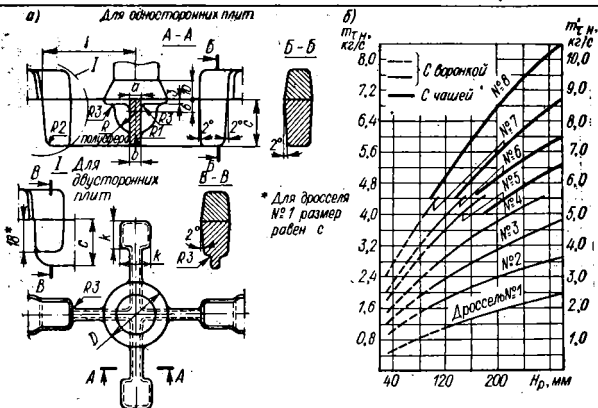


Рис. IV.27. Шелевые дроссели крестообразные односторонние (а) и график для определения номера дросселя (б)

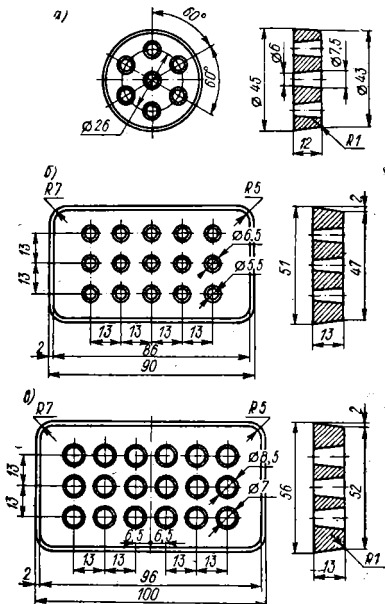


Рис. IV.28. Сетки: а — сетка №1, $\Sigma S = 198 \text{ мм}^2$; б — сетка №2, $\Sigma S = 355 \text{ мм}^2$; в — сетка №3, $\Sigma S = 692 \text{ мм}^2$

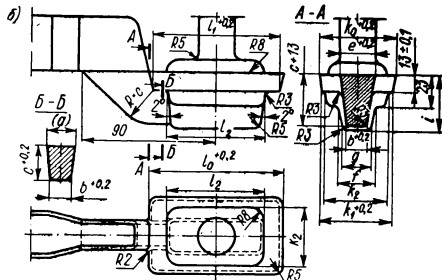
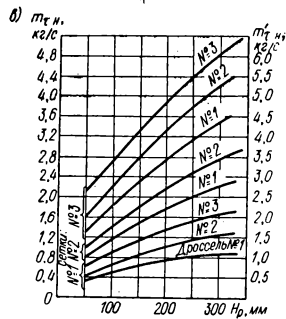
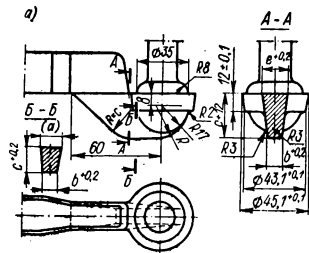


Рис. IV.29. Сетка с односторонним дросселем (а и б) и график для определения номеров сетки и дросселя (в)

Размеры дросселей, мм (к рис. IV.29)

Номер сетки	Система	Номер дросселя	$S_{др}, \text{см}^2$	(a)	$b+0,2$	$c+0,2$	$e+0,2$
1	a	1	0,638	14,4	14	4,5	15,5
		2	1,37	15,2	13	9,8	18
		3	2,27	14,8	10	18,1	18
2	б	1	2,5	20,5	16,8	13,4	24
		2	4,03	20,9	14,5	23	24
3	б	1	3,4	27,5	24,8	13	30
		2	4,9	27,5	23,5	19,2	30
		3	7,46	27,8	22,2	30	30

Таблица IV.43

Размеры знака под сетку и металлопрямник, мм (к рис. IV.29, б)

Номер сетки	Номер дросселя	l	g	l	$k_0^{+0,2}$	$k_1^{+0,2}$	k_2	$l_0^{+0,2}$	$l_1^{+0,2}$	l_2
2	1	22,6	21	28,4	51,1	47,1	40	90,1	86,1	65
	2	22,6	18,5	38						
3	1	30	29	28	56,1	52,1	45	100,1	96,1	80
	2	29	27,5	34						
	3	29,8	2	45						

Таблица IV.44

Размеры дросселей, мм (к рис. IV.30)

Номер сетки	Система	Номер дросселя	$\sum S_{др}, \text{см}^2$	(a)	$b+0,2$	$c+0,2$	$e+0,2$
1	a	1	0,68	10,5	9,9	3,4	14
		2	1,48	10,4	8,0	8,0	14
		3	1,98	10,3	6,6	11,6	14
2	б	1	2,1	14,5	12	8,4	18
		2	3,06	14,5	11	12	18
		3	3,69	14,5	10	15	18
3	б	1	5,2	20,5	16,4	14	24
		2	7,8	20,5	14,5	22	24

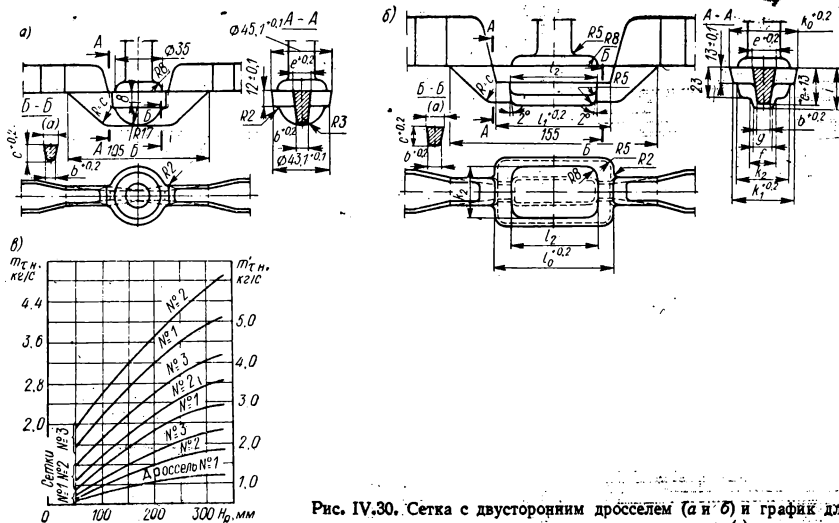
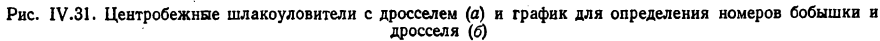


Рис. IV.30. Сетка с двусторонним дросселем (а и б) и график для определения номеров сетки и дросселя (в)



Размеры знака под сетку и металлоприемника, мм (к рис. IV.30, б)

Номер сетки	Номер дресселя	f	g	i	$k_0^{+0,2}$	$k_1^{+0,2}$	k_2	$i_0^{+0,2}$	$i_1^{+0,2}$	i_2
2	1	16,5	16	23,4	51,1	47,1	40	90,1	86,1	65
	2	16,2	15	27						
	3	16	14	30						
3	1	22,2	20,4	29	56,1	52,1	45	100,1	96,1	80
	2	22	18	37						

Щелевые дрессели (рис. IV.22, а—IV.27, а) в соответствии с типовыми схемами расположения моделей на плитах подразделяют на односторонние, двусторонние, крестообразные и в зависимости от требуемого расхода — на однокходовые, двухходовые и трехходовые. Сопротивление дресселя в значительной степени зависит от толщины щели в форме (пера дресселя на модели). Так, в дресселе № 3 (см. рис. IV.22 и табл. IV.36), имеющем равную площадь с дресселем № 2, толщина щели (размер a) на 1,5 мм больше, чем в дресселе № 2, что приводит к существенному увеличению массового расхода. Наряду с этим, увеличение высоты щели при постоянной толщине (дрессели № 3 и № 4) приводит к росту расхода в меньшей степени, чем рост площади сечения.

Чтобы при выеме моделей двухходовых дресселей (см. рис. IV.23, а—IV.26, а) из формы болванчик между перьями не отрывался, желательно выполнять его толщиной 30 мм в односторонних системах и 40 мм в двусторонних. Поэтому применения дресселя, номер которого заключен в скобку (табл. IV.37—IV.40), следует избегать. Если при проверке запроектированной технологии окажется необходимым увеличить время заливки, то это достигается доводкой (уменьшением) наладочного размера, которым является высота пера дресселя. Из-за малой толщины дресселей заливаемый чугун должен иметь перегрев не менее 80° С.

Размеры дресселей приведены в табл. IV.36—IV.41.

Сетка с дресселем (рис. IV.28, IV.29, а и б, IV.30, а и б) применяется тогда, когда в форме не удастся разместить щелевой дрессель с шлакоуловителем. В данной системе дресселем служит канал под знаком сетки, образованный «хвостовиком» (рис. IV.29, а и б, IV.30, а и б, сечения Б—Б). Для каждой сетки предусмотрены два-три дресселя; площадь сечения первого выполнена существенно меньшей, а последнего — примерно равной площади отверстий в сетке. Таким образом, при помощи одной сетки и нескольких дресселей можно обеспечить расход в некотором диапазоне. В отличие от распространенной практики, когда хвостовик выполняется по свободным размерам, в данной системе размеры сечений А—А и Б—Б (рис. IV.29, а и б, IV.30, а и б) допустимы. На участке, не требующем точной обработки, хвостовик сеток № 2 и № 3 расширен, а размеры f , g , i являются свободными.

Размеры дресселей и знаки под сетку приведены в табл. IV.42—IV.45.

Центробежные шлакоуловители в дресселем (рис. IV.31, а) заполняются принудительно, даже при нарушениях правил заливки, и применяются для ответственных отливок, поверхности которых после обработки не должны иметь неметаллических включений. Каждая центробежная бобышка имеет от четырех до пяти дресселей для регулирования расхода. Дресселем служит канал под стержнем.

Размеры дресселей с центробежными шлакоуловителями приведены в табл. IV.46.

Размеры дросселей с центробежными шлакоуловителями, мм (к рис. IV.31)

Номер бо- бышки	Номер дрос- селя	Дроссели					Центробежные шлакоуловители																
		$S_{A-A'}$ см ²	a_1	(b_1)	c_1	e	$S_{B-B'}$ см ²	a_2	b_2	c_2	$S_{B-B'}$ см ²	a_3	b_3	c_3	d	d_1	d_2	h	t	l	m	r	r_1
1	1	2,04	16	18	12	24	4,8	11	15	36	5,45	15	18	33	32	55	65	60	55	90	50	80	55
	2	3,2	18	22	16	31																	
	3	3,8	22	26	16	35																	
	4	6,3	19	23	30	28	5,75	14	18	6,25	17	21											
	5	8,4	26	30		35																	
2	1	4,32	16	20	24	26	13,2	25	29	49	14,7	30	34	46	36	75	85	80	70	125	70	110	70
	2	5,05	19	23		29																	
	3	8,4	26	30	30	35																	
	4	11	30	33	35	36																	

Номер бо- бышка	Номер дрос- селя	Дроссели					Центробежные шлакоуловители																	
		$S_{A-A},$ см ²	a_1	(b_1)	c_1	e	$S_{B-B},$ см ²	a_2	b_2	c_2	$S_{B-B},$ см ²	a_3	b_3	c_3	d	d_1	d_2	h	t	l	m	r	r_1	
3	1	6,3	19	23	30	28	13,6	21	25	59	16,8	28	32	56	45	95	105	100	80	150	85	125	100	
	2	8,4	26	30		35	14,75	25	27															
	3	11	30	33	35	36	13,6	21	25		16,8	28	32											
	3 *	11	34	38	31	42	12,4	19	23		14,6	24	28											
	4	15,6	28	32	52	35	18,9	30	34		24	41	45											
	4 *	14,9	43	47	34	51	14,75	25	27		16,8	28	32											
4	1	7	24	26	28	35	12	23	27	48	14	33	37	40	50	115	125	140	150	190	110	225	170	
	2	8	23	27	32		13,5	26	30		16	38	42											
	3	9	24	26	36	29	15	25	28	57	18			45										
	4	12	23	27	48	32	22,8	32	36	67	29,5	48	54	58	60									
	5	15,9	28	32	53	37	22,8	32	36															
* Для исполнения II.																								

* Для исполнения II.

Приставками к базовым системам являются прямой шлакоуловитель (рис. IV.32) и присоединенные к нему питатели (рис. IV.33). Скорость металла в шлакоуловителе $v_{м. шл}$ дроссельных систем обычно принимается равной 20, 37 и 45 см/с; большие скорости — 70 и 100 см/с — допускаются в тех случаях, когда металл поступает в канал уже свободным от шлака (т. е. когда «шлакоуловитель» превращается в коллектор, только раздающий металл по питателям). Такие коллекторы могут применяться после центробежных шлакоуловителей или в сочетании с хорошо работающими чашами. Заполнение шлакоуловителя, т. е. наличие в нем положительного пьезометрического напора $h_{п.г}$, обеспечивается соответствующей конструкцией и размерами питателей. Предусмотренные три вида соединений питателей с шлакоуловителем обладают последовательно большим гидравлическим сопротивлением (рис. IV.33, а — сверху вниз) и соответственно (при заданных величинах $m_{тн}$ и $h_{п.г}$) тем больше может быть их площадь и меньше выходная скорость.

Графический расчет литниковой системы с местным сопротивлением

Расчет системы производится в следующем порядке.

1. Определяется средний массовый расход $m_{т\text{ ср}}$ по графику на рис. IV.17, б или при помощи формул (IV.28), (IV.29).
2. Определяется начальный массовый расход $m_{тн}$ по графику на рис. IV.18.

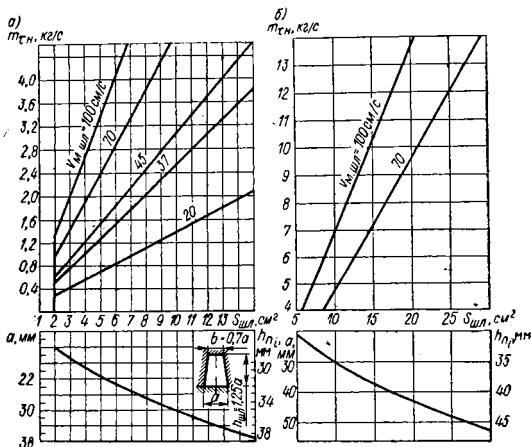


Рис. IV.32. Графики для определения площади сечения $S_{шл}$, размеров шлакоуловителя и пьезометрического напора в нем ($h_{п.г}$) перед первым питателем в зависимости от скорости металла $v_{м. шл}$: а — $m_{тн} < 4$ кг/с; б — $m_{тн} = 4 \div 13$ кг/с

3. По величине $m_{тн}$ выбирается тип чаши, определяются верхний диаметр стояка $d_{ст. в.}$, номер и размер чаши (см. рис. IV.19 — IV.21).
4. Определяется площадь сечения шлакоуловителя. Для этого на оси ординат (рис. IV.32) откладывают значение начального массового расхода металла $m_{тн}$, протекающего через односторонний шлакоуловитель, или долю начального

массового расхода металла, протекающего через его ветвь. Далее проводят горизонтальную линию направо до пересечения с линией, отвечающей выбранной скорости $v_{м. шл.}$. От точки пересечения опускают вертикальную линию через ось абсцисс до нижней кривой и далее от точки пересечения вертикали с этой нижней кривой проводят горизонтальную линию налево — до оси ординат, на которой отложены размеры основания шлакоуловителя a . Остальные размеры сечения шлакоуловителя определяются по эскизу на нижнем графике (рис. IV.32, а). Площадь сечения шлакоуловителя $S_{шл.}$ находят на оси абсцисс в месте пересечения ее с вертикалью (для обрабатываемых отливок, как указывалось, площадь одной ветви шлакоуловителя не рекомендуется делать меньше 2 см^2). В случае залывки формы через воронку полученные размеры шлакоуловителя необходимо подвергнуть поверочному расчету по формуле (IV.47) или по формуле (IV.46) определять безопасное расстояние питателя от стояка.

5. Определяется суммарная площадь питателей $\Sigma S_{пит.}$, присоединенных к ветви шлакоуловителя, в зависимости от доли начального массового расхода металла $m_{тн.}$, протекающего через эту ветвь, скорости металла в шлакоуловителе $v_{м. шл.}$ и выбранного типа питателей (рис. IV.33). Количество питателей и площадь сечения каждого из них определяются расположением моделей и особенностями конструкции отливок. Питатели, согласно соотношению (IV.48), не должны быть толще $1/5$ высоты шлакоуловителя во избежание засасывания шлака.

6. По требуемому начальному массовому расходу и расчетному напору H_p определяются размеры местного сопротивления; величина H_p находится по формулам (IV.51)—(IV.53). Выбрав тип местного сопротивления, находят на соответствующем графике (см. рис. IV.22, б—IV.27, б и IV.29, в, IV.30, в, IV.31, б) на оси абсцисс напор H_p , а на левой оси ординат — желаемый массовый расход $m_{тн.}$. Пересечение координат дает точку, лежащую на одной из кривых или между ними. По кривой, расположенной ближе к найденной точке, определяют номер местного сопротивления и по этому номеру в таблице к рисунку находят его размеры. Если точка пересечения координат оказывается между двумя кривыми на большом расстоянии (по вертикали) от каждой, то берут ближайшее большее местное сопротивление, а высоту дросселя пересчитывают по соотношению

$$(c) = c \frac{(m_{тн.})}{m_{тн.}}, \quad (IV.54)$$

где (c) — высота сечения нужного дросселя; c — высота сечения дросселя по таблице; $m_{тн.}$ — массовый расход через дроссель высотой c при напоре H_p ; $(m_{тн.})$ — нужный массовый расход через дроссель высотой (c) при том же напоре H_p .

7. После того как найден номер местного сопротивления и определена площадь дросселя, она сопоставляется с площадью стояка, найденной ранее (см. п. 3), которая нигде по высоте не должна быть меньше площади дросселя. Увеличение в случае необходимости диаметра стояка по сравнению с полученным по рис. IV.19—IV.21 не требует изменения остальных размеров литниковой воронки или чаши, так как расход остается расчетным и регламентируется дросселем.

Пример. Требуется рассчитать литниковую систему типа приведенной на рис. IV.12, е, если $H = 300 \text{ мм}$ и в опоке помещены две отливки массой по 25 кг с толщиной стенки 5 мм и высотой 250 мм , причем часть отливки высотой 150 мм расположена в верхней опоке. Принимаем быструю заливку.

1. По рис. IV.17, б при суммарной массе отливок в форме 50 кг $m_{т. ср} = 5,5 \text{ кг/с}$.

2. По рис. IV.18 при $h_{0. в.}/h_0 = 0,6$ и $h_{0. в.}/H = 0,5$ находим $m_{тн.} = 1,1 \text{ кг/с}$ при $m_{т. ср} = 6 \text{ кг/с}$.

3. По рис. IV.20 и табл. IV.34 находим чашу № 3; $d_{ст. в.} = 32 \text{ мм}$; $S_{ст. в.} = 8 \text{ см}^2$; $H_q = H'_q - 0,6 d_{ст. в.} = 110 \text{ мм}$.

4. По рис. IV.32, а при $0,5 m_{тн.} = 3 \text{ кг/с}$ и $v_{м. шл.} = 45 \text{ см/с}$ находим площадь сечения ветви шлакоуловителя $S_{шл.} = 9,8 \text{ см}^2$; при этом $a = 30 \text{ мм}$, $h_{шл.} = 38 \text{ мм}$, $b = 21 \text{ мм}$. Согласно формуле (IV.46), $L \geq 17,5 \frac{0,5 \cdot 3}{3,8} \geq 6,9 \text{ см} \geq 69 \text{ мм}$.

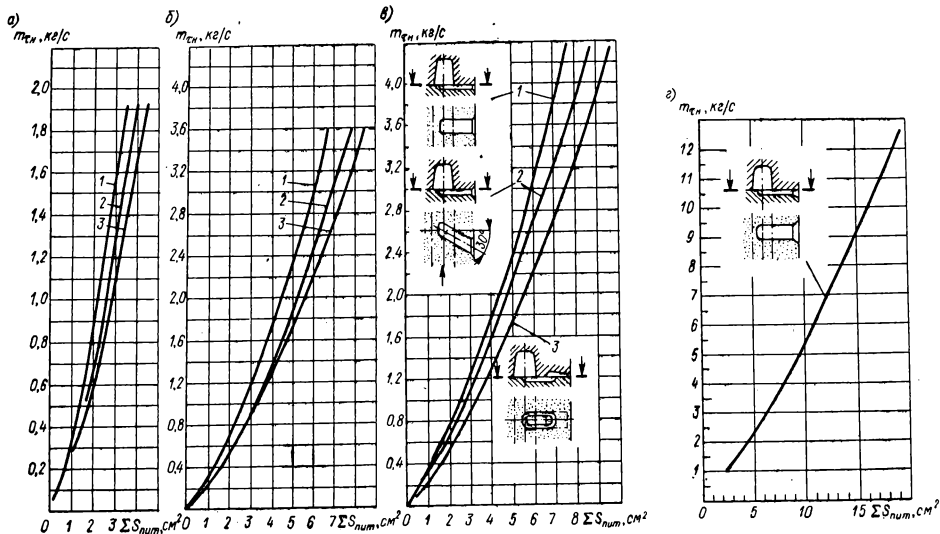


Рис. IV.33. Графики для определения суммарной площади сечения питателей $\Sigma S_{\text{пит}}$ в зависимости от их кон-
 струкции (сопротивления) и скорости металла в шлакоуловителе $v_{\text{м.шл}}$: а — $v_{\text{м.шл}} = 20$ см/с; б — $v_{\text{м.шл}} = 37$ см/с;
 в — $v_{\text{м.шл}} = 45$ см/с; г — $v_{\text{м.шл}} = 70 \div 100$ см/с

Конструкции питателей, соответствующие кривым 1—3, приведены на рис. IV.33, в

5. По рис. IV.33, а при $0,5m_{\text{тн}} = 3 \text{ кг/с}$ и $v_{\text{м.шл}} = 45 \text{ см/с}$ по кривой 1 находим, что суммарная площадь питателей по каждую сторону стояка составит 6 см^2 . По отношению (IV.48) толщина питателя $h_{\text{пит}} \leq 38 : 5$; так как отливка тонкостенная, принимаем $h_{\text{пит}} = 4 \text{ мм}$; тогда при пяти питателях ширина каждого равна $600 : (4 \cdot 5) = 30 \text{ мм}$.

6. Металл от стояка расходится в две стороны; поэтому требуется двусторонний щелевой дроссель. На рис. IV.32, б по нижней кривой на правой шкале в рассматриваемом случае $h_{\text{д}} = 35 \text{ мм}$. Следовательно, по уравнениям (IV.51) и (IV.53) напор $H_p = 300 - 35 = 265 \text{ мм}$. При таком напоре необходимый массовый расход, равный 6 кг/с , согласно рис. IV.26, б находится между кривыми, соответствующими дросселям № 5 и № 6. Принимаем дроссель № 6, обеспечивающий массовый расход $m_{\text{тн}} = 6,7 \text{ кг/с}$, и пересчитываем размер c по уравнению (IV.54): $(c) = (29,4 \cdot 6) / 6,7 = 26,4 \text{ мм}$. Суммарная площадь перьев дросселя $\Sigma S_{\text{др}} = 9 \text{ см}^2$.

7. Так как площадь стояка должна быть равной или быть больше площади малого сечения, то вместо найденного в п. 3 значения $S_{\text{ст. в}} = 8 \text{ см}^2$ принимаем $S_{\text{ст}} = 9 \text{ см}^2$; $d_{\text{ст}} = 34 \text{ мм}$ с формовочным уклоном в сторону увеличения диаметра.

Графический расчет сужающейся литниковой системы

Расчет этой системы ведется в следующем порядке.

1. Определяется средний массовый расход $m_{\text{т ср}}$ по графику на рис. IV.17, б или при помощи формул (IV.28), (IV.29).
2. Определяется начальный массовый расход $m_{\text{тн}}$ по графику на рис. IV.32, а.
3. По величине $m_{\text{тн}}$ выбирается тип чаши, и определяются верхний диаметр стояка $d_{\text{ст. в}}$, номер и размеры чаши (см. рис. IV.19—IV.21).
4. По известному напору H согласно технологической разработке, фактическому уровню металла в чаше $H_{\text{ч}}$ (см. рис. IV.19—IV.21) и верхнему диаметру стояка $d_{\text{ст. в}}$ находится по графику на рис. IV.34 размер выходного сечения.

График на рис. IV.34 построен по формуле (IV.41) для четырех типов литниковых систем 1—4 (рис. IV.34 справа), которым соответствуют кривые 1—4. На левой средней шкале графика для литниковой системы 1, у которой выходным является нижнее сечение стояка, находим $d_{\text{вых}} = d_{\text{ст. н}}$, а для литниковых систем 2, 3 и 4, у которых выходом служат питатели, на той же шкале находим $S_{\text{вых}} = \Sigma S_{\text{пит}}$. Расчет дает наименьшее значение $d_{\text{ст. в}}$. При выборе из имеющихся моделей стояков наиболее подходящего по размерам допускается отклонение в сторону увеличения (при условии, что выходное сечение выполняется по расчетным размерам). Нижнее сечение стояка является расчетным только для литниковой системы 1; для литниковых систем 2—4 при условии, что $S_{\text{ст. н}} \geq \Sigma S_{\text{пит}}$, допускается: $S_{\text{ст. н}} > S_{\text{ст. в}}$, если стояк закреплен на модельной плите; $S_{\text{ст. в}} = S_{\text{ст. в}}$, если стояк расположен в вертикальной плоскости разреза формы; $S_{\text{ст. н}} < S_{\text{ст. в}}$, если стояк съемный.

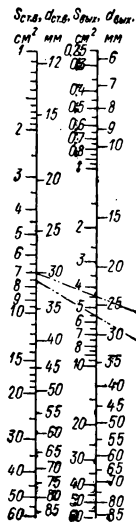
5. По эмпирическому соотношению (IV.49) определяют площадь сечения шлакоуловителя и по формуле (IV.47) — высоту его сечения.

Пример 1. Требуется рассчитать литниковую систему по рис. IV.14, а, если $H = 170 \text{ мм}$, масса отливки 100 кг , преобладающая толщина стенок 20 мм . Принимаем нормальную скорость заливки.

1. По рис. IV.17, б $m_{\text{т ср}} = 4,8 \text{ кг/с}$.
2. Так как форму заливают сверху, то $m_{\text{тн}} = m_{\text{т ср}}$.
3. По рис. IV.20 и табл. IV.34 находим литниковую чашу № 2; $d_{\text{ст. в}} = 30 \text{ мм}$; $S_{\text{ст. в}} = 7 \text{ см}^2$; $H_{\text{ч}} = H' = 0,6d_{\text{ст. в}} \approx 85 \text{ мм}$.
4. По рис. IV.34 при $H : H_{\text{ч}} = 170 : 85 = 2$ и $d_{\text{ст. в}} = 30 \text{ мм}$ с помощью кривой 1 и номограммы находим $d_{\text{ст. н}} = 24 \text{ мм}$. При установке на ступице двух стояков $S_{\text{ст. в}} = 7 : 2 = 3,5 \text{ см}^2$, $d_{\text{ст. в}} = 21 \text{ мм}$; тогда по рис. IV.34 $d_{\text{ст. н}} = 17 \text{ мм}$.

Пример 2. Требуется рассчитать литниковую систему по типу № 4 (рис. IV.34) при условии, что $H = 460 \text{ мм}$, масса отливки 35 кг , толщина стенки 15 мм , высота отливки $h_0 = 345 \text{ мм}$, в верхней опоке расположена часть отливки высотой $h_{0. в} = 310 \text{ мм}$. Принимаем быструю заливку.

1. По рис. IV.17, б $m_{\text{т ср}} = 4 \text{ кг/с}$.



$$M = S_{\text{ст.б.}} / S_{\text{вых.}}$$

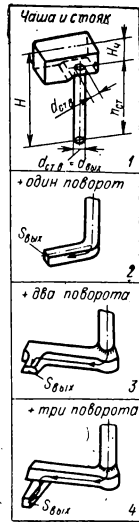
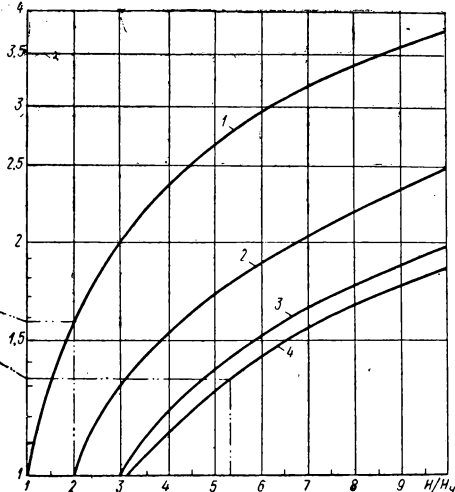


Рис. IV.34. График для определения площади выходного сечения $S_{\text{вых}}$ в зависимости от площади верхнего сечения стояка и отношения $H : H_{\text{ч}}$ при разных конструкциях подводящей системы (1—4)

2. По рис. IV.18 при $h_{0.в}/h_0 = 310/345 \approx 0,9$ и $h_{0.в}/H = 310/460 \approx 0,675$ находим $K = 1,25$, $m_{сн} = 1,25 \cdot 4 = 5$ кг/с.

3. По рис. IV.20 и табл. IV.34 находим литниковую чашу № 2; $d_{ст.в} = 31$ мм, $S_{ст.в} = 7,5$ см², $H_ч = H_ч' - 0,6d_{от.в} \approx 85$ мм.

4. По рис. IV.34 при $H/H_ч = 460/85 = 5,4$ и $S_{ст.в} = 7,5$ см² с помощью кривой 4 и номограммы находим $S_{вх} = \Sigma S_{пит} = 5,5$ см².

5. По формуле (IV.49) $S_{шл} = 2 \cdot 5,5 = 11$ см².

Типы прибылей и их расчет

Прибыли применяются при изготовлении отливок из белого и ковкого чугуна, из ВЧШГ, высоколегированных чугунов, а также из серого чугуна при низком содержании углерода или при наличии толстых стенок. Чем больше прочность и жесткость формы, тем меньше объем усадочных раковин в отливках из СЧ и особенно из ВЧШГ. Поэтому при литье в сухие формы при прочих равных условиях требуются прибыли меньшего размера, чем при литье в сырые формы, или прибыли вовсе не нужны.

Различают прибыли: по месту расположения — верхние и боковые; по конфигурации — открытые и закрытые; по способу заливки — проточные, сливные и независимого действия; в зависимости от сил, перемещающих жидкий металл из прибыли в отливку, — гравитационные, атмосферные и газовые*; в зависимости от тепловых условий в форме — обычные, утепленные и подогреваемые; по способу отделения от отливок — отрезаемые и отбиваемые.

При конструировании прибылей надо руководствоваться следующими правилами:

1) прибыли следует присоединять к тепловому узлу отливки; 2) если в отливке имеется несколько тепловых узлов, разделенных тонкими стенками, то у каждого надо устанавливать отдельную прибыль; 3) прибыль должна застывать позже отливки и содержать достаточное количество расплава для питания отливки; 4) для экономии металла прибыль должна иметь минимально возможную поверхность охлаждения; 5) следует стремиться из одной прибыли питать по возможности большее число отливок; 6) конструкция прибыли должна обеспечивать удобство формовки; 7) усадочная раковина в прибыли не должна достигать шейки; 8) шейка, как и прибыль, должна застывать позже отливки; 9) шейка должна быть возможно короткой: чем она короче, тем меньше может быть ее поперечное сечение; 10) сечение шейки должно быть по возможности круглым; это требование не выполнимо, когда боковые прибыли присоединяются к плоским отливкам (в таких случаях толщина шейки принимается равной 0,6—0,8 толщины стенки отливки в месте подвода металла); 11) для облегчения отбивания прибыли шейку надо выполнять с фаской (в верхней части прибыли фаску получают при помощи разделительной пластины); 12) для эффективного действия прибыли необходимо обеспечить принцип направленного затвердевания, и, следовательно, самый горячий металл должен быть в прибыли; для этого прибыли необходимо утеплять и обогревать, металл подводить прямо в прибыль, а отливку охлаждать по мере удаления от прибыли; при медленной заливке в отливку получают большие температурные градиенты, и поэтому, если металл невозможно подвести к прибыли, формы надо заливать как можно быстрее; 13) для передачи на жидкий металл атмосферного давления в верхней части прибыли необходимо предусматривать песчаный болванчик, замедляющий образование корки сверху и обеспечивающий в прибыли открытую усадочную раковину; в открытых прибылях для этого пробивают образующую сверху корку; 14) по окончании заливки большие открытые прибыли следует засыпать древесным углем; в процессе затвердевания отливок в прибыли целесообразно доливать горячий металл; 15) в целях уменьшения прибылей, в особенности при крупном литье из ВЧШГ, следует использовать экзотермические смеси [22] в виде вставок в прибыли или электрическую энергию.

* Для чугунных отливок газовые прибыли распространения не получили.

Прибыли рекомендуется рассчитывать по следующей формуле [27]:

$$\frac{25(4\rho + 1)}{S_{\text{отл}}} = \frac{\rho D_{\text{пр}}}{\varepsilon_{\text{шз}} W_{\text{отл}}} - \frac{1,275}{D_{\text{пр}}^2}, \quad (\text{IV.55})$$

где ρ — отношение высоты прибыли к ее диаметру; $D_{\text{пр}}$ — диаметр прибыли; $S_{\text{отл}}$ и $W_{\text{отл}}$ — соответственно площадь поверхности и объем части отливки, питаемой прибылью (если прибыль одна, то $S_{\text{отл}}$ и $W_{\text{отл}}$ — площадь поверхности и объем всей отливки); $\varepsilon_{\text{шз}}$ — относительная объемная усадка металла в жидком состоянии и при затвердевании, зависящая от состава чугуна и температуры заливки $t_{\text{зал}}$ (табл. IV.47).

Таблица IV.47

Объемная усадка ВЧШГ и СЧ в жидком состоянии и при затвердевании

ВЧШГ		СЧ	
C + 1/8 Si, %	$\varepsilon_{\text{шз}}$	C + 1/8 Si, %	$\varepsilon_{\text{шз}}$
3,70	0,06	3,5	0,03
4,09	0,045	3,86	0,024
4,81	0,02	4,13	0,015

В частности, но весьма распространенном случае, когда $\rho = 1$, формула (IV.55) принимает вид

$$\frac{125}{S_{\text{отл}}} = \frac{D_{\text{пр}}}{\varepsilon_{\text{шз}} W_{\text{отл}}} - \frac{1,275}{D_{\text{пр}}^2}. \quad (\text{IV.56})$$

По этой формуле построены графики для определения размеров прибылей (рис. IV.35) для отливок из следующих чугунов: 1) малоуглеродистого СЧ — 3% С, 1,5% Si, C + 1/3 Si = 3,5% при $t_{\text{зал}} = 1370^\circ \text{C}$; 2) ВЧШГ — 3,7% С, 2,5% Si, C + 1/3 Si = 4,53 при $t_{\text{зал}} = 1400^\circ \text{C}$; 3) мягкого СЧ — 3,5% С, 1,5% Si, C + 1/3 Si = 4% при $t_{\text{зал}} = 1370^\circ \text{C}$.

При заливке мягкого серого чугуна в сухие формы прибыли обычно не требуются; в некоторых случаях применяют выпоры или небольшие прибыли объемом 2—4% от объема отливки. Диаметр шейки прибыли $d_{\text{ш}}$ определяется в зависимости от ее длины $l_{\text{ш}}$, устанавливаемой по технологическим соображениям, и диаметра прибыли $D_{\text{пр}}$:

для боковых прибылей

$$d_{\text{ш}} = 1,2l_{\text{ш}} + 0,1D_{\text{пр}}; \quad (\text{IV.57})$$

для верхних прибылей

$$d_{\text{ш}} = l_{\text{ш}} + 0,2D_{\text{пр}}. \quad (\text{IV.58})$$

При этом надо иметь в виду, что шейки круглого сечения не должны быть длиннее $0,5D_{\text{пр}}$.

При расчете объемов прибылей для отливок из ВЧШГ можно пользоваться также рис. IV.36. Для этого по графику на рис. IV.36, а определяют сначала относительный объем прибыли $K_{\text{пр. отл}}$ для «основной» части отливки, т. е. для той части, на которой установлена прибыль, а затем по графику на рис. IV.36, б — поправочный коэффициент κ на «придаток» к основной части отливки. Объем прибыли определяется по формуле

$$W_{\text{пр}} = K_{\text{пр. отл}} (W_1 + \kappa W_2), \quad (\text{IV.59})$$

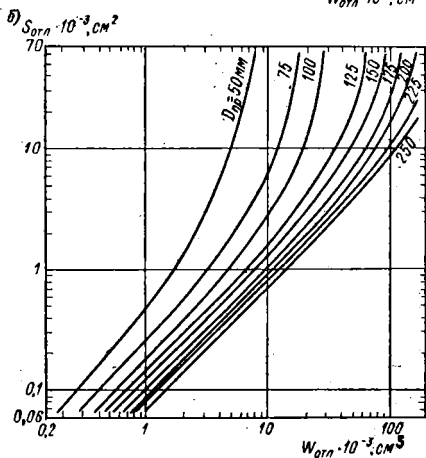
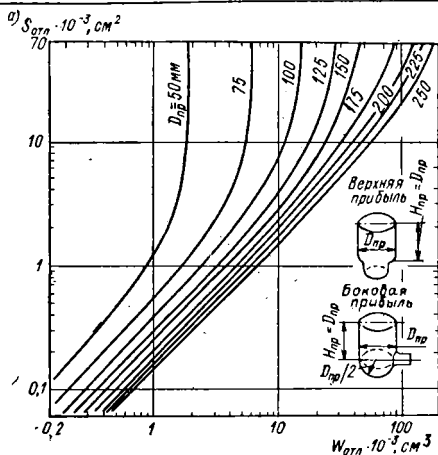


Рис. IV.35. График для определения размеров прибылей [27]: а — для отливок из серого малоуглеродистого и высокопрочного чугуна при заливке в сырые формы; б — для отливок из малоуглеродистого и высокопрочного чугуна при заливке в сухие формы и мягкого серого чугуна, заливаемого в сырые формы

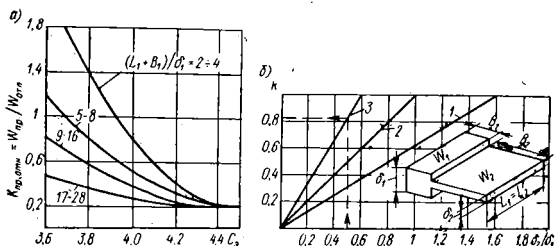


Рис. IV.36. Графики для определения объема прибыли для отливок из высокопрочного чугуна [23]: а — относительный объем прибыли $K_{пр.отн}$ в зависимости от углеродного эквивалента $C_{э}$ и отношения $(L_1 + B_1)/\delta_1$; б — значение поправочного коэффициента κ при разных сочетаниях

1 — плиты с брусом; 2 — брус с брусом или плиты с плитой; 3 — брус с плитой

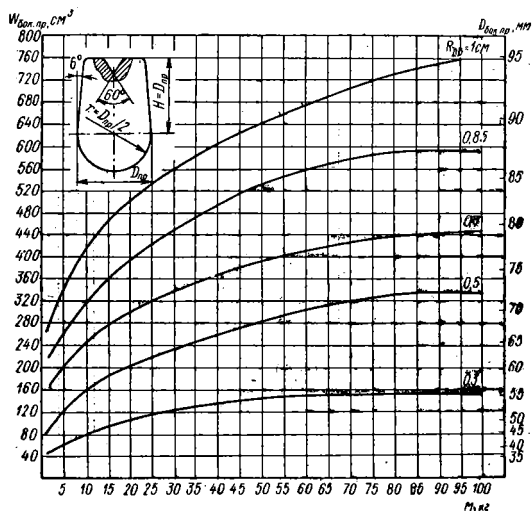


Рис. IV.37. График для определения размеров прибыли отливок из ковкого чугуна [20]

где W_1 — объем основной части отливки, которая соединена непосредственно с прибылью; W_2 — объем придатка.

В случае равностенной отливки поправку определять нет необходимости. Тогда

$$W_{пр} = K_{пр. отл} W_{отл} \quad (IV.60)$$

где $W_{отл}$ — объем отливки.

Для отливок из ковкого чугуна размеры прибыли определяются по суммарной массе отливок M , присоединенных к одной прибыли, и приведенной толщине узла $R_{пр}$ в месте подвода металла (рис. IV.37). На рисунке по левой оси ординат отложены объемы боковой прибыли $W_{бок. пр.}$, по правой — диаметры боковой прибыли $D_{бок. пр.}$. Площадь сечения шейки прибылей для ковкого чугуна приблизительно равна площади сечения круга, вписанного в узел отливки в месте подвода металла (для плоских отливок толщина шейки составляет 0,6—0,8 от толщины стенки отливки).

Правила наладки

В процессе наладки литниковых систем следует руководствоваться следующими правилами.

1. Если в отливке выявляются шлаковые раковины или другие неметаллические включения, необходимо проверить, заполняется ли шлакоуловитель. Для этого над шлакоуловителем устанавливается выпор. В правильно рассчитанной и выполненной системе металл должен подняться в выпоре несколько выше шлакоуловителя (на 15—20 мм). Если этого не происходит, надо увеличить сопротивление питателей или уменьшить их площадь.

2. Если шлакоуловитель заполнен, а неметаллические включения все-таки проникают в форму, надо увеличить его площадь, прежде всего за счет высоты сечения, чтобы снизить скорость потока и уменьшить отношение толщины питателя к высоте шлакоуловителя. Увеличение высоты шлакоуловителя не более чем на 15 мм не требует изменения дросселя.

3. Для борьбы с усадочными раковинами в мелких отливках надо расширить шлакоуловитель, уменьшить длину питателя, увеличить его сечение.

4. Если в процессе наладки увеличивают продолжительность заливки и для этого уменьшают площадь дросселя или для борьбы с усадочными раковинами увеличивают площадь сечения питателей при неизменном дросселе, то в этих случаях надо проверить заполнение шлакоуловителя путем установки выпора (см. пункт 1).

5. Для уменьшения распора формы, а также усилия подъема верхней половины безопочной формы (когда масса груза ограничена) целесообразно поставить выпор (прямой или отводной) на шлакоуловителе.

6. Если в результате плотной набивки формы при выеме моделей двухходовых дросселей (см. рис. IV.26) происходит отрыв земляного болвана, надо проверить радиусы закруглений модели по чертежу и затем систематически опрыскивать модель разделительной жидкостью. Увеличивать формовочный уклон пера дросселя не рекомендуется.

7. Если после отливки прибыли от отливки из белого чугуна в стенке и шейке обнаруживается рыхлость или заметны окисленные дендриты, надо увеличить площадь ее сечения и проверить глубину усадочной раковины в прибыли: в случае, если она достигает шейки, надо увеличить высоту прибыли.

6. ОФОРМЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Разработка технологической документации должна соответствовать требованиям ГОСТ 2.103—68 и ГОСТ 3.1102—74 в отношении графических и текстовых документов которые отдельно или в совокупности определяют технологический процесс (включая контроль и перемещения). В соответствии со стандартами ЕСТД ГОСТ 3.1103—74 устанавливает формы, размеры и порядок заполнения граф основных надписей в технологических документах: для маршрутных карт, карт технологических процессов, карт типовых технологических процессов и ведомостей, технологических инструкций, операционных карт, комплектovac-

ных карт, карт эскизов и ведомостей деталей (сборочных единиц) к типовым технологическим процессам или операциям. Заполнение дополнительных граф должно производиться по ГОСТ 2.104—68. Все технологические документы должны оформляться так, как это установлено стандартами ЕСТД, и заполняться одним из следующих способов: машинописным — шаг письма 2,54 мм по ГОСТ 6913—69; рукописным — высота букв и цифр не менее 2,5 мм, причем цифры и буквы необходимо писать четко, черной тушью; типографским — в соответствии с требованиями, предъявляемыми к изданиям, изготовляемым типографским способом.

Оформление документов для двустороннего светокопирования должно производиться по ГОСТ 2.105—68. Основные термины и определения в области технологической оснастки должны соответствовать ГОСТ 17819—72; в области процессов литейного производства — ГОСТ 18169—72; буквенные обозначения — ГОСТ 3452—59; международная система единиц — ГОСТ 9867—61 [4].

К графическим документам относят карту эскизов (по ГОСТ 2.316—68), которую следует разрабатывать для операций и переходов. При единичном и серийном производстве допускается вместо карты эскизов применять чертежи. Эскиз можно выполнять от руки, без соблюдения масштаба.

Общие требования к выполнению текстовых документов, содержащих, в основном, сплошной текст, сформулированы в ГОСТ 2.105—68, а правила оформления документов общего назначения — в ГОСТ 3.1105—74. Этот ГОСТ устанавливает правила оформления следующих технологических документов общего назначения: маршрутной карты (МК), карты эскизов (КЭ), технологической инструкции (ТИ), комплекточной карты (КК), ведомости расчертовки (ВР), ведомости оснастки (ВО), ведомости материалов (ВМ), ведомости деталей (сборочных единиц) к типовому технологическому процессу или операции (ВТП, ВТО).

При передаче комплекта документов на микрофильмирование или с одного предприятия (организации) на другое обязательным является составление ведомости технологических документов согласно ГОСТ 3.1106—74. Порядок и последовательность записи обозначений деталей и сборочных единиц производят по ГОСТ 2.108—68. Наименования видов технологических документов записывают по ГОСТ 3.1102—74 в последовательности, указанной в маршрутной карте или карте технологического процесса. При этом обязательны для применения в документациях всех видов термины согласно ГОСТ 3.1109—73.

Оформление карт для описания единичного технологического процесса литья и изготовления литейных стержней производится по ГОСТ 3.1401—74, а оформление ведомости операций технического контроля — по ГОСТ 3.1502—74.

При разработке модельно-литейной документации следует оформлять чертежи: элементов литейной формы, отливки, собранной формы, монтажа моделей на модельной плите, типовых и нормализованных элементов модельной оснастки, сложных стержней, вспомогательной оснастки (сложных каркасов, шаблонов, сушильных плит, приспособлений для зачистки, контроля, сборки стержней и т. д.). Чертежи элементов литейной формы выполняют по ГОСТ 2.423—73 и РТМ 1—59. Эти чертежи можно выполнять в двух вариантах: 1) цветными карандашами на светокопии рабочего чертежа с перенесением на все последующие светокопии такими же карандашами или цветной тушью; 2) черным карандашом на светокопии чертежа детали с последующим переводом чертежа детали и элементов литейной формы на кальку для размножения в виде светокопии. При цветном варианте следует применять следующие цвета, выполненные карандашом или тушью: синий цвет — для разрезов формы и модели и положения отливок при заливке для всех технологических элементов, касающихся стержней (кроме каркасов — черный цвет), контуров, знаков и фиксаторов стержней, стержней перемычек и разделительных диафрагм легко отделяемых прибылей, зазоров между знаками стержней и знаками моделей, основного направления набивки стержня, разреза стержневого ящика; красный цвет — для контуров припусков на механическую обработку, технологических припусков и напусков, всех элементов литниковой системы, проб для механических испытаний, усачных ребер и стяжек, неотливаемых отверстий и впадин, прибылей и выпоров; зеленый цвет — для холодильников; черный цвет — для размеров и выносных линий, стрелок, надписей, цифр и букв, отъемных частей моделей.

Оригинал чертежа элементов литейной формы в одноцветном варианте (черным карандашом) выполняется на светокопии чертежа детали с теми же обозначениями и изображениями, что и при цветном варианте, кроме изображений припусков и неотливаемых отверстий, впадин, фасок и т. п., а также остатков питателей, выпоров и прибылей. Он должен содержать только те размеры и данные, которые необходимы для изготовления модельной оснастки и осуществления процесса получения отливки. При разработке этого чертежа решают все основные технологические вопросы производства отливки: определяют положение отливки в форме при изготовлении формы и при ее заливке, тип литниковой системы, места подвода литников к отливке, места расположения прибылей и выпоров, расположение в форме холодильников, способ заливки формы. При литье, изготовляемом по образцу, чертежи модельно-литейной технологии не разрабатываются.

После разработки чертежа элементов литейной формы разрабатывается чертеж отливки, который с техническими требованиями должен содержать все данные, необходимые для контроля и приемки отливки (по ГОСТ 2.423—73). Чертеж собранной формы должен содержать изображение формы с литниковой системой и стержнями в разъеме и разрезах, достаточных для ясного представления о взаимном расположении стержней и элементов литниковой системы, о вентиляции формы и стержней, толщине стенки отливки, способах крепления стержней, наличии холодильников, жеребеек, с указанием номеров стержней в порядке простановки их в форму, номеров холодильников, и иметь размеры, определяющие конструкцию всех элементов формы, а также размеры, проверяемые шаблонами.

ЛИТЬЕ В ПЕСЧАНЫЕ ФОРМЫ

1. ОСНОВНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ФОРМОВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ*

Формовочные пески

Формовочные пески (ГОСТ 2138—74) поставляются в естественном и обогащенном состояниях, причем в зависимости от содержания глинистой составляющей и вредных примесей делятся на классы (табл. V.1), а в зависимости от размера зерен основной фракции — на группы (табл. V.2). Кроме того, в зависимости от величины остатков основной фракции на крайних ситах формовочные пески делятся на категории А и Б. К категории А относятся пески с остатком на крайнем верхнем сите большим, чем на крайнем нижнем, а к категории Б, наоборот, — с остатком на крайнем нижнем сите большим, чем на крайнем верхнем. По форме зерен формовочные пески делятся на округлые, полукруглые и остроугольные.

Необогащенные кварцевые формовочные пески по характеру распределения зерен делятся на пески с сосредоточенной зерновой структурой, у которых преобладающая масса зерен (не менее 70%) остается на трех смежных ситах, и на пески с рассредоточенной зерновой структурой, у которых преобладающая масса зерен на трех ситах составляет не менее 60%. Кварцевые пески с рассредоточенной зерновой структурой делятся, кроме того, на крупные (КРК), средние (КРС), мелкие (КРМ), с общей рассредоточенностью (КРО).

Обогащенные и природные полужирные, жирные и очень жирные формовочные пески должны иметь сосредоточенную зерновую структуру. Влажность обогащенного песка должна быть не выше 4%, но по требованию потребителя для некоторых процессов он может поставляться с влажностью не выше 0,5%.

Формовочные пески не должны иметь посторонних примесей: остатков растительных слоев (перегноя, корней), засорений углем, торфом, известняком и т. д. Технические условия на формовочные пески по ГОСТ 2138—74 предусматривают также для ряда марок σ_c во влажном состоянии до 0,75 кгс/см² (0,75 · 10⁵ Па) и газопроницаемость для категории А до 800, а для категории Б — до 700; однако в большинстве случаев требования по σ_c и газопроницаемости значительно ниже, а для многих марок песков вообще они не обусловлены.

Основной составляющей формовочных песков является кремнезем (SiO_2), имеющий плотность 2,5—2,8 г/см³, твердость по шкале Мооса — 7. При $t = 573^\circ\text{C}$ α -кварц переходит в β -кварц, при $t = 870^\circ\text{C}$ β -кварц переходит в β -тридимит, при $t = 1470^\circ\text{C}$ β -тридимит переходит в β -кристобалит, при $t = 1743^\circ\text{C}$ β -кристобалит переходит в расплав [27]. Увеличение объема, происходящее при этом, приведено ниже.

Превращение	α -кварц → → β -кварц	β -кварц → → β -тридимит	β -тридимит → → β -кристобалит	β -кристобалит → → расплав
Увеличение объема, %	2,4	16,1	4,7	0,1

* Крепители, катализаторы и другие материалы рассматриваются в последующих параграфах данной главы.

Классификация формовочных песков (ГОСТ 2138—74) в зависимости от содержания глинистой составляющей и вредных примесей

Класо	Наименование песка	Массовая доля составляющей, %			
		глинистой	кремнезема	вредных примесей (не более)	
				Окислы щелочно-земельных и щелочных металлов	Окислы железа
O61K O62K O63K	Обогащенный кварцевый	Не более 0,2 » » 0,5 » » 1,0	Не менее 98,5 » » 98,0 » » 97,5	0,40 0,75 1,00	0,20 0,40 0,60
1K 2K 3K 4K	Кварцевый	Не более 2,0 » » 2,0 » » 2,0 » » 2,0	Не менее 97,0 » » 96,0 » » 94,0 » » 90,0	1,20 1,50 2,00 —	0,75 1,00 1,50 —
T	Тощий	Св. 2,0 до 10,0	—	—	—
П	Полужирный	Св. 10,0 до 20,0	—	—	—
Ж	Жирный	Св. 20,0 до 30,0	—	—	—
ОЖ	Очень жирный	Св. 30,0 до 50,0	—	—	—
Примечания: 1. К глинистым составляющим относятся частицы размером менее 0,022 мм. 2. Об — обогащенный.					

В состав песка в виде примесей входит ряд других минералов: полевые шпаты ($\text{MeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$), слюда [мусковит — $\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ или биотит — $\text{K}_2\text{O} \cdot 6(\text{Mg}, \text{Fe})\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$], окислы железа (гематит Fe_2O_3 , магнитный железняк $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ или ильменит $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$), кальцит (CaCO_3), магнезит (MgCO_3), доломит ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), сидерит (FeCO_3), каолинит ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) и др. [27]. Насыпная масса сухого кварцевого песка составляет 1,3—1,6 г/см³; коэффициент теплопроводности его при 20°С равен 0,25—0,35 ккал/(м·ч·°С) [0,3—0,4 Вт/(м·К)].

В качестве других огнеупорных наполнителей формовочных смесей применяются также шамот и оливинит, обладающие более высокой огнеупорностью и меньшей склонностью к взаимодействию с окислами железа, чем пески. Однако вследствие высокой стоимости они применяются преимущественно в облицовочных смесях и при производстве крупного литья. Шамот, состоящий примерно из 40% Al_2O_3 и 60% SiO_2 , представляет собой обожженную огнеупорную глину и имеет огнеупорность 1670—1750°С; при этом чаще всего применяют шамот, дробленный (до размера 2—4 мм) из отходов шамотного кирпича. Оливинит

**Классификация формовочных песков в зависимости от размера зерен
основной фракции (ГОСТ 2138—74)**

Группа	Наименование песка	Номера смежных сит, на которых остаются зерна основной фракции
063	Грубый	1; 063; 04
04	Очень крупный	063; 04; 0315
0315	Крупный	04; 0315; 02
02	Средний	0315; 02; 016
016	Мелкий	02; 016; 01
01	Очень мелкий	016; 01; 0063
0063	Тонкий	01; 0063; 005
005	Пылевидный	0063; 005; Тазик

Примечания:

1. Размер зерна определяется размером сторон ячейки сита, на котором остается зерно после прохождения его через предшествующее сито.

2. Основной фракцией песка считается наибольшая сумма остатков на трех смежных ситах.

3. Группа песка обозначается номером среднего сита основной фракции.

4. Обозначение марки песка состоит из обозначения класса, группы и в отдельных случаях категории. Например, песок с сосредоточенной зерновой структурой, кварцевый, 2-го класса, категории А будет иметь обозначение 2К063А, а песок с рассредоточенной зерновой структурой, кварцевый, 1-го класса, средний, категории А — 1КРСА.

представляет собой изоморфную смесь фостерита и ортосиликата магния (Mg_2SiO_4). Огнеупорность оливинита находится в пределах 1750—1830° С. По стоимости он занимает среднее положение между цирконовыми и кварцевыми песками.

Параметры физико-химических свойств, которые проверяются в формовочных песках, и способы их определения установлены ГОСТ 2138—74 и ГОСТ 2189—62.

Свойства формовочных песков, их значение и способы определения представлены в табл. V.3.

Формовочные глины

Формовочные глины являются минеральным связующим * в формовочных и стержневых смесях; их классификация и предъявляемые к ним требования установлены ГОСТ 3226—65 (табл. V.4—V.9). В состав глин входят следующие минералы [27].

Каолинит ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) — водный алюмосиликат, имеющий $\gamma = 2,58 \div 2,60$ г/см³ и $t_{пл} = 1750 \div 1787^\circ$ С. При нагревании каолинит претерпевает превращения: при 100—140° С удаляется гигроскопическая вода, при 400—700° С теряется конституционная вода и наблюдается эндотермический эффект — каолинит переходит в метакаолинит ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$), и глина теряет связующую способность. При температуре 900—1050° С метакаолинит распадается на аморфные Al_2O_3 и SiO_2 с экзотермическим эффектом. При температуре 1200—1280° С из глинозема и кремнезема образуется муллит $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ с эндотермическим эффектом.

* Кроме глин, для смесей применяется еще ряд связующих, природа и состав которых зависят от метода изготовления форм и стержней; их состав и свойства поэтому приводятся ниже при изложении соответствующих способов формовки.

**Свойства формовочных песков, их значение
и способы определения**

Свойства и способы их определения	Значение свойств песка и их влияние на качество формовочных и стержневых смесей
Влажность. Определяется взвешиванием высушенной при температуре 105—110° С до постоянной массы навески смеси (50 г). Высушивание производится в сушильном шкафу, а при ускоренном методе — под лучами нагревательной лампы или продувкой нагретым воздухом Содержание глинистых составляющих. Определяется потерей массы путем отмучивания: нормальным методом — на приборе для взбалтывания, ускоренным — на приборе для отмывки в проточной воде. К предварительно высушенной навеске песка массой $50 \pm 0,01$ г добавляют 475 мл воды и 25 мл водного раствора NaOH (10 г на 1000 мл дистиллированной воды), взбалтывают в течение 1 ч и добавляют воду до метки 150 мм. Затем осадок энергично взмучивают палочкой, дают отстояться в течение 10 мин и после этого сливают сифоном до уровня 12—13 мм от верхней кромки осадка. Процесс повторяют до тех пор, пока вода не будет совершенно прозрачной. Получившийся остаток высушивают до постоянной массы при температуре 105—110° С. Потеря массы показывает содержание глинистой составляющей в песке	Большая влажность песка повышает трудоемкость догрузочных работ при минусовых температурах, усложняет транспортирование и дозирование песка. Для стержневых смесей, особенно на синтетических связующих, влажность песка должна быть минимальной (0,3—0,5%) По содержанию глинистой составляющей определяют класс песка. Увеличение ее повышает прочностные характеристики песка, снижает его газопроницаемость и огнеупорность. Для приготовления стержневых смесей, особенно на синтетических связующих, содержание глинистой составляющей должно быть минимальным (0,1—0,5%). Для приготовления формовочных смесей, где в качестве связующего используются бентонитовые глины, содержание глинистой составляющей в песке также ограничивается, но в пределах 1—2%
Зерновой состав определяется рассевом обезглиненной навески песка в течение 15 мин на приборе вращательно-встряхивающего или вибрационного действия с набором стандартных сит (ГОСТ 3584—73). Зерна, оставшиеся в преобладающем количестве на трех смежных ситах, характеризуют величину основной фракции	Характеризует марку песка и определяет его назначение. С увеличением крупности песка снижается его удельная поверхность и повышается газопроницаемость. Применение марок песка определяется размером и толщиной стенки отливки: для крупного литья применяется марка 0315, среднего — марка 02 и мелкого — марки 016 и 01
Номер сита . . . 2,5 1,6 1 063 04 0315 02 016 01 0063 005 Размер ячеек, мм 2,5 1,6 1,0 0,63 0,4 0,315 0,2 0,16 0,1 0,063 0,05	

Свойства и способы их определения	Значение свойств песка и их влияние на качество формовочных и стержневых смесей
Форма зерен (округлая, полуокруглая, остроугольная). Определяется под микроскопом или бинокулярной лупой в проходящем свете при 15-кратном увеличении и устанавливается по наибольшему количеству зерен, принадлежащих к одному и тому же виду Газопроницаемость. Определяется путем пропускания воздуха через стандартный образец при естественной или при оптимальной влажности и вычисляется по формуле: $G_p = (Wh)/(Spt)$, где W — объем воздуха, прошедшего через образец, см³; h — высота образца, см; S — площадь поперечного сечения образца, см²; p — давление воздуха перед образцом, гс/см²; t — время прохода сквозь образец воздуха объемом W, мин, или определяется по таблицам. Образец диаметром $50 \pm 0,2$ мм и высотой $50 \pm 0,8$ мм изготовляют в неразъемной гильзе тоекратным ударом груза массой $6,35 \pm 0,015$ кг, падающего с высоты $50 \pm 0,25$ мм. Газопроницаемость сырого образца определяют в неразъемной гильзе на специальном приборе Предел прочности на сжатие в сыром состоянии [σ_0, кгс/см² (10^5 Па)]. Определяется на образцах, изготавливаемых, как и при испытании на газопроницаемость, в неразъемной гильзе. Образец разрушают со скоростью приложения нагрузки не более 1,5 кгс/см² в минуту. σ_0 определяют при естественной и оптимальной влажности Концентрация водородных ионов (рН) песка. Определяется на любом приборе с точностью $\pm 0,3$ ед. Навеску песка 15—20 г помещают в стаканчик и приливают 60—80 мл дистиллированной воды. После взбалтывания в течение 5 мин и отстаивания в течение 10 мин в стаканчик с раствором опускают электроды прибора и определяют рН по инструкции, прилагаемой к прибору	Влияет на удельную поверхность песка и на уплотняемость смесей (уплотняемость смеси из песка с округлой формой выше, чем из песка, имеющего остроугольную форму зерен) Газопроницаемость песков тем больше, чем крупнее зерно и чем ниже содержание глинистой составляющей. Пески с рассредоточенной зерновой структурой и округлой формой зерен имеют при прочих равных условиях меньшую газопроницаемость, чем пески с сосредоточенной зерновой структурой и остроугольной формой зерен. Газопроницаемость формовочных песков определяет газопроницаемость форм и стержней. Низкая газопроницаемость форм и особенно стержней является причиной брака литья по вскипу и газовым раковинам Значение σ_0 определяют только у песков классов П, Ж и ОЖ. Эти пески используются в качестве освежающей добавки к формовочным смесям взамен добавки глины. Величина σ_0 зависит от количества глинистой составляющей и минералогического состава песка. Для указанных классов песков высокий предел прочности желателен Влияет на взаимодействие формовочных и стержневых смесей с жидким металлом и образование пригара. Особенно большое влияние рН песка оказывает на процесс изготовления форм и стержней, отверждаемых в оснастке. Так, при изготовлении стержней в горячих ящиках низкая величина рН песка приводит к резкому снижению общей и поверхностной прочности стержней, т. е. к осыпавости и снижению живучести смеси. Поэтому нужен подбор смолы, катализатора и песка, обеспечивающих нужное значение рН

Свойства и способы их определения	Значение свойств песка и их влияние на качество формовочных и стержневых смесей
Огнеупорность (ГОСТ 4069—69). Определяется сравнением температуры падения пироскопов, изготовляемых из испытуемого и стандартных материалов, или оплавлением зерен песка от разогретой электрическим током платиновой пластинки на синтерометре Дитерта. Огнеупорность песка определяется температурой пластинки, при которой начинается оплавление и прилипание песка к пластинке Минералогический состав песков. Определяется отдельно для песчаной основы и для глинистой составляющей. Тяжелые и легкие минералы песчаной основы исследуют отдельно под микроскопом (ГОСТ 3594—62). Минералогический состав глинистой составляющей определяют оптическим, термическим или рентгенографическим методом (ГОСТ 3594—62) Химический состав. Определяет содержание в песке SiO_2, Al_2O_3, CaO, Fe_2O_3, CaCO_3, MgCO_3 и других составляющих. Анализ производится по ГОСТ 2642.1—71 (сульфидная сера — по ГОСТ 2138—74). Обычно к химическому анализу относят и испытания на потерю массы при прокаливании. При ускоренном методе наличие в песке карбонатов определяют по интенсивности выделения пузырьков при воздействии на смоченную дистиллированной водой навеску песка соляной кислотой	Является одной из важных характеристик формовочных песков, так как влияет на качество поверхности отливок, на выбиваемость форм и стержней и ряд других показателей. Огнеупорность формовочных песков зависит от их минералогического состава и наличия примесей. Так, примеси в виде плавней, щелочных и щелочноземельных окислов снижают огнеупорность песков Позволяет определять качество формовочного песка и дает возможность установить количество примесей и их природу, которые определяют огнеупорность песков и их инертность или активность к химическим реакциям при высоких температурах По содержанию SiO_2 определяют класс песка и его огнеупорность. Остальные составляющие, как правило, имеют $t_{\text{пл}}$ ниже, чем кремнезем, и увеличение их содержания в песке снижает его огнеупорность. Карбонаты, кроме снижения огнеупорности, способствуют образованию различных дефектов в отливках, так как они при нагревании до $t = 500 \div 900^\circ \text{C}$ разлагаются с выделением газообразных продуктов

Таблица V.4

Классификация глины по минералогическому составу

Обозначение глины	Наименование глины	Основной породообразующий минерал
К Г М	Каолинитовая Гидрослюдистая Монтмориллонитовая (бен-тонитовая)	Из группы каолинита » » гидрослюд » » монтморилло- нита
П	Полиминеральные и прочие мономинеральные глины	Основной породообразующий минерал не выявляется или при выявлении не относится ни к одному из трех видов

**Классификация глин по пределу прочности σ_c стандартных образцов
во влажном и высушенном состояниях**

Наименование глины	Сорт глины	σ_c во влажном состоянии, кгс/см ² (10 ⁵ Па)	Класс глины	σ_c в высушен- ном состоянии, кгс/см ² (10 ⁵ Па)
Прочносвязующая	I	>1,10	1	>5,5
Среднесвязующая	II	0,80—1,10	2	3,5—5,5
Малосвязующая	III	0,50—0,79	3	<3,5
П р и м е ч а н и е. Монтмориллонитовые (бентонитовые) глины должны иметь σ_c во влажном состоянии не менее 0,9 кгс/см² (0,9 · 10⁵ Па) и в высушенном состоянии не менее 3,5 кгс/см² (3,5 · 10⁵ Па).				

Монтмориллонит ($Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot nH_2O$) имеет $t_{пл} = 1250 \div 1300^\circ C$. При нагревании до $100\text{--}150^\circ C$ из него удаляется гигроскопическая, а также межслойная (nH_2O) вода; при $500\text{--}700^\circ C$ теряется конституционная вода, а при $600^\circ C$ он теряет способность набухать в воде. При температуре $735\text{--}900^\circ C$ происходит разрушение кристаллической решетки, и монтмориллонит превращается в аморфное вещество.

Свойства формовочных глин, их значение и методы определения в соответствии с ГОСТ 3594—62 приведены в табл. V.10. Кроме стандартных испытаний, глины подвергаются иногда испытанию на долговечность, определению мокрой прочности и испытанию на водопоглощение. Под *долговечностью* понимается потеря связующей способности глины, входящей в состав формовочной смеси, при многократном использовании последней в цикле производства. От этого показателя зависит количество вводимой глины при каждом цикле освежения формовочной смеси. Для испытания готовится смесь того же состава, что и при определении предела прочности на сжатие σ_c . Из этой смеси изготавливают восемь стандартных образцов, два из которых разрушают при испытании на сжатие, а шесть прокаливают в муфельной печи при температуре $500^\circ C$ в течение 1 ч. Прокаленные образцы переносят в лабораторные бегуны, где измельчают, увлажняют до оптимальной влажности, и из полученной смеси снова изготавливают серию образцов, один (или два) из которых подвергают испытанию на сжатие, а остальные прокаливают по указанному режиму. Цикл прокаливания и испытания на σ_c выполняют три раза. Для большинства глин после каждого цикла прокаливания σ_c смеси уменьшается. За показатель долговечности принимается относительное снижение σ_c во влажном состоянии после трехкратного прокаливания формовочной смеси при температуре $500^\circ C$.

Мокрая прочность характеризует прочность смеси в зоне конденсации воды при заливке металла в форму и затвердевании отливок. Величина ее влияет на образование дефектов на поверхности отливок (ужимин, засоров и т. п.) и на образование «подутий» (из-за деформации стенок формы); определяется она на специальном приборе (например, конструкции ЗИЛ) по специальной методике и имеет размерность гс/см².

Водопоглощение характеризует переход глины в жидкоподвижное состояние при добавлении воды. Этим испытаниям подвергаются глины, которые вводятся в формовочную смесь в виде глино-водной суспензии. Чем выше водопоглощение, тем меньшее количество глины (в пересчете на сухую) можно ввести в формовочную смесь без опасения закупоривания трубопроводов подачи суспензии. Для определения водопоглощения навеску воздушно-сухой глины массой 5 г помещают в стакан емкостью 100 см³ и малыми дозами добавляют к ней воду при

Классификация глин по сумме обменных оснований

Группы глин с суммой обменных оснований	Сумма обменных оснований, мг·экв на 100 г сухой глины
Высокой	>50
Средней	20—50
Низкой	<20
Примечание. Монтмориллонитовые глины должны иметь сумму обменных оснований больше 50 мг·экв на 100 г сухой глины. При преобладании в обменном комплексе Na^+ и K^+ монтмориллонитовые глины называются натриевыми, а при преобладании Ca^{++} и Mg^{++} — кальциевыми.	

Таблица V.7

Классификация глин по термохимической устойчивости

Обозначение группы глин	Группы глин с термохимической устойчивостью	Массовая доля примесей, %			
		Сульфидная сера	Fe_2O_3	$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	$\text{CaO} + \text{MgO}$
T_1	Высокой	<0,2	<2,5	<1,5	<2
T_2	Средней	<0,2	2,5—4,5	1,5—3,0	<3
T_3	Низкой	<0,2	Не нормируется		<10

Таблица V.8

Классификация глин по пластичности (см. табл. V.10)

Группы глины	Число пластичности
Высокопластичные	>30
Среднепластичные	20—30
Умереннопластичные	10—20
Малопластичные	<10

Таблица V.9

Технические требования к глинам

Марка глины	σ_c , кгс/см ² (10 ⁵ Па)		Массовая доля составляющих, %			
	во влажном состоянии	в высушенном состоянии	Сульфидная сера	Fe_2O_3	$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	$\text{CaO} + \text{MgO}$
1/1 T_1 1/1 T_2 1/1 T_3	>1,10	>5,5	<0,2	<2,5 2,5—4,5 Не нормируется	<1,5 1,5—3,0	<2,0 <3,0 <10,0

Марка глины	σ_c , кгс/см ² (10 ⁸ Па)		Массовая доля составляющих, %			
	во влаж- ном состоянии	в высу- шенном состоянии	Сульфид- ная сера	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O+K ₂ O	CaO+MgO
I/2 T ₁ I/2 T ₂ I/2 T ₃	>1,10	3,5—5,5	≤0,2	≤2,5 2,5—4,5 Не нормируется	≤1,5 1,5—3,0	≤2,0 ≤3,0 ≤10,0
I/3 T ₁ I/3 T ₂ I/3 T ₃	>1,10	2,0—3,5	≤0,2	≤2,5 2,5—4,5 Не нормируется	≤1,5 1,5—3,0	≤2,0 ≤3,0 ≤10,0
II/1 T ₁ II/1 T ₂ II/1 T ₃	0,79—1,10	>5,5	≤0,2	≤2,5 2,5—4,5 Не нормируется	≤1,5 1,5—3,0	≤2,0 ≤3,0 ≤10,0
II/2 T ₁ II/2 T ₂ II/2 T ₃	0,79—1,10	3,5—5,5	≤0,2	≤2,5 2,5—4,5 Не нормируется	≤1,5 1,5—3,0	≤2,0 ≤3,0 ≤10,0
II/3 T ₁ II/3 T ₂ II/3 T ₃	0,79—1,10	2,0—3,5	≤0,2	≤2,5 2,5—4,5 Не нормируется	≤1,5 1,5—3,0	≤2,0 ≤3,0 ≤10,0
III/2 T ₁ III/2 T ₂ III/2 T ₃	0,50—0,80	3,5—5,5	≤0,2	≤2,5 2,5—4,5 Не нормируется	≤1,5 1,5—3,0	≤2,0 ≤3,0 ≤10,0
III/3 T ₁ III/3 T ₂ III/3 T ₃	0,50—0,80	2,0—3,5	≤0,2	≤2,5 2,5—4,5 Не нормируется	≤1,5 1,5—3,0	≤2,0 ≤3,0 ≤10,0

Примечание.

Сорт глины обозначается по σ_c во влажном состоянии, класс глины — по σ_c в высушенном состоянии, вид глины — по минералогическому составу, группа глины — по термохимической устойчивости. Пример условного обозначения каолиновой формовочной глины III сорта, среднесвязующей в высушенном состоянии со средней термохимической устойчивостью: K III/2 T₄.

Свойства формовочных глин, их значение и методы определения

Свойства и способы их определения	Значение свойств глины и их влияние на качество формовочных и стержневых смесей
Влажность. Определяется взвешиванием высушенной в сушильном шкафу при температуре 105—110° С до постоянной массы навески, масса которой во влажном состоянии была равна $20 \pm 0,01$ г	Для глин, поставляемых в порошкообразном виде, влажность устанавливается в пределах 6—12%. Большая влажность приводит к комкованию глины и затрудняет ее подачу и дозирование. Очень низкая влажность сопряжена с техническими трудностями при сушке перед размолом. Если влажность порошкообразной глины ниже 6%, то ее связующая способность и долговечность понижаются вследствие пережога при сушке (потеря кристаллизационной воды и распад кристаллической решетки)
Связующая способность. Определяется по σ_c образцов во влажном и высушенном состояниях. Образцы во влажном состоянии готовятся из смеси, состоящей из 1800 г сухого песка марки КО2А или КО2Б, 200 г воздушно-сухой и размолотой глины и воды — до оптимальной влажности. Перемешивание сухих составляющих производится в течение 2 мин и еще в течение 8 мин после добавления воды. Для определения σ_c в высушенном состоянии смесь содержит: 1900 г песка КО2А или КО2Б, 100 г сухой глины и воду — до оптимальной влажности. Сушка образцов производится при $t = 150 \div 200^\circ \text{C}$ в течение 1,5 ч	Связующая способность — важнейшее свойство, характеризующее качество глин. С ее повышением уменьшается количество глины, вводимой в состав формовочной смеси, повышаются газопроницаемость и огнеупорность смеси и в большинстве случаев снижается влажность, что уменьшает ее прилипаемость и улучшает формуемость. Однако при изготовлении форм по-сырому глина должна обладать умеренной прочностью в сухом состоянии, так как в противном случае затрудняются выбивка и подготовка отработанной смеси
Пластичность. Определяется по ГОСТ 5499—59 как разность между значениями влажности, соответствующими нижней границе текучести и пределу раскатывания	Пластичные глины в составах формовочных смесей обеспечивают четкий отпечаток модели и уменьшают осыпаемость форм
Зерновой состав. Определяется методом отмучивания для глинистой составляющей и рассеивом на стандартных ситах для песчаной составляющей. Кроме того, проверяется дисперсность глинистой составляющей (устанавливают содержание частиц размером от 0,005 до 0,001 мм и менее 0,001 мм). Метод основан на скорости погружения частиц в воде в зависимости от их размера и температуры воды. Определение производится путем отбора проб из водно-глинистой суспензии через определенные промежутки времени в соответствии с табличными данными	Зерновой состав глин разнообразен, так как они содержат свыше 50% глинистой составляющей (частиц размером менее 0,022 мм) и до 50% песчаной составляющей (частиц размером более 0,022 мм). Он влияет на связующую способность глин, пластичность и другие свойства. Технические требования по зерновому составу устанавливаются в зависимости от вида глины, назначения и условий применения

Свойства и способы их определения	Значение свойств глины и их влияние на качество формовочных и стержневых смесей
Коллоидальность. Определяется отношением (%) высоты осадка к общей высоте водно-глинистой суспензии после отстаивания ее в течение 24 ч. Для испытания в пробирку высотой около 150 мм насыпают 1 г воздушно-сухой и размолотой глины и доливают 15 мл дистиллированной воды. После этого содержимое тщательно взбалтывают и добавляют 0,1 г MgO, снова взбалтывают в течение 1 мин и оставляют в покое на 24 ч, после чего замеряют высоту осадка. Состав обменных катионов. Определяется по ГОСТ 3594—62 специальными методами химического анализа и выражается в мг-экв на 100 г глины. К числу обменных катионов относятся K^+, Na^+, Mg^{++}, Ca^{++}. Минералогический состав. Определяется так же, как для песка. При этом дифференциальный термический анализ заключается в сравнении дифференциальной термической кривой испытуемой глины с термическими кривыми для изученных чистых минералов, причем по наличию экзотермических или эндотермических реакций приближенно устанавливают минералогический состав глины. Набухаемость. Определяется отношением поглощенной влаги к первоначальной массе глины. Испытание производится на специальном приборе, устроенном по принципу сообщающихся сосудов. Концентрация водородных ионов (рН) в глине. Определяется так же, как в песке, только для испытания берут навеску массой 8—10 г и в стаканчик приливают 80—100 мл дистиллированной воды.	Характеризует глины с точки зрения образования устойчивой водно-глинистой суспензии. Влияет на распределение глинистой составляющей в формовочной смеси и этим оказывает влияние на прочность и пластичность формовочных смесей. Чем выше сумма обменных катионов в глине, тем выше ее качество. При обмене одних катионов на другие меняются свойства глины. Например, при обработке кальциевого бентонита содой происходит замещение катионов Ca^{++} катионами Na^+, и бентонит из кальциевого становится натриевым. Основными минералами являются: каолинит, гидрослюды и монтмориллонит, которые определяют вид глины и ее назначение. Лучшими глинами считаются монтмориллонитовые (бентонитовые). Они обеспечивают высокую связующую способность, пластичность и долговечность формовочных смесей. Менее качественными являются гидрослюдистые глины. Характеризует способность глины поглощать влагу. Зависит от строения кристаллической решетки глины и количества примесей. По набухаемости можно ориентировочно определять вид глины. Набухаемость оказывает некоторое влияние на изменение размеров отпечатка форм, изготовляемых по-сухому, и на характеристики водно-глинистых суспензий. Влияние рН глины подобно ее влиянию в песке. Наблюдается, что с повышением рН прочность формовочной смеси в горячем состоянии возрастает. Простейший анализ по определению рН глины позволяет очень быстро устанавливать, из какого места разработки получена данная партия глины.

Свойства и способы их определения	Значение свойств глины и их влияние на качество формовочных и стержневых смесей
Огнеупорность. Определяется так же, как для песка. Для испытания на синтерометре Дитерта готовят стандартные образцы, состоящие из 50% песка и 50% испытуемой глины при оптимальной влажности. Уплотнение образцов производится 30 ударами груза копра (по 15 с каждого торца). Перед испытанием образцы высушиваются при медленном подъеме температуры до 110°С. Химический состав глин. Анализ производится по ГОСТ 2642—60. При этом определяются содержание в них SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO, MgO, Na_2O, K_2O, SO_3, CO_2, серы сульфатной и потерю при прокаливании	Огнеупорность формовочных глин, так же как и песка, зависит от наличия в ней примесей легкоплавких окислов. Она оказывает большое влияние на образование пригара на поверхности отливок и долговечность формовочных смесей (потерю прочности в сыром состоянии после многократного применения) Химический состав дает некоторое представление о качестве глины: связующей способности, огнеупорности и других показателях

Таблица V.11

Рекомендации по применению формовочных глин

Преобладающая толщина стенки отливки из чугуна, мм	Вид формовки	Марка глины
10—50 >50 >80	По-сырому » По-сухому	$I \div III / 1 \div 3 T_1$ $I \div III / 1 \div 3 (T_1 + T_2)$ $I \div III / 1 \div 2 (T_1 + T_2)$

постоянном перемешивании стеклянной палочкой содержимого стакана. Добавление воды прекращается, когда смесь без сгустков и комочков переходит в жидкоподвижное состояние. За величину водопоглощения принимается отношение количества израсходованной воды к количеству глины, и выражается она в виде соотношения 1 : 2, 1 : 3 и т. д.

Выбор глины как связующего материала для изготовления форм и стержней обуславливается техническими и экономическими соображениями. В техническом отношении можно руководствоваться следующими соображениями при выборе глин.

Для формовочной смеси при изготовлении форм по-сырому в индивидуальном и мелкосерийном производстве, где преобладает ручная формовка, применяются глины вида П и Г. Применение глин вида К и М из-за склонности к быстрому обсыханию острых кромок форм затруднено. В массовом производстве, где применяются автоматические формовочные линии с коротким циклом изготовления форм, в формовочной смеси используются глины вида М и реже К, обладающие высокой связующей способностью. Для изготовления стержней и форм по-сухому применяются глины, обладающие меньшей набухаемостью. При введении глины в состав формовочной смеси в виде глино-водной суспензии желательно, чтобы она обладала минимальным водопоглощением.

Из монтмориллонитовых глин применяются кальциевые и кальцийнатриевые бентониты, так как смеси при этом быстрее, чем на натриевых, приобретают

конечное значение σ_c при перемешивании в бегунах, причем формы из этих смесей легче разрушаются при выбивке отливок. Смесей на натриевых бентонитах обладают более высокой мокрой прочностью и долговечностью, но трудно выбиваются из опок. Поэтому чисто натриевые бентониты применяются редко и то только при производстве крупного литья, тем более, что они меньше распространены в природе, чем кальциевые. При необходимости кальциевые бентониты активируются содой. В процессе обработки содой катионы Ca^{++} замещаются катионами Na^+ , и бентонит приобретает свойства натриевого.

Рекомендации по применению формовочных глин, данные в приложении к ГОСТ 3226—65, приведены в табл. V.11.

При этом выбор глины производится из условий образования на отливках наименьшего химического пригара в зависимости от содержания в глин Fe_2O_3 и $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$; допустимое количество Na_2O , пересчитанное на состав смеси, должно быть не более 0,5%; количество CaO и MgO , входящих в состав глин, не регламентируется.

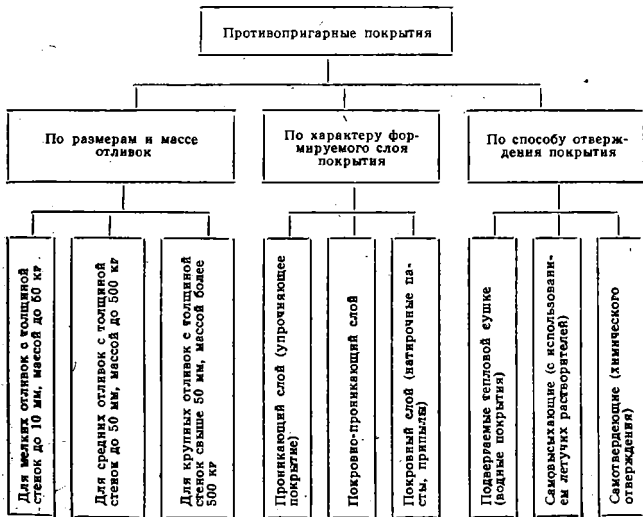
Вспомогательные материалы

В качестве вспомогательных материалов применяются противопопригарные покрытия, пасты, припылы, литейные клеи, замазки, прокладочные жгуты и др.

Покрытия противопопригарные обычно представляют собой грубодисперсные системы, содержащие огнеупорный наполнитель, связующее, суспензирующий материал, растворитель и материалы вспомогательного назначения (поверхностно-активные вещества, диспергаторы, антисептические добавки и т. д.). Отверждение покрытий осуществляется при тепловой сушке (водных покрытий),

Схема V.1

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОТИВОПРИГАРНЫХ ПОКРЫТИЙ



**Свойства противопопригарных покрытий,
их эффективность и способы определения [13, 21]**

Свойства и способы их определения	Влияние свойств на качество противопопригарного покрытия
Основные свойства, контролируемые при входном контроле Плотность (γ, г/см³). Определяется взвешиванием цилиндра известной массы с градуировкой 1—10 мл, заполненного до отметки 10 мл суспензией контролируемого покрытия, и вычисляется по формуле $\gamma = (m - m_0)/10$, где m и m_0 — масса соответственно заполненного и пустого цилиндров, г. Приблизительно это свойство можно оценивать денсиметром при температуре 20° С. При определении γ недопустимо наличие пены в объеме контролируемого покрытия Вязкость условная (η, с). Определяется при температуре 20° С вискозиметром ВЗ-4, который при закрытом отверстии сопла заполняют суспензией контролируемого покрытия до верхнего уровня воронки. Время полного истечения суспензии через открытое сопло, фиксируемое секундомером, является технологической мерой вязкости Седиментационная устойчивость (С, %). Определяется в мерном цилиндре с градуировкой 0—250 мл. Цилиндр заполняют суспензией контролируемого покрытия и через 3 ч делают замер верхнего осветленного слоя, после чего производят вычисления по формуле $C = (V_1 - V_2) 100/V_1$, где V_1 и V_2 — соответственно объемы залитой в цилиндр суспензии и верхнего осветленного слоя	
	Плотность суспензии покрытия косвенно характеризует объемную концентрацию огнеупорного наполнителя, т. е. степень разбавленности суспензии. С увеличением плотности повышаются вязкость и седиментационная устойчивость суспензий, увеличивается толщина слоя покрытия, ухудшается кроющая способность. Наименьшее значение плотности определяется способностью покрытия образовывать на поверхности формы или стержня сплошной слой минимальной толщины; максимальное ее значение соответствует покрытию с консистенцией пасты. Величина γ зависит от плотности огнеупорного наполнителя, плотности жидкой фазы покрытия и их соотношения в составе покрытия Вязкость возрастает с увеличением плотности покрытия. При неизменной плотности вязкость зависит от дисперсности огнеупорного наполнителя и молекулярной природы связующего, суспензирующего и других материалов, входящих в состав жидкой фазы покрытий. С увеличением тонкости помола огнеупорного наполнителя вязкость увеличивается. Чем она выше, тем выше седиментационная устойчивость суспензий и хуже кроющая способность покрытия Под седиментационной устойчивостью подразумевается скорость расслоения твердой и жидкой составляющих покрытий. Она зависит от размера, формы зерен и удельной массы огнеупорного наполнителя, γ и η жидкой фазы, физико-химических процессов на границе раздела твердой и жидкой фаз. Для повышения этого свойства в составы покрытий обычно вводят суспензирующие материалы, набухающие в используемом растворителе. Устойчивые суспензии технологичны и при нанесении образуют качественное покрытие

Свойства и способы их определения	Влияние свойств на качество противопригарного покрытия
Кроющая способность. Определяет равномерность распределения покрытия на поверхности формы или стержня, толщину образующегося слоя, глубину пропитки покрытия в поры. Свойство это определяется визуально Прочность покрытия против истирания (R, кг/мм). Для ее определения песок (IK02A или IK02B определенной фракции) сыпают через вискозиметр ВЗ-4 на стеклянную пластину с нанесенным и отвержденным покрытием до тех пор, пока в месте удара песка оно не сотрется до стекла. Количество песка, пошедшее на истирание, взвешивают и делают вычисления по формуле $R = m/s$, где m — масса песка, пошедшего на истирание, кг; s — толщина покрытия, мм. Стеклянная пластина устанавливается под углом 45° так, чтобы ее участок, подвергающийся истиранию, находился на расстоянии 70 мм от выходного отверстия вискозиметра. Применяемый песок отмучивают, высушивают, просеивают через сито № 063 и № 0315. Используется песок, оставшийся на последнем сите	С увеличением γ и η, со снижением седиментационной устойчивости кроющая способность покрытий ухудшается, а при их оптимальных значениях она зависит от свойств формовочной смеси. Чем лучше смачиваемость материала формы жидкой фазой покрытия, тем лучше кроющая способность. С увеличением пористости формы или стержня и степени дисперсности огнеупорного наполнителя увеличивается глубина пропитки. Значительное влияние на кроющую способность оказывают разделительные покрытия, наносимые на модельную оснастку. Так, гидрофобные разделительные покрытия ухудшают кроющую способность водных покрытий Прочность покрытия при низких температурах характеризует стойкость отвержденного противопригарного слоя против эрозионных воздействий в процессе кантовки и сборки форм или стержней. Наилучшая связь покрытия с формовочной смесью создается при хорошей смачиваемости поверхности формы или стержней. Невысокая прочность приводит к разрушению сплошности покрытия и образованию дефектов на поверхности отливки.

Свойства и способы их определения	Влияние свойств на качество противопригарного покрытия
Прочие свойства <i>Поверхностное упрочнение формы или стержня упрочняющими покрытиями.</i> Определяется на приборе 056 по методике контроля осыпаемости формовочных смесей <i>Гигроскопичность (Г, %).</i> Оценивается по увеличению влажности при выдержке во времени отвержденного слоя покрытия. Для этого покрытие высушивают в фарфоровой чашке, растирают в порошок и доводят до постоянной массы при температуре 105—110° С. Из приготовленной пробы берут навеску 10 г, помещают в бюкс и устанавливают в эксикаторе над 10%-ным раствором серной кислоты. По истечении 5 сут бюкс взвешивают и гигроскопичность рассчитывают по формуле $Г = \frac{P_1 - P}{P} 100\%,$ где P и P_1 — навески контролируемого материала соответственно исходная и после выдержки над кислотой, г <i>Газотворная способность.</i> Определяется путем прокалывания покрытия в трубчатой печи при температуре 1000° С. Через 10, 20, 30, 60 с и т. д. фиксируют объем выделившихся газов (в см³). Для оценки кинетики газовыделения результаты выражают в см³/с. При определении берут навеску предварительно отвержденного и измельченного покрытия	
Зависит от свойств связующего материала покрытия и свойств формовочной смеси (пористости, смачиваемости и т. п.). Формы с высокой поверхностной прочностью имеют повышенную стойкость при динамических воздействиях жидкого металла Характеризует способность противопригарного покрытия адсорбировать влагу из окружающей среды. При адсорбировании влаги уменьшается прочность покрытий, а следовательно, снижается эффект поверхностного упрочнения формы или стержня. Водные покрытия обладают большей гигроскопичностью, чем покрытия с использованием органических растворителей. Применение покрытий с высокой гигроскопичностью не допускает длительного выставления окрашенных форм и стержней Характеризует склонность отвержденного покрытия к газификации при высокой температуре. Газотворная способность зависит от содержания летучих (при прокаливании) веществ в составляющих покрытие. Высокая газотворная способность покрытия может привести к образованию газовых раковин в отливке	

Свойства и способы их определения

Влияние свойств на качество противопригарного покрытия

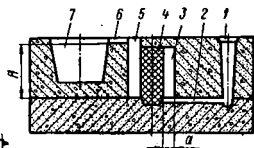
Растрескивание и отслаивание при высокой температуре. Определяется изготовлением пробы в виде полусферы диаметром 50 мм из формовочной смеси. Пробу окрашивают контролируемым покрытием и помещают в муфельную печь при температуре 1000° С. Растрескивание и отслаивание оценивают визуально.

Примечание. Время выдержки образца устанавливают в соответствии с временем заливки форм, для которых предназначается покрытие

Склонность к пригару. Определяется по нижепомещаемой пробе, которая заливается металлом, а затем по поверхности получаемой цилиндрической отливки оценивают свойства покрытия. Продолжительность заливки, толщину стенки a и напор H выбирают в соответствии с производственными условиями

Свойство это зависит от термоструктуры составляющих покрытия (прежде всего связующего материала), а также от напряжений при расширении и сжатии, возникающих в результате температурных объемных изменений в покрытии и форме. Растрескивание и отслаивание противопригарного слоя приводят к проникновению жидкого металла между покрытием и формой и образованию на отливках дефектов типа «плен»

Технологическая проба на пригар имитирует динамическое и статическое воздействия металла на покрытие при заливке формы. При этом на образование пригара влияют свойства покрытия и формовочной смеси, химический состав, свойства металла и условия заливки



1 — стояк; 2 — питатель; 3 — полость формы; 4 — стержень; 5 — прибыль; 6 — канал; 7 — земляная ванна

Составы и свойства водных противопригарных покрытий,

Марка покрытий	Массовая доля составляющих, %										
	Графит скрыто-кристаллический	Графит кристаллический	Тальк	Циркон	Декстрин	Бентонит	Сульфитная барда	Крепитель КВ	Патока	Крахмалит	Крепитель ДП
<i>Паста</i>											
ГП-2	84,0	—	—	—	—	5,0	—	5,5	5,5	—	—
ГП-1	89,2	3,3	—	—	—	3,1	3,3	—	—	1,1	—
ТП-2	—	—	92,4	—	3,4	1,8	—	—	—	—	2,4
ТП-1	—	—	92,5	—	—	3,1	—	—	—	1,6	2,8
<i>Порошкообразная композиция</i>											
ГС-1	88—84	7	—	—	—	2,5	—	—	—	2,5	—
ТС-1	—	—	95—91	—	—	2,5	—	—	—	2,5	—
ЦС-1	—	—	—	95	—	3	—	—	—	2	—

Примечания:

1. Для предупреждения микробиологического разложения в составы паст вво
2. Содержание окиси железа в составах ГС-1 и ТС-1 устанавливается по
3. При двухразовом нанесении пасты ГВ после сушки возможно отслаивание
4. Покрытие ЦС-1 можно применять в сочетании с графитовым.

поставляемых в виде паст и порошкообразных композиций

Окись железа	Вода (сверх 100%), не более	Свойства покрытия					Назначение
		Плотность покрытия, готового к употреблению, г/см ³	Вязкость η , с, не более	Седиментационная устойчивость порошковой композиции (через 3 ч), %, не менее	Прочность покрытия R , кг/мм, не менее	Стойкость покрытия к истиранию, г, не менее	
—	35	1,30—1,35	20	95	1,0	80	Для мелких и средних отливок
—	35	1,28—1,30	25	98	3,0	500	Для средних и крупных отливок
—	36	1,40—1,42	20	95	1,0	80	Для мелких отливок
—	35	1,35—1,40	20	97	3,0	600	Для мелких и средних отливок
0—4	—	1,25—1,30	25	98	3,0	500	Для мелких, средних и крупных отливок
0—4	—	1,35—1,40	20	98	3,0	500	Для мелких и средних отливок
—	—	1,85—1,90	25	97	3,0	500	Для крупных отливок

дают антисептическую добавку.
 согласованию с потребителем.
 покрытия.

**Примеры составов водных противопригарных покрытий,
изготавливаемых потребителями [4, 21, 26]**

Наименование составляющих	Массовая доля (%) составляющих покрытий				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Графит:					
скрытокристал- лический	68,5	35	33	90	—
кристаллический	—	5	—	—	—
Коке	—	20	—	—	—
Тальм	—	—	13,5	—	—
Циркон	—	—	—	—	88
Пек древесный	—	4	—	—	—
Бентонит	3,5	3	2,5	2	—
Крепитель ДП	—	—	—	3	—
Патока	—	3	—	—	10
Сульфитная барда	10	—	—	—	—
Декстрин	—	—	1	5	2
Вода	28	30	50	До необходимой плотности (сверх 100%)	
Плотность покрытия, готового к употреблению, г/см ³	1,40— 1,45	1,30— 1,35	1,3	1,33— 1,38	1,8—1,9

естественном проявлении слоя покрытия (самовысыхающих покрытий), химическом отверждении (самотвердеющих покрытий). В процессе отверждения формируется двойной слой покрытия: покровный слой на поверхности формы или стержня и проникающий слой — следствие проникновения покрытия в смесь. Проникающий слой обеспечивает поверхностное упрочнение формы или стержня и снижает газопроницаемость. Консистентные покрытия, которые при нанесении заполняют поры формы или стержня на глубину не более размера кварцевого зерна, называют пастами или натирками. Покрытия, практически не образующие покровного слоя, относят к упрочняющим покрытиям. Противопригарные материалы, которые наносят в порошкообразном состоянии, называют припылами.

Классификация противопригарных покрытий приведена на схеме V.1.

Свойства противопригарных покрытий определяются данными табл. V.12. При выборе покрытий следует руководствоваться общими рекомендациями и экспериментальным анализом в условиях конкретного производства, причем особое внимание следует уделять взаимодействию покрытий с формовочной смесью. Экономически целесообразно использование покрытий, поставляемых централизованно в виде паст и порошкообразных композиций (табл. V.13), но при необходимости водные покрытия изготавливают также и сами потребители (табл. V.14).

Для самотвердеющих смесей и сырых форм обычно применяют самовысыхающие покрытия с использованием органических растворителей или покрытия химического отверждения (табл. V.15).

При выборе покрытий учитывают специфические свойства формовочных смесей. Для жидкостекольных смесей применения покрытия с повышенными противопригарными свойствами. При изготовлении отливок с толщиной стенок более 200 мм целесообразно применение покрытий при одновременном введении в смесь органических добавок, таких как кокс (до 5%), древесный пек (до 0,75%), мазут (до 2%). На формы и стержни из песчано-смоляных смесей наносят покрытия, которые хорошо проникают в смесь, уменьшая ее газопроницаемость. При изготовлении стержней, образующих внутренние полости, со слабо развитыми знаками и плохим отводом газов следует применять покрытия с низкой газотворной способностью. Для мелких и средних стержней в качестве огнеупорного наполнителя покрытий можно применять высокодисперсные неуглеродосодержащие материалы (пылевидный кварц, силлиманит, тальк и т. п.) с добавкой к ним графита до 10%. Водные самотвердеющие покрытия следует использовать для форм и стержней с высокой газопроницаемостью и низкой газотворной способностью.

Специальные покрытия применяются для получения отливок с необходимыми механическими свойствами в поверхностном слое, а в ряде случаев и для введения легирующих элементов (диффундирующих с образованием твердых растворов с металлом отливки). В частности, для получения отбела нашли применение теллуровые покрытия примерно следующего состава (по массе) [26]: 15% теллура; 40% декстрина; 45% бентонита; сверх 100% вода — до плотности покрытия 1,35—1,40 г/см³. Теллур применяют в виде тонкодисперсного порошка, просеянного через сито № 005.

Упрочняющие покрытия применяют обычно для сырых форм. При этом используются водные растворы связующих материалов (сульфитной барды, патоки и др.). Применяют также растворы смол в органическом растворителе, которые наряду с упрочняющим действием могут гидрофобизировать поверхность формы или стержня, снижая тем самым ее гигроскопичность. Для уменьшения газопроницаемости формовочной смеси в упрочняющее покрытие можно ввести тонкодисперсный огнеупорный материал, при условии получения сильно разбавленных суспензий.

Пасты натирочные обычно применяют для стержней, изготавливаемых по-сухому или из химически твердеющих смесей; их обычно наносят вручную на поверхность стержней несложной конфигурации, подвергающихся в форме воздействию значительной массы заливаемого металла. Высушенный слой должен быть ровным, без трещин и не осыпаться при трении. Составы натирочных паст приведены в табл. V.16.

При приготовлении противопригарных покрытий следует учитывать, что качество смешения составляющих существенно влияет на свойства покрытий.

Примеры составов самовысыхающих и самоотвердеющих

Тип и номер покрытия	Массовая доля													
	Графит скрытокристаллический	Графит кристаллический	Тальк	Циркон	Поливинилбутираль	Смола 101-М	Полиизобутилен (П-200)	Клей 45—08	Древесный пек	Смола ФФ-1СМ	Поливинилацетат бисерный	Спирт гидролизный	Растворитель 646	Растворитель обуганого гранитола
Самовысыхающие														
1	37	9	—	—	—	—	—	—	—	12	1	—	—	41
2	31,6	5	—	—	1,9	—	—	—	5,5	—	—	—	11	45
3	38	12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	35	10	—	—	2,5	—	—	—	—	—	—	52,5	—	—
5	35	10	—	—	—	5	0,3	—	—	—	—	—	—	—
6	—	—	46	—	—	6	—	5	—	—	—	—	—	—
7	—	—	—	59	—	—	—	—	—	11,4	1,6	—	—	28
Самоотвердеющие														
8	50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	18	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечания:

1. Лак КО-0168 или КО-0169 содержит (по массе): 3—4% поливинилбутирала; растворителя.

2. Отвердители для покрытий № 8, 9 готовятся отдельно и вводятся перед упот-

3. Составы № 1, 7, 9 — по данным ВНИИлитмаша. Состав № 3 — по данным

противопригарных покрытий [5, 21]

составляющих, %										Плотность покрытия, готового к употреблению, г/см ³	Назначение
Бензин «калоса»	Вентонит	Лак КО-0168 или КО-0169	Сульфитная барда	Техническая мочеви́на	Смола М-56	Окись цинка	Вода	67%-ный водный раствор персульфата аммония (сверх 100%)	50%-ный раствор ортофосфорной кислоты (сверх 100%)		
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,15—1,20	Для средних и тяжелых отливок
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,14—1,16	То же
—	—	50	—	—	—	—	—	—	—	1,15—1,20	»
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,10—1,25	Для средних отливок
49,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,03—1,10	Для средних отливок (преимущественно для сырых форм)
43	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,10—1,14	Для мелких отливок
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,70—1,75	Для создания противопригарного слоя в тепловых узлах форм
—	3,5	—	10	10	—	0,5	26	7,5	—	—	Для средних отливок
—	—	—	—	—	73	—	3	—	0,3	1,20—1,25	То же

8—10% полиметил-полиметилфенилсилоксановой смолы (К-9 или КМ-9К); 86—89%

разбавителем покрытия.

ЦНИИТмаша. Состав № 2 — по данным завода «Станколит» (Москва).

Составы натирочных паст [20, 21]

Номер состава	Массовая доля составляющих, %						
	Графит кристаллический	Тальк	Шамот	Огнеупорная глина	Сульфитная барда	Связующее 4ГУ	Вода
1	35	50	—	15	—	—	
2	50	—	35	15	—	—	
3	63,5	—	—	3,7	4,7	1,6	26,5

Примечание.
В составы № 1 и 2 вводят еще воду в количестве соответственно 0,6 и 0,5 л на 1 кг сухой смеси (сверх 100%).

Таблица V.17

Составы литейных клеев [23, 26]

Наименование составляющих	Массовая доля (%) составляющих в клеях			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Кварц пылевидный	50	—	—	—
Сульфитная барда (плотностью 1,28—1,30 г/см³)	—	50	—	—
Огнеупорная глина	—	50	60	—
Контакт Петрова	0,5% от массы смеси	—	—	—
Смола МФС	50	—	—	—
Смола МФ-17	—	—	—	79
Декстрин	—	—	40	15
Ортофосфорная кислота (20%-ной концентрации)	—	—	—	6
Вода (сверх 100%)	—	20	—	—
Прочность на разрыв, кгс/см² (10⁵ Па)	15—16	7	10	17—25

Примечания:
1. Состав № 4 — самотвердеющий, длительному хранению не подлежит.
2. Состав № 1 — по данным ВНИИЛитмаша.

При использовании централизованно поставляемых противопригарных паст или порошкообразных композиций готовые к употреблению покрытия обычно получают в лопастных мешалках. При этом порошкообразные композиции разводят в мешалках, имеющих частоту вращения ротора смесителя не менее 100 об/мин. При разведении порошкообразных композиций загрузку следует осуществлять небольшими порциями и начинать процесс с меньшим (на 10—15%) количеством воды, чем необходимо для получения готового к употреблению покрытия. В случае

необходимости изготовления покрытия на заводе-потребителе обычно применяют двухстадийное ведение процесса: 1) готовят пасту в бегунах или смесителе типа СГУ-200 и выдерживают полученную массу в течение суток; 2) разводят пасту в краскомешалке до необходимой плотности. Самовысыхающие покрытия обычно изготавливают в лопастной краскомешалке.

При изготовлении покрытий необходимо соблюдать правила техники безопасности, предусмотренные при работе со смесительным оборудованием с электроприводом. При работе с самовысыхающими покрытиями необходимо соблюдать правила техники безопасности в соответствии с «Едиными требованиями безопасности при применении самовысыхающих красок для литейных форм и стержней». Л., ВПТИлитпром, 1973.

Припылы (графит кристаллический, тальк и др.) обычно применяют для форм с развитой горизонтальной поверхностью, изготавливаемых по-сырому. Иногда, до нанесения припыла, поверхность формы слегка опрыскивают раствором связующего материала (например, сульфитной барды). Практикуется также нанесение припыла на модельную оснастку. В этом случае припыл одновременно играет роль разделительного покрытия.

Литейные клеи (табл. V.17) применяют для склеивания стержней. Клей должен иметь хорошую кроющую способность при нанесении на склеиваемые поверхности, обладать минимальной гигроскопичностью, обеспечивать необходимую прочность склеивания. Прочность клеевого соединения определяют при растяжении предварительно распиленных по минимальному сечению и склеенных стандартных стержней-восьмерок с последующим испытанием высушенных и охлажденных образцов.

Замазки применяют при окончательной отделке стержней для заделки поверхностных дефектов (швов, трещин и т. п.). Они должны иметь хорошую пластичность, после подсушки не должны давать трещин и отслаиваться от стержней. В табл. V.18 в качестве примера приведены два состава замазок.

Таблица V.18

Составы замазок [10]

Номер состава	Массовая доля составляющих, %						
	Кварцевый песок	Графит	Тальк	Бентонит	Крахмалит	NaOH (кристаллический)	Вода
1	—	65,9	25,43	8,67	—	—	69 (сверх 100%)
2	47,6	—	20,0	3,9	4,3	0,6	23,6

Примечания:
 1. При приготовлении состава № 2 каустическая сода отдельно смешивается с водой, нагретой до 50° С, и крахмалитом.
 2. Состав № 2 — по данным АвтоВАЗа.
 3. Для сохранения пластичности замазку хранят в закрытой таре.

Прокладочные жгуты применяют для уплотнения разъемов форм или стержней. Исходя из технологических требований, они должны обладать пластичностью, достаточной прочностью на растяжение и противостоять воздействию жидкого металла. Состав (по массе) поставляемого прокладочного жгута следующий: 59—65% асбеста молотого; 18—21% битума нефтяного; 17—20% масла индустриального. Разъемы форм прокладывают также другими пластичными огнеупорными составами, состоящими, например, из 85—90% песка кварцевого; 10—15% глинны формовочной; 20—25% воды (сверх 100%).

Подготовка исходных формовочных материалов

Для бесперебойной работы литейного цеха рекомендуется иметь на складе достаточный запас формовочных материалов (табл. V.19).

Таблица V.19

Нормы запаса основных формовочных материалов

Материал	Запас в сутках для климатических поясов *			
	I	II	III	IV
Песок формовочный	20—30	30—45	45—75	60—90
Глина формовочная сырая	30—45	45—75	60—90	90—120
Глина сухая молотая	20—30	30—45	30—45	45—60
Опилки, торфяная крошка	10—20	10—20	10—20	10—20

* Климатические пояса: I — южнее Одессы, Ростова-на-Дону; II — севернее I пояса до Харькова; III — севернее II пояса до Москвы; IV — севернее III пояса.

Все материалы, как правило, должны храниться в закрытых помещениях при $t \geq +5^\circ \text{C}$. Сырые и сухие формовочные пески следует хранить отдельно по маркам — в большинстве случаев в железобетонных закромах, заглубленных в землю на 2,5—4,0 м. В механизированных складах сырые и сухие пески хранят в металлических или железобетонных бункерах. При этом следует стремиться к получению с карьеров обогащенных песков в сухом виде. При большом объеме запаса сухой песок рекомендуется хранить в железобетонных или металлических силосных башнях вне здания склада, а сырой песок — в помещении отопляемого склада, где также размещают установки для сушки и подготовки формовочных материалов. Сырую глину хранят в приемных ямах или железобетонных закромах, сухую молотую глину — в закрытых металлических бункерах и емкостях. Жидкие связующие материалы хранят в цистернах, установленных в подземном отопляемом помещении. Максимальная высота хранения сыпучих материалов h_{max} приведена ниже.

Материал	Песок	Глина в кусках	Глина молотая	Пылевидный кварц	Каменный уголь в кусках	Каменный уголь молотый	Опилки, феррохромовый шлак, пек
h_{max} , м	10	10	3	3	4	2	3

Сырой песок доставляется в саморазгружающихся вагонах. Разгрузка его из вагонов производится в специальную яму, расположенную вдоль пути. Из разгрузочной ямы пески передаются мостовым грейферным краном в закрома. Применяют также разгрузку всего эшелона песка в приемные бункера, размещенные в крытом помещении и расположенные под железнодорожным путем. Эти бункера одновременно являются и складом сырого песка. Кроме того, применяется «точечная» разгрузка, при которой песок выгружается в подземные бункера и затем элеваторами и ленточными конвейерами подается в бункера или закрома.

Уголь и сырую глину доставляют на открытых платформах; выгрузку их производят в приемные ямы, из которых они перегружаются в закрома и по мере необходимости подаются оттуда на переработку.

Некоторые формовочные материалы доставляют в порошкообразном виде готовыми к употреблению (бентонит, феррохромовый шлак, цемент, пылевидный

кварц, графит и т. д.). Пылевидные материалы доставляются: железнодорожным транспортом в металлических плотно закрытых контейнерах на открытых платформах, в бумажных пакетах (30 кг) в закрытых вагонах или специальными автомашинами — цементовозами, из которых они разгружаются пневмонасосом автомашины в герметические приемные бункера, затем стационарным пневмотранспортом — в бункера-хранилища этих материалов.

Подготовка формовочных песков заключается в разрыхлении и дроблении в случае смерзшегося песка, просеве сырого песка через решетку с размером ячеек до 40×40 мм, сушке, охлаждении просушенного песка до +30° С и просеве его на грохоте с размером ячеек 3—5 мм. Глина формовочная в комках подвергается разрезке на куски размером до 70×70 мм, сушке, магнитной сепарации для удаления случайных металлических включений и измельчению до размера частиц менее 1 мм. Опилки древесные просеивают через сито с ячейками 20×20 мм (влажность опилок должна быть не более 25—30%). Торфяную и асбестовую крошку просеивают через сито с ячейками 20×20 мм. Каменный уголь для получения порошка целесообразно подсушивать при температуре до 100° С, дробить, подвергать магнитной сепарации, затем измельчать до размера менее 0,2 мм. Пылевидные материалы, получаемые в готовом размолотом виде в бумажных мешках (бентонит, графит и др.), требуют только удаления тары. Связующие жидкие, поставляемые в цистернах, в холодное время года подогревают паром при сливе. Их технологические параметры (концентрацию и состав) доводят до заданных в баках и мешалках. Связующие густые, поставляемые в бочках, разводят водой до заданных параметров в мешалках. Связующие твердые в кусках дробят и просеивают.

Модели полигональных барабанных сит для просеивания сыпучих формовочных материалов и их производительность приведены ниже.

Модель	173М	175М	176М	178М	1А79
Производительность, м ³ /ч	5	20	40	80	125

Сита модели 173М изготавливаются Тбилиским заводом литейного оборудования им. Калинина, а все остальные модели сит — на Заводе литейного оборудования в г. Волковыске.

Для просеивания применяются также плоские вибрационные грохоты [22].

Наиболее употребительным оборудованием для сушки песка и глины являются барабанные сушилки [2]: для песка типы ПБ2-0,6; ПБ3-3,2; ПБ1-6,0; ПБ1-15; ПБ1-24; ПБ1-43; для глины типы ГБ1-0,6; ГБ1-1,2; ГБ1-3,3; ГБ1-4,8; ГБ1-9,2. Последние цифры в обозначениях разных типов сушилок означают их производительность (в т/ч); цифры 1, 2, 3 означают одно-, двух- и трехходовые конструкции. Диаметр барабанов 1000—2200 мм, длина — 1100—12 000 мм. Как барабаны, так и их приводы изготавливаются на бердичевском заводе «Прогресс».

Сушку глины и жирных песков производят только в барабанных сушилках, а сушку кварцевых песков можно производить также в трубных сушилах [2] и в кипящем слое [34]: типы трубных сушилок — ПТ-6, ПТ-12, ПТ-24; типы сушилок в кипящем слое — ПКС-3, ПКС-6, ПКС-12, ПКС-24. В этих обозначениях, как и в предыдущих, последние цифры означают производительность (в т/ч), которая во всех случаях рассчитана на начальную влажность песка 10% и конечную 0,5%; для глины соответственно 25 и 3%. При других условиях производительность сушилок меняется. Очистка отработанных газов сухим способом производится в циклонах ЦИ-15, а мокрым способом — в циклонах СИОТ. Для охлаждения песков после сушки применяют шахтный (трубчатый) холодильный конструкции ВНИПИ «Теплопроект», используемый совместно с барабанными сушилками, барабанные охладители и охладители кипящего слоя. В некоторых случаях для охлаждения песков применяют также пневмотранспорт, особенно всасывающий. Для сушки и охлаждения песков в кипящем слое применяются также устройства, разработанные КТИАМ (Челябинск).

Разрезание комовой глины на куски размером 70×70 мм осуществляют на глинорезке конструкции московского завода «Станколит» (производительность по глине 20 м³/ч; габаритные размеры — 2255×1810×1260 мм). Для того чтобы удалить случайные металлические включения перед операцией из-

мельчения глины или угля, необходимо устанавливать электромагнитные шкивы производства Ворошиловградского завода угольного машиностроения им. Паркоменко типов: ШЭ 65-63, ШЭ 80-80, ШЭ 100-80, ШЭ 120-100, ШЭ 140-100 или подвесные электромагнитные сепараторы того же завода типа ЭПР.

Производительность оборудования, применяемого для размола глины, приведена ниже.

Шаровые мельницы производства куйбышевского завода «Строммашина» [29]:

Типы	СМ-6008	СМ-6004	СМ-6000
Производительность, т/ч	2—6	3—8,5	6—19

Дробилки молотковые производства костромского завода «Строммашина» (СМ) и Выксунского завода дробильно-размольного оборудования (ДМ):

Типы	СМ-431	СМ-19А	ДМ 80×18
Производительность, т/ч	12—24	105	0,3 по углю и 0,8 по глине

Примечание. В дробилках типа СМ-431 куски размером 200 мм измельчаются до 13 мм, в дробилках типа СМ-19А — с 300 до 45 мм, в дробилках типа ДМ 80×18 — с 20 мм до мельчайшей пыли.

Установки с мельницей и пневматическим отбором продуктов помола [19], позволяющие куски размером 20—35 мм размалывать до 0,04—0,07 мм:

Типы	СМ-432 (шаровая)	СМ-493 (маятниковая)
Производительность, т/ч		
по углю	0,7—0,8	2—2,3
» глине	0,9—1,0	до 3

2. ФОРМОВКА ПО-СЫРОМУ

Изготовление отливок в сырых песчано-глинистых формах имеет существенные преимущества: низкую стоимость формовочных материалов, возможность многократного использования оборотной смеси, высокую производительность формовочного оборудования, технологическую гибкость.

Смеси для формовки по-сырому

Для изготовления форм по-сырому применяются различные смеси, примеры составов которых представлены в табл. V.20. При этом песок рекомендуется применять по ГОСТ 2138—74 классов О61К, О62К, О63К, 1К, 2К и групп О2, О16 — для мелкого литья, групп О315, О2 — для крупного и среднего литья. В качестве связующих при изготовлении форм на автоматических линиях и при машинной формовке следует применять глины вида М и К марок 1÷11/2÷3 ($T_1 \div T_2$); при ручной формовке возможно применение глин вида П и Г. Увеличение количества глины, повышая прочность смеси, снижает газопроницаемость и, значит, увеличивает опасность образования газовых дефектов в отливках. При этом следует отличать активную глину от общей. Ее определение основано на способности поглощать краситель метиленовый голубой. Для этого к 5 г высушенной смеси добавляют 50 см³ дистиллированной воды, кипятят 5 мин, охлаждают до комнатной температуры, добавляют 2 см³ пятикратного раствора H₂SO₄ и титруют раствором красителя метиленового голубого. По объемному расходу раствора этого красителя определяют с помощью предварительно построенного тарировочного графика содержание активной глины (%). С его увеличением повышаются прочность и текучесть смеси и снижается осыпаемость и вероятность образования ужимки и размылов. Вместе с тем затрудняется выбиваемость и увеличивается опасность образования трещин в отливках. Содержание активной глины в смесях для формовки по-сырому должно быть около 5—11%.

Примеры смесей для формовки по-сырому

Таблица V.20.

Наименование смесей и их назначение	Массовая доля составляющих, %				Свойства смесей			
	Основные материалы			Вспомогательные материалы (добавки)	Прочность на сжатие в сыром состоянии, кгс/см ² (10° Па)	Газопрони- цаемость сырого образца (не менее), ед.	Влаж- ность, % по массе	Текучесть по Г. М. Орлову (не менее), %
	Оборотная смесь	Песок кварцевый	Глина					
Облицовочная для средних и крупных отливок	40—75	20—50	4—8	До 1,5 сульфитно- спиртовой барды	0,4—0,6	60	4,0—5,0	50
Наполнительная для средних и круп- ных отливок	94—96	3—5	До 1	—	0,3—0,4	80	4,0—5,0	—
Единая для сред- них отливок	90—95	3—8	1—3	До 1,5 сульфитно- спиртовой барды, до 1,5 молотого угля	0,3—0,6	80	4,5—6,0	50
Единая для мел- ких и средних отли- вок (машинная фор- мовка)	93—94	5—6	0,5—1,0	0,1—0,3 крепите- ля КВ либо до 0,5 мазута	0,4—0,6	80	3,5—4,5	60
Единая для авто- матических линий изготовления форм прессованием	94—95	5—6	0,8—1,0 *	0,38—0,42 угля молотого *, 0,003 по- низителя вязкости ПФЛХ *	0,7—0,8	40 на прессо- ванном образце	3,2—3,8	75
То же	88—91	8—11	0,5—1,0	0,2—0,5 крепите- ля КО	0,8—0,9	80	4,0—5,0	30 **
Единая для авто- матических песко- дувно-прессовых ли- ний безопочной фор- мовки типа Дисаматик	97—98	2,5—3,0	0,1—0,2	0,05—0,10 грану- лированного угля *, 0,10—0,15 крахма- лита *	1,7—2,0	100	3,0—3,4	70

* Вводится в виде еусепений.

** Текучесть по методике НИИ тракторсельхозмаша.

**Характеристика вспомогательных материалов,
применяемых в смесях для формовки по-сырому**

Материал, ГОСТ	Характеристика и применение
Каменный уголь пылевидный	Применяется в качестве противопригарного средства; рекомендуются марки ПЖ и Г. Содержание угля и крупность его помола должны быть тем больше, чем больше толщина стенок и масса отливки; однако необходимо учитывать, что чрезмерное его количество приводит к снижению газопроницаемости, газовым раковинам, взрывному пригару
Гранулированный уголь, ТУ 12-1-71	Обладает низким содержанием золы и серы, обеспечивает высокие противопригарные свойства без снижения газопроницаемости
Поверхностно-активные вещества: ДС-РАС (ВТУ 31-56) и контакт Петрова, ГОСТ 463-53	Уменьшают вязкость глинисто-угольной суспензии и дают возможность увеличить в ней содержание глины, причем смеси не обсыхают и не имеют повышенной осыпаемости при снижении влажности
Крахмалит, ТУ 18 РСФСР 192-72	Уменьшает склонность к образованию ужимин, обеспечивает снижение обсыхаемости формы на воздухе, улучшение качества отпечатка, уменьшение чувствительности к переуплотнению. При этом смеси имеют более стабильные свойства при широком изменении влажности
Понижитель вязкости ПФЛХ, МРТУ 13-05-18-66	Повышает прочностные свойства смесей, текучесть, обеспечивает стабильность свойств при изменении влажности, снижает вязкость глинисто-угольной суспензии
Крепитель КО, ТУ 38-10741-73	Обладает высокими противопригарными свойствами при малой зольности, повышает текучесть смесей
Мазут, ГОСТ 10585-75	Обеспечивает хороший противопригарный эффект, но приводит к увеличению связности смеси в неуплотненном состоянии (снижению формуемости) и выделению большого количества газа при заливке форм
Битум, ГОСТ 22245-76 Крепитель КВ ₀ , ГОСТ 9006-62	Обеспечивает противопригарные свойства и значительное увеличение текучести Применяется в качестве противопригарной добавки в смесях для мелкого тонкостенного литья. Добавка КВ ₀ не снижает газопроницаемости и формуемости, увеличивает текучесть. Однако чрезмерное содержание КВ ₀ повышает прочность в нагретом состоянии, что приводит к образованию комьев при выбивке отливок и значительному отсеву оборотной смеси
Сульфитно-спиртовая барда, ГОСТ 8518-57	Противопригарная добавка в единых формовочных смесях, повышает текучесть; чрезмерное ее содержание приводит к повышенной газотворности
Асбест, ГОСТ 12871-67	Повышает огнеупорность смеси, снижает осыпаемость и склонность к образованию ужимин

**Свойства смесей для формовки по-сырому,
методы их определения и влияние на качество форм и отливок**

Свойства и способы их определения	Влияние свойств на качество форм и отливок
Влажность. Определяется по ГОСТ 2189—62 (см. табл. V.3) Газопроницаемость. Определяется по ГОСТ 2189—62 (см. табл. V.3) Предел прочности на сжатие в сыром состоянии. Определяется по ГОСТ 2189—62 (см. табл. V.3) Предел прочности на разрыв в сыром состоянии. Определяется на стандартных образцах смеси, уплотняемых тремя ударами копра в особой гильзе, разделенной на две части перпендикулярно оси. Образец смеси удерживается в каждой части гильзы выточенными в них кольцевыми канавками. При испытании половинки гильзы перемещаются относительно друг друга в осевом направлении в противоположные стороны до разрушения образцов	Определяет уровень всех важнейших свойств смеси; количество ее зависит от содержания глины, метода уплотнения, степени механизации, конфигурации модели. При низкой влажности уменьшается прочность смеси, затрудняются удаление модели и ремонт форм, получается повышенная осыпаемость форм. Высокая влажность снижает газопроницаемость, уменьшает текучесть, прочность и твердость форм, особенно в поднутрениях и глубоких карманах, создает неравномерность свойств по сечению формы, низкое качество поверхности отливок, повышенную склонность к газovým раковинам и ужиминам Газопроницаемость форм по-сырому находится в пределах 60—140 ед.; она определяется составом смеси и степенью уплотнения. Низкая газопроницаемость обуславливает образование вскипов, газовых раковин, взрывного пригара. При очень высокой газопроницаемости возможны ухудшение качества поверхности отливок, образование пригара Прочность в сыром состоянии зависит от содержания активной глины, влажности, зернового состава и формы зерен песка, степени уплотнения. Понижение прочности приводит к снижению твердости, обвалам формы, ухудшению качества поверхности и расбору При выполнении технологических операций по изготовлению формы в различных частях ее возникают растягивающие напряжения, которые при превышении прочности на разрыв приводят к поломке форм при удалении модели, сборке, заливке и к браку отливок. Прочность на разрыв смесей для машинной формовки и для автоматических линий следует поддерживать в пределах 0,15—0,35 кгс/см² [(0,15÷0,35) 10⁶ Па]

Свойства и способы их определения	Влияние свойств на качество формы и отливки
Текучесть. Определяется чаще всего по Г. М. Орлову. Для этого на дно гильзы при изготовлении стандартного образца устанавливается вкладыш высотой 30 мм. В поперечном сечении он имеет форму сегмента, построенного на диаметре гильзы. В гильзе с вкладышем образец уплотняется тремя ударами копра. После изготовления образца определяется твердость на двух его горизонтальных поверхностях, прилегающих ко дну гильзы и к вкладышу. Текучесть выражается процентным соотношением твердости на этих поверхностях	Является показателем способности смеси к протеканию при уплотнении. Низкая текучесть приводит к снижению твердости формы, особенно в трудноуплотняемых местах, ухудшению качества поверхности отливок, нарушению геометрических размеров и увеличению массы отливок. При изготовлении форм для сложных отливок текучесть смеси должна быть не ниже 80%
Формуемость. Определяется при просеивании 200 г смеси в течение 10 с во вращающемся с частотой 60 об/мин цилиндрическом сите диаметром 110 мм с размером ячейки 3,5×3,5 мм. Формуемость определяется как процентное отношение массы смеси, прошедшей через ячейки сита, к массе смеси, загруженной в сито	Характеризует связность (сыпучесть) смеси в неуплотненном состоянии и зависит, в первую очередь, от влажности смеси. При низкой формуемости смесь плохо заполняет глубокие полости и карманы модели, что приводит к разрывам, ухудшению качества поверхности, нарушению геометрических размеров и распору. Хорошая формуемость особенно важна при изготовлении отливок на автоматических линиях, так как при этом невозможно предварительное (до уплотнения) выравнивание начальной плотности смеси в форме, как это делают при ручной и машинной формовке. Формуемость смесей для автоматических линий должна быть не ниже 70—80%
Осыпаемость. Определяется по ГОСТ 2189—62 и характеризуется потерей массы стандартного образца (в %) при трении его в течение 1 мин о сетку вращающегося с частотой 60 об/мин цилиндрического сита диаметром 110 мм с размером ячейки 2,5×2,5 мм	Зависит от состава смеси и степени уплотнения. При высокой осыпаемости (обычно из-за недостатка воды и глины) затрудняется ремонт форм, возможны выкрашивание формы при установке стержней и сборке, размыв формы при заливке и появление таких дефектов в отливках, как песочные раковины, пригар. Осыпаемость смесей при формовке по-сырому должна быть в пределах 0,1—0,5%

Свойства и способы их определения	Влияние свойств на качество форм и отливок
Газотворная способность. Определяется на навеске, помещаемой в печь, нагретую до 1000° С, путем измерения объема газов, выделяющихся в течение 2—10 мин. Объем газов относят к 1 г смеси или 1% связующего, содержащегося в смеси Уплотняемость. Определяется как уменьшение высоты (в %) столба просеянной и засыпанной в стандартную гильзу смеси после уплотнения тремя ударами копра	Зависит от состава смеси и скорости разложения материала. С повышением газотворной способности при прочих равных условиях повышается газовое давление на поверхности контакта смеси с жидким металлом; которое является непосредственным фактором проникновения газа в металл и образования газовых раковин Зависит, в первую очередь, от влажности, а также от содержания активной глины, глинистых составляющих, формы зерен, зернового состава песка. Чрезмерная уплотняемость приводит к подутости формы, газовым раковинам, ухудшению качества поверхности. При пониженной уплотняемости наблюдаются осыпаемость кромок формы, подрыв выступающих частей формы при извлечении модели. Для автоматических линий безопочной формовки рекомендуются смеси с уплотняемостью 25—40%; при этом смеси обладают высокой формуемостью, максимальным пределом прочности на сжатие в сыром состоянии, приобретают высокую степень уплотнения. Смеси с уплотняемостью 40—55% рационально использовать для машинной формовки, а с уплотняемостью свыше 55% — при ручной формовке

Характеристики вспомогательных материалов представлены в табл. V.21, а общие свойства смесей, методы их определения и влияние на качество форм и отливок — в табл. V.22.

Технологический процесс смесеприготовления состоит из ряда последовательно проводимых операций: дозирование исходных материалов, подача их в бегуны и смешивание, вылеживание приготовленной смеси и ее разрыхление. Для дозирования сыпучих материалов используются объемные и весовые дозаторы. Точность дозирования объемными дозаторами находится в пределах $\pm 5\%$, весовыми — $\pm 2,5\%$. Для оборотной смеси наибольшее применение нашли ленточные, коробчатые и бункерные объемные дозаторы; пылевидные материалы чаще всего дозируются шишековыми дозаторами, а жидкие компоненты, как правило, — объемными дозаторами.

Повышение требований к стабильности свойств при внедрении автоматических формовочных линий обусловило создание автоматических систем дозирования воды и регулирования влажности смеси. За рубежом и в нашей стране получили распространение системы автоматического регулирования двух типов: а) с предварительной калькуляцией влажности, когда дозирование воды в бегуны осуществляется в зависимости от влажности оборотной смеси; б) с контролем конечной влажности готовой смеси, например, по величине формуемости.

Подача материалов и их смешивание осуществляются в следующей последовательности: подача сухих компонентов (оборотная смесь, песок, глина, каменный уголь); предварительное смешивание в течение до 2 мин в бегунах с вертикально-вращающимися катками и до 0,5 мин в бегунах с горизонтально-вращающимися катками; подача жидких добавок; окончательное смешивание,

длительность которого зависит от состава смеси и типа смесителя. Для бегунов с горизонтально-вращающимися катками с высокой интенсивностью смешивания применяется также загрузка всех компонентов смеси с последующим одностадийным (окончательным) смешиванием, что позволяет сократить цикл приготовления смесей.

Для смешивания используются:

а) бегуны периодического действия с вертикально-вращающимися катками:

Модель	1A11	1A12M	114M	15126
Объем замеса, м ³	0,25	0,63	1	3
Производительность, т/ч	3,5—2	9—5	15—9	45—28

б) бегуны периодического действия центробежные с горизонтально-вращающимися катками моделей 116M2 и 15328, с объемом замеса 0,63 и 1,6 м³ и производительностью 40—24 и 100—60 т/ч;

в) бегуны непрерывного действия сдвоенные с вертикально-вращающимися катками модели 1524 производительностью 78—58 т/ч.

При этом во всех случаях производительность определена для случая приготовления единой формовочной смеси при полной автоматизации работы бегунов, причем большие значения относятся к смесям с σ_c в сыром состоянии до 0,7 кгс/см² (0,7 · 10⁵ Па), а меньшие — для σ_c до 2 кгс/см² (2 · 10⁵ Па). При этом бегуны с вертикально-вращающимися катками обеспечивают более равномерное распределение компонентов и хорошее обволакивание зерен песка оболочкой связующего. Бегуны же с горизонтально-вращающимися катками (центробежные) имеют более высокую производительность. Рекомендуемые производительности смешивания для формовки по-сырому приведены в табл. V.23.

Таблица V.23

Продолжительность смешивания смесей при формовке по-сырому

Тип смеси	Продолжительность смешивания по типам бегунов, мин *	
	с вертикально-вращающимися катками	с горизонтально-вращающимися катками
Единая	$\frac{3-5}{5-8}$	$\frac{1,5-2}{2-2,5}$
Облицовочная	$\frac{5-8}{10-13}$	$\frac{1,5-2,5}{2-3}$
Наполнительная	— 2,5—4	1—1,2

* Цифры для единой и облицовочной смесей в числителе относятся к смесям с σ_c в сыром состоянии до 0,5—0,7 кгс/см² [(0,5 ÷ 0,7) 10⁵ Па], в знаменателе — с σ_c до 1,8—2,0 кгс/см² [(1,8 ÷ 2) 10⁵ Па].

Вылеживание формовочных смесей (0,5—3 ч) производится в бункерах-отстойниках для дополнительного набухания частиц глины и более равномерного распределения влаги. В последнее время в связи с совершенствованием оборудования для изготовления смесей и значительным увеличением производительности смесеприготовительных отделений длительность вылеживания сокращают, а в некоторых случаях вылеживание вообще не производят.

Разрыхление формовочных смесей с целью повышения их свойств производится после выхода смеси из бункеров-отстойников и осуществляется следующими аэраторами:

Модели	16112	16113	16114	16115
Производительность, м ³ /ч	20	40	80	125

Изготовление форм

Характеристика наиболее применяемых способов уплотнения сырых форм приведена в табл. V.24.

Выбор режимов уплотнения смеси необходимо производить из условия достижения технологически необходимой степени уплотнения и получения требуемой равномерности уплотнения смеси по объему формы. Необходимая степень уплотнения смеси выбирается для наиболее трудноуплотняемого места с учетом состава смеси, условий заливки, преобладающей толщины стенок и массы отливок, конкретных требований, предъявляемых к отливкам. Для получения качественных отливок при формовке по-сырому твердость форм в наиболее трудноуплотняемом месте должна быть не ниже 50—60 ед. Для коэффициента неравномерности, характеризующего отношение минимальной твердости к средней твердости формы, рекомендуются значения не ниже 0,85. Степень уплотнения формы определяется выбранным способом уплотнения и его параметрами, относительными геометрическими параметрами и конфигурацией модели и опоки, свойствами смеси, условиями внешнего трения смеси о поверхность оснастки, начальной плотностью смеси и распределением ее до операции уплотнения.

Выбор режимов прессования с предварительным уплотнением рекомендуется производить по номограмме (рис. V.1). Номограмма позволяет определять твердость в наиболее трудноуплотняемом месте — на дне карманов модели — в зависимости от значений геометрических параметров сложности n и k карманов, конфигурации карманов, коэффициента внешнего трения f , давления прессования p , начальной плотности смеси в кармане δ_0 . Начальная плотность смеси до прессования при прочих равных условиях определяется давлением надува при пескоструйно-прессовом уплотнении и количеством ударов встряхивающего стола при встряхивании с последующим прессованием. При увеличении давления надува от 3 до 6 кгс/см² (от 3 до 6 · 10⁵ Па) и количества ударов в минуту от 15 до 40 начальная плотность смеси возрастает от 1,15—1,30 до 1,40—1,55 г/см³. Методы и приемы ручной формовки аналогичны применяемым при формовке по-сырому (см. с. 415). Операции при машинном изготовлении опочных форм приведены в табл. V.25.

Толщина облицовочного слоя в уплотненном состоянии [8] в зависимости от массы отливок и размера опок приведена ниже.

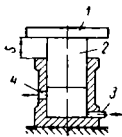
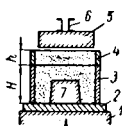
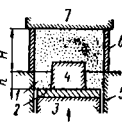
Масса отливок, кг	До 100	До 100	>100
Размер опок, мм	800 × 700	1000 × 800	1600 × 1000
Толщина облицовочного слоя, мм	10—20	20—30	30—40

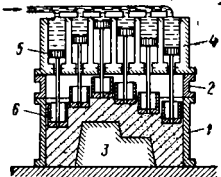
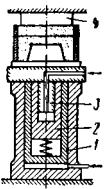
Нормы вентиляции характеризуются следующими данными [8]:

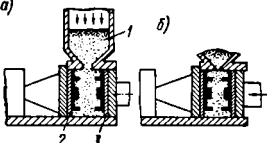
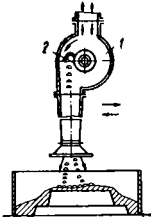
Размер опок, мм	До 1000 × 800	Больше 1000 × 800
Диаметр душка, мм	3—5	6—8
Количество наколов на 1 дм ²	4—6	2—3

При изготовлении мелких отливок получила распространение безопочная формовка по двусторонним или односторонним модельным плитам. При этом опока снимается после изготовления формы и используется для изготовления следующих форм. Перед заливкой формы скрепляют, надевая на них жакеты. Безопочная формовка облегчает выбивку форм, уменьшает потребность в оснастке и площадях для ее хранения. Более широко применяется формовка по односторонним модельным плитам, отличающаяся высоким уровнем механизации. Метод безопочной формовки получил широкое распространение в связи с созданием

**Способы и характеристика уплотнения смеси
при изготовлении сырых форм**

Способ, схема и параметры уплотнения	Характеристика уплотнения
<i>Встряхивание.</i> Высота подъема стола 25—100 мм, частота ударов 40—250 1/мин  1 — встряхивающий стол; 2 — встряхивающий поршень; 3 — впуск воздуха; 4 — выход	Наибольшее уплотнение получается в нижних (по формовке) частях формы; в верхних частях формы уплотнение слабое. Около верхних нескругленных кромок высоких моделей на вертикальных поверхностях формы наблюдаются рыхлоты. При увеличении количества ударов встряхивающего стола плотность формы возрастает. Однако чрезмерное количество ударов может привести к образованию в форме трещин
<i>Прессование верхнее.</i> Давление до 40 кгс/см² (40 · 10⁵ Па)  1 — прессовый стол машины; 2 — модельная плита; 3 — опока; 4 — наполнительная рамка; 5 — прессовая колодка; 6 — неподвижная траверса; 7 — модель	Наибольшее уплотнение получается в верхних частях формы. С увеличением отношения высоты к поперечному сечению формы возникает значительная неравномерность уплотнения. Над выступающими частями модели участки смеси переуплотняются. Смесь в зазорах между моделью и стенками опоки и между моделями уплотняется слабо. Увеличение давления прессования приводит к росту средней плотности формы; однако при этом увеличивается обратная упругая деформация формы и снижается газопроницаемость
<i>Прессование нижнее.</i> Давление прессования до 40 кгс/см² (40 · 10⁵ Па)  1 — наполнительная рамка; 2 — модельная плита; 3 — подвижный прессовый стол; 4 — модель; 5 — неподвижный стол; 6 — опока; 7 — неподвижная плита	Наибольшее уплотнение получается в частях формы около модели. Уплотнение смеси в карманах между моделью и стенками опоки, а также между моделями получается лучше, чем при верхнем прессовании

Способ, схема и параметры уплотнения	Характеристика уплотнения
<i>Прессование дифференциальное многоплунжерной головкой.</i> Давление прессования до 40 кг/см^2 ($40 \cdot 10^5 \text{ Па}$)  1 — опока; 2 — наполнительная рамка; 3 — модель; 4 — прессующая головка; 5 — поршни; 6 — прессующие башмаки	По сравнению с «чистым» прессованием снижается неравномерность уплотнения по объему формы
<i>Встряхивание с последующим прессованием.</i> Высота подъема стола 25—100 мм, частота ударов 40—250 1/мин, давление до 20 кг/см^2 ($20 \cdot 10^5 \text{ Па}$)	Обеспечивается более высокое уплотнение в верхних слоях формы по сравнению со встряхиванием и более равномерное распределение плотности по сравнению с прессованием
<i>Встряхивание с одновременным прессованием.</i> Частота ударов 300—1000 1/мин, давление до 20 кг/см^2 ($20 \cdot 10^5 \text{ Па}$)  1 — прессовый поршень; 2 — амортизатор ударов; 3 — встряхивающий поршень; 4 — прессовая колодка	По сравнению со встряхиванием с последующим прессованием достигается высокая средняя плотность формы, снижается неравномерность уплотнения, увеличивается уплотнение в сложных карманах
<i>Вибропрессование.</i> Частота ударов 2500—4000 1/мин, амплитуда 0,8—1,0 мм, давление до 4 кг/см^2 ($4 \cdot 10^5 \text{ Па}$)	При действии вибрации на формовочную смесь во время прессования происходит рост текучести смеси, что способствует увеличению уплотнения и снижению неравномерности по объему уплотняемой формы

Способ, схема и параметры уплотнения	Характеристика уплотнения
<i>Пескодуювно-прессовое уплотнение.</i> Давление надува до 6 кгс/см² ($6 \cdot 10^5$ Па), давление прессования до 40 кгс/см² ($40 \cdot 10^5$ Па)  <i>а) — надув; б) — прессование:</i> <i>1 — смесь; 2 — неподвижная прессовая плита; 3 — подвижная прессовая плита</i>	За счет надува смеси достигается высокое и регулируемое предварительное уплотнение до прессования, благодаря чему снижается неравномерность распределения конечной плотности
<i>Пескометное уплотнение.</i> Скорость выброса смеси 30—45 м/с; частота вращения ротора 1000—1500 об/мин  <i>1 — метательная головка; 2 — лопатка</i>	Обеспечивается практически равномерное уплотнение по высоте формы. Снижение уплотнения наблюдается под местами пересечения крестовин опоки, а также в узких вертикальных бовнах формы

высокопроизводительных автоматических формовочных линий, на которых можно изготавливать отливки массой до 60 кг в формах размером до 1000×1000 мм.

Сборка форм заключается в установке и креплении стержней, тщательной очистке формы от пыли, остатков формовочной смеси, контроле толщины стенок будущей отливки, осуществлении мероприятий по предотвращению затекания расплава в вентиляционную систему и вытекания его по линии разъема, накрывании верхней полуформой нижней, установке при необходимости литниковых и выпорных чаш, креплении полуформ.

В сырые формы не допускается простановка стержней, имеющих температуру выше, чем температура формы. В случае необходимости мелкие стержни крепят в форме в нужном положении проволокой или гвоздями; в качестве дополнительных опор для стержней большой длины и массы применяют жеребейки (ГОСТ 9062—59).

При массовом производстве для сборки сложных форм с большим количеством стержней рекомендуется стержни предварительно подгонять друг к другу, собирать в комплекты и устанавливать в форму с помощью специальных сборочных кондукторов. Вентиляционные каналы стержней должны совпадать с соответствующими наколами и каналами форм. При установке форм на конвейере конструкция заливочной площадки должна обеспечивать вентиляцию нижней полуформы.

Для предупреждения вытекания металла по линии разъема при формовке по-сырому производят гладилкой подрезку лада формы по периметру полости

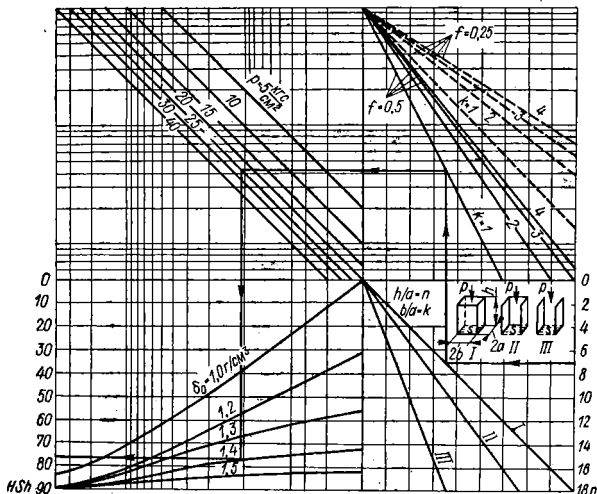


Рис. V.1. Номограмма для выбора режимов уплотнения смеси прессованием с предварительным уплотнением при формовке по-сырому

формы и литниковой системы. Глубина подрезки 15—20 мм, расстояние подрезки от края полости формы 40—100 мм. Для того чтобы предупредить подъем верхней части формы при заливке, производят крепление форм с помощью груза, болтов, скоб, штырей с клиньями и специальными стяжками. В условиях конвейерного производства эта операция производится путем механизированного нагружения форм. Неплотность прилегания полуформ не должна превышать 1 мм. Расчет крепления рекомендуется производить следующим образом [8]:

для форм без стержней

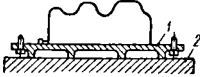
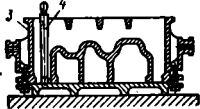
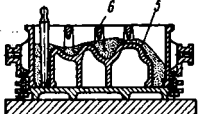
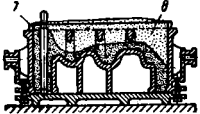
$$P = K [H (F_{\text{отл}} + F_{\text{лит}}) \gamma_{\text{м}} - m]; \quad (\text{V.1})$$

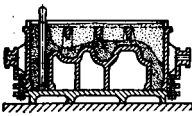
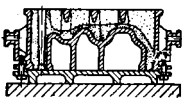
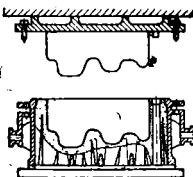
для форм со стержнями

$$P = K [H (F_{\text{отл}} + F_{\text{лит}}) \gamma_{\text{м}} + (\gamma_{\text{м}} - \gamma_{\text{ст}}) W_{\text{ст}} - m], \quad (\text{V.2})$$

где P — сила, испытываемая верхней полуформой от давления жидкого металла, кгс; K — коэффициент запаса, учитывающий гидравлический удар, $K = 2 \div 4$ (значение K берется тем большее, чем больше скорость заливки и крупнее отливка); H — высота верхней полуформы, дм; $F_{\text{отл}}$ — горизонтальная проекция

Машинное изготовление опочных форм

Наименование операции и схема	Краткие указания по выполнению операций
Монтаж модельной оснастки 1 на столе машины 2. Подготовка модельной оснастки 	Подготовка модельной оснастки включает в себя обдув ее сжатым воздухом и нанесение на модель разделительной смазки (обычно смеси керосина с добавками нефти, мазута, графита и т. д.)
Установка опоки 3 и стояка 4 	Установка стояка производится обычно при изготовлении верхних полуформ. В крупносерийном и массовом производстве применяются стационарные стояки, закрепленные на модельной плите
Нанесение на модель слоя облицовочной смеси 5 и упрочнение элементов формы крючками 6 	Облицовочные смеси применяются при изготовлении крупных толстостенных отливок; выступающие части формы, требующие упрочнения, крепятся «солдатками» или крючками из проволоки диаметром 3—6 мм из расчета пять крючков на 1 дм² поверхности. Расстояние от поверхности модели до крючков должно быть 10—15 мм
Установка наполнительной рамки 7 и засыпка наполнительной формовочной смеси 8 	В ряде случаев, например при изготовлении форм в мелких опоках на встряхивающих формовочных машинах, при механизированной подаче смеси наполнительные рамки не применяются. При этом засыпка смеси в опоку производится при работающем встряхивающем механизме машины

Наименование операции и схема	Краткие указания по выполнению операций
Уплотнение смеси 	Уплотнение производится одним из методов, описанных в табл. V.24
Удаление (срезание) лишней смеси 	Срезание излишков смеси для получения ровного контура может не производиться, например при изготовлении верхних полуформ
Вентилизация формы и извлечение стояка 	Осуществляется вентиляция формы, как правило, с помощью каналов 9, получаемых накалыванием формы душиками. При крупносерийном и массовом производстве для вентиляции формы применяют специальные газоотводные полости и каналы, расположенные по разьему и выполняемые по модельной оснастке непосредственно в процессе уплотнения смеси
Поворот полуформы и извлечение модели 	На некоторых машинах, преимущественно при изготовлении верхних полуформ в мелких и средних опоках, поворот полуформы не производится

Технические характеристики формовочных машин [19]

Характеристика	Модель	Назначение и область применения	Размеры опоки в свету (длина × ширина × высота), мм	Производительность *			Грузоподъемность, кгс (~10Н)
				пас-портная цикло-вая	расчетная		
					крупно-серийное и массовое производство	серийное и мелко-серийное производство	
Формовочные машины пневматические встряхивающие							
Полуавтоматическая с допрессовкой и штифтовым съемом	91271БМ	Для верхних и нижних полуформ	500×400×200	100	60—90	50—60	150
С допрессовкой и поворотным столом	254М	Для нижних полуформ. Возможна формовка верхних полуформ с последующей кантовкой	800×700×300	45	35—45	25—35	600
	255М		1000×800×350	40	30—40	20—30	1200
С допрессовкой и протяжной рамкой	266М	Преимущественно для верхних полуформ	600×500×250	50	40—50	30—40	400
	2М265		800×700×300	50	40—50	30—40	600
	267М		1000×800×350	45	30—40	20—30	1200

Характеристика	Модель	Назначение и область применения	Размеры опоки в свету (длина × ширина × высота), мм	Производительность *			Грузоподъемность, кгс (~10Н)
				паспортная цикловая	расчетная		
					крупно-серийное и массовое производство	серийное и мелко-серийное производство	
С допрессовкой и штифтовым съемом	703М	Для нижних и верхних полуформ	1000×600×250	40	30—40	20—30	900
С перекидным столом и вытяжным механизмом	232М	Преимущественно для нижних полуформ	800×700×450	40	30—40	20—30	600
	233М		1000×800×400	20	15—20	12—15	1320
	234М		1600×1200×600	17	12—15	8—12	3200
	235М		2000×1600×700	10	8—10	5—8	5000
	235С1		2500×1600×700	10	8—10	5—8	6000
Вибропрессовая со штифтовым съемом То же, полуавтоматическая	226	Для верхних и нижних полуформ	500×400×200	100	70—100	50—70	150
	91226Б		500×400×200				
Полуавтоматическая встряхивающе-прессовая с поворотом полуформ	Н2143Б	Для верхних и нижних полуформ	1600×1200× × (300÷600)	40	—	—	5000

Характеристика	Модель	Назначение и область применения	Размеры опки в свету (длина X ширина X высота), мм	Производительность *			Грузоподъемность, кгс (~10Н)
				пас-порт-ная цикло-вая	расчетная		
					крупно-серийное и массовое произ-водство	серийное и мелко-серийное произ-водство	
Формовочные пескометры							
Стационарный	2Б93	Для изготовления средних и крупных отливок в условиях единичного и мелко-серийного производства	6000×1200, 3000×2400 и др.	12,5	—	—	4600 **
Передвижной кон-сольный	296М2		Ширина обслужи-ваемого уча-стка 7500 мм	25	—	—	7500 **
Подвесной мостовой	ПН40М		Площадь об-служиваемого участка 9 м²	40	—	—	Ход тележ-ки — 3000, ход моста — 4100 мм
Подвесной мостовой сдвоенный	2ПН40М		То же, 18 м²	80	—	—	Ход теле-жек — 3000, ход мостов — 4100 мм

* Производительность указана в следующих единицах физических величин; для формовочных машин — полуформ в час; для пескометров формовочных — м³/ч (уплотненной смеси).

** Суммарный вылет рукавов, мм.

Технические характеристики автоматических формовочных линий

Модель линии, фирма	Характеристика формовочной машины в линии	Назначение и область применения	Размер опоки (формы), мм	Цикловая производитель- ность, форм/ч
В-417	Прессовая, давление прес- сования до 40 кгс/см ² (40·10 ⁶ Па)	Для отливок массой до 50 кг в условиях массового и крупносерийного производ- ства	900×600×250/250	240
КВ-301	Встряхивающе-прессовая, давление прессования до 15 кгс/см ² (15·10 ⁶ Па)	То же	1100×750×300/300	240
8Л91265СМ	Встряхивающе-прессовая, давление прессования до 5 кгс/см ² (5·10 ⁶ Па)	»	800×700×300/300	120
4Л22821	Встряхивающе-прессовая, давление прессования до 4 кгс/см ² (4·10 ⁶ Па)	Для отливок массой до 10 кг в условиях серийного и мелкосерийного производства	500×400×150/150	300
НЛ141	Встряхивающе-прессовая, давление прессования до 16 кгс/см ² (16·10 ⁶ Па)	Для отливок массой до 100 кг в условиях серийного и мелкосерийного производства	1200×1000×250/500	60
НЛ452С	Встряхивающе-прессовая, давление прессования до 16 кгс/см ² (16·10 ⁶ Па)	Для отливок массой до 250 кг в условиях серийного и мелкосерийного производства	1400×1100×450/450	20
7058	Пескодунно-прессовая для безопочной формовки, давле- ние прессования до 40 кгс/см ² (40·10 ⁶ Па)	Для отливок массой до 10 кг в условиях массового и крупносерийного производ- ства	600×500×(120÷300)	300

Модель линии, фирма	Характеристика формовочной машины в линии	Назначение и область применения	Размер опоки (формы), мм	Цикловая производитель- ность, форм/ч
КЛ2002	Пескодувно-прессовая, без- опочная, давление прессова- ния до 40 кгс/см ² ($40 \cdot 10^5$ Па)	Для отливок массой до 20 кг в условиях массового и крупносерийного производ- ства	600×450×(180÷300)	540
Фирма «Кюн- кель—Вагнер» (ФРГ)	Встряхивающе-прессовая, давление прессования до 18 кгс/см ² ($18 \cdot 10^5$ Па)	Для отливок при массовом и крупносерийном производ- стве при средней металлоем- кости формы 35 кг	1100×750×285/285	240
Фирма СПО (США)	Встряхивающе-прессовая, давление прессования 8,5 кгс/см ² ($8,5 \cdot 10^5$ Па)	То же	900×700×360/360	180
Фирма «Гизаг» (ГДР)	Встряхивающе-прессовая, давление прессования 8— 14 кгс/см ² ($8 \div 14 \cdot 10^5$ Па)	»	1100×800×300/300	180
Фирма СПО (США)	Встряхивающе-прессовая, давление прессования 8,5 кгс/см ² ($8,5 \cdot 10^5$ Па)	То же, но при средней ме- таллоемкости 25 кг	800×700×260/260	270
2013, фирма «Диса» (Дания)	Пескодувно-прессовая для безопочной формовки, давле- ние прессования 30 кгс/см ² ($30 \cdot 10^5$ Па)	То же, но при средней ме- таллоемкости 8 кг	600×480×(120÷300)	300

отливки в плоскости разъема, дм^2 ; $F_{\text{лит}}$ — площадь литниковой системы в разъеме формы, дм^2 ; γ_m , $\gamma_{\text{ст}}$ — плотность жидкого металла и стержня соответственно, кг/дм^3 ; $W_{\text{ст}}$ — объем стержня без знаков, дм^3 ; m — масса верхней полуформы, кг .

Продолжительность хранения собранных под заливку сырых форм не должна превышать 1 ч.

Основные технические характеристики формовочных машин, выпускаемых промышленностью, приведены в табл. V.26, а характеристики отечественных и некоторых зарубежных автоматических формовочных линий — в табл. V.27.

Процесс изготовления стержней для формовки по-сырому не отличается от процесса их изготовления при формовке по-сухому*. Сырые стержни применяются очень редко, например при литье канализационных труб (см. гл. VII).

3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ФОРМ И СТЕРЖНЕЙ ПО-СУХОМУ

Формы по-сухому применяют при серийном, мелкосерийном и единичном производстве ответственных и тяжелых отливок, а также тонкостенных отливок сложной конфигурации. Они имеют большую прочность по сравнению с сырыми, высокую сопротивление гидростатическому и гидродинамическому напору заливаемого чугуна, высокую газопроницаемость, удовлетворительную податливость. Однако за счет сушки форм и увеличения времени охлаждения отливок в форме длительность производственного цикла увеличивается.

Изготовление форм

В смесях для изготовления сухих форм в качестве основных формовочных материалов применяют кварцевый песок и глину. Очень крупные пески групп 04 и 0315 используют при получении отливок массой свыше 1000 кг, средний песок группы 02 — для мелкого и среднего литья.

Из глин предпочитают марки I÷III/1÷2 ($T_1 \div T_2$) с высокой прочностью в высушенном состоянии. Формы по-сухому обычно изготавливают из смесей с повышенным содержанием глины, так как после сушки они должны обладать высокой прочностью.

В смеси для формовки по-сухому вводят также вспомогательные материалы: сульфитно-спиртовую барду и другие связующие материалы для увеличения прочности формовочной смеси; древесные опилки, торф и другие органические вещества для улучшения податливости и газопроницаемости форм; магнезит, хромит, графит и другие огнеупорные материалы для увеличения термостойкости смесей и для регулирования скорости затвердевания отливок. Примеры облицовочных смесей для формовки по-сухому приведены в табл. V.28.

В зависимости от размеров отливок и характера их производства применяют следующие способы изготовления форм: ручная формовка в опоках — для мелких, средних и частично для крупных отливок при единичном и мелкосерийном производстве; ручная формовка в почве (открытая и закрытая) — преимущественно для крупных отливок при единичном производстве; машинная формовка — для мелких и средних отливок при серийном производстве (операции и оборудование при машинном изготовлении форм приведены выше).

Ручные способы формовки малопроизводительны и не обеспечивают высокой точности отливок. При формовке в опоках применяют следующие варианты: по цельной плоской модели; по разъемной модели; по цельной модели с подрезкой; по цельной или разъемной модели с съемными частями; по цельной модели с фальшивой опоклой; по цельной модели с фигурной подмодельной доской; по разъемной модели с перекидным куском; в стержнях; в трех и более опоках; по разъемным моделям в съемных опоках (безопочная формовка) и др. Способ ручной формовки в опоках выбирают в зависимости от конфигурации и размера отливок, а также от количества изготавливаемых отливок. Изготовление форм в опоках производится в общем так же, как при формовке по-сырому.

* Описание процесса изготовления стержней см. с. 417.

Примеры облицовочных песчано-глинистых смесей для формовки по-сухому

Характеристика отливки		Характеристика смеси						Массовая доля составляющих в смеси, %		Продолжительность перемешивания, мин
		Зерновой состав	Содержание глинистых составляющих, %	Газопроницаемость в сыром состоянии	σ_c в сыром состоянии, кгс/см ² (10 ⁵ Па)	Влажность, %	Оборотная смесь	Песок и глина	Древесные опилки	
Масса, кг	Преобладающая толщина стенок, мм									
До 1000	Не ограничивается	02; 0315	12—14	60—80	0,5—0,8	6—7	40—70	27—57	До 3	10—12
Более 1000	То же	0315; 04	12—16	80—100	0,5—0,8	6—8	35—60	37—62	» 3	10—12

Примечание.
Песок и глина могут быть заменены глинистым песком.

Примечание.
Песок и глина могут быть заменены глинистым песком.

Открытую формовку в почве применяют для изготовления неотвественных плоских отливок (опроки, плиты и др.), а закрытую формовку в почве — для изготовления сложных отливок, причем верхняя часть отливки получается в опоке. При открытой почвенной формовке обычно делают мягкую постель, при закрытой — мягкую или твердую; последнюю выполняют преимущественно для получения крупных и тяжелых отливок. Формы изготавливают по моделям (цельным и разъемным) или по шаблонам (вращаемым и передвигаемым), которые, как правило, используют при производстве единичных отливок.

Поверхности моделей защищают от прилипания к ним смеси припыливанием модельными пудрами, наилучшей из которых является ликоподий (споры плауна). Ввиду дороговизны и дефицитности ликоподий заменяют часто припылами из тончайших порошков мрамора, трепела, инфузорной земли, обработанных парафином, стеарином, воском и другими водонепроницаемыми веществами.

Рекомендуемая наименьшая толщина слоя облицовочной смеси при ручной формовке по-сухому характеризуется следующими данными: для мелких форм 10—20 мм; средних 20—30 мм; крупных 30—50 мм; для формовки в кирпиче по модели 10—15 мм; для формовки по шаблону 5—15 мм.

Уплотнение смеси при ручной формовке производится ручной или пневматической трамбовкой. При работе пневматической трамбовкой степень уплотнения смеси вначале нарастает быстро, а затем медленно; поэтому производить лишнее количество ударов трамбовкой бесполезно.

Рекомендуемая степень уплотнения смеси при ручной формовке приведена в табл. V.29.

При применении облицовочных смесей их необходимо предварительно обжимать (особенно тщательно на вертикальных частях моделей) до получения твердости не менее 40 ед. Добавочное поверхностное упрочнение форм достигается шлифованием (табл. V.30).

Степень уплотнения смеси при ручной формовке

Масса отливки, кг	Высота от низа полости формы до литниковой чаши, мм	Твердость по твердомеру модели 071, ед.	
		Верх полости формы	Низ полости формы
25—100	До 300	35—50	40—60
100—500	» 750	45—60	55—70
500—2000	» 1500	55—65	65—75
2000—5000	» 2500	60—75	75—85
Св. 5000	Св. 2500	70—80	80—95

Таблица V.30

Нормы проशीливания форм

Поверхности проशीливания	Длина шпилек, мм	Шаг проशीливания, мм
Вертикальные и слегка наклонные	50—100	80—90
Горизонтальные:		
у подвода металла	50—100	70—90
при толщине тела отливок до 35 мм	70—80	100—120
при толщине тела отливок более 35 мм	80—100	60—80
Постель:		
у питателей в средних и крупных отливках	50	25—30
по кромке питателей	50	10—15
Кромки фасок	70—100	70—90
Углы с вершинами книзу и острые углы	70—100	25—30
Участки вокруг отъемных частей модели глубиной более 25 мм	50—70	70—90

Для получения чистой поверхности отливок, увеличения поверхностной прочности и предохранения от осыпаемости на поверхность сухих форм наносят противопожарные краски и припылы. Однако чрезмерная толщина слоя краски приводит к ее растрескиванию при сушке, отрыву отдельных участков от поверхности формы и дефектам отливки по засорам. Возможные сроки хранения собранных форм до заливки приведены ниже.

Состояние форм	Поверхностно-подсушенные	Сухие
Сроки хранения, ч:		
средних форм	10—12 (в опоках)	18—24
крупных »	12—18 (в почве)	24—36

Изготовление стержней

Классификация стержней по сложности приведена в табл. V.31. Стержни класса сложности I изготавливают из смесей, обеспечивающих высокие значения прочности на растяжение и поверхностной прочности высушенных стержней, достаточную термическую устойчивость.

Классификация стержней

Класс сложности	Характеристика стержней
I	Стержни наиболее сложной конфигурации, имеющие тонкие сечения значительной протяженности, формирующие в отливках узкие внутренние необрабатываемые полости, имеющие узкие знаки (например, стержни рубашки охлаждения блока цилиндров автомобиля и т. п.)
II	Сложные стержни с массивными частями, сочетаемыми с тонкими ребрами, перемычками, выступами и впадинами, обладающие более развитыми знаками, чем стержни класса I; и формирующие в отливках полностью или частично необрабатываемые полости (например, стержни сложных корпусов приборов)
III	Стержни средней сложности, не имеющие особо тонких сечений, формирующие в отливках частично или полностью обрабатываемые поверхности, требующие наряду со средней прочностью в сыром и сухом состоянии высоких поверхностных качеств (например, центровые стержни блока цилиндров)
IV	Стержни несложной конфигурации, формирующие в отливках обрабатываемые или необрабатываемые внутренние полости, или внешние габаритные стержни средней и малой сложности (например, стержни крупных корпусных отливок, станин станков). Для увеличения податливости эти стержни могут изготавливаться пустотелыми или с пористыми прокладками
V	Стержни наиболее простой конфигурации, имеющие постоянные сечения, формирующие в отливках обрабатываемые и необрабатываемые ровные, с плавными переходами внутренние и внешние поверхности (например, стержни простых отверстий, массивные стержни для образования внутренних полостей в крупных отливках)

Эти требования к смесям для изготовления стержней последующих классов сложности соответственно снижаются. Смеси для изготовления стержней классов IV и V должны обычно иметь высокую сырую прочность.

Для изготовления стержневых смесей, требующих тепловой сушки, применяют кварцевые пески (ГОСТ 2138—74). Пески рекомендуется использовать сухие, просеянные через сито с ячейками размером в свету 3—5 мм. При изготовлении стержней на пескодувных машинах целесообразнее применять крупнозернистые и среднезернистые пески, особенно в том случае, когда стержневой ящик снабжен вентами, через которые может проходить мелкозернистый песок.

В качестве связующего в смесях для несложных крупных стержней классов IV и V применяют глину. Для повышения прочности стержней применяют каркасы. Ввиду невысокой связующей способности глины в сухом состоянии и уменьшения газопроницаемости и податливости стержней взамен глины в стержневых смесях применяют большое количество специальных связующих материалов. Эти связующие делают на органические (выгорающие), неорганические (невыгорающие), водные и неводные. Характеристика некоторых широкоприменяемых связующих приведена в табл. V.32.

Для улучшения выбиваемости стержней в состав смеси вводят: растительные и минеральные масла, их заменители, искусственные смолы; канфоль, битум, пеки, вводимые в стержневые смеси в виде порошков, которые при сушке расплавляются и обволакивают зерна песка пленкой; сульфитно-спиртовую барду, кормовую патоку, декстрины, пектиновый клей и др., вводимые в виде водных

Характеристики связующих материалов для стержневых смесей

Тип связующего	Состав связующего	Характеристика связующего
ССБ	Кальциевые соли лигносульфоновых кислот с примесью редуцирующих и минеральных веществ	Водный, быстро твердеющий материал; малая связующая способность в песчаных смесях; хорошо сочетается с глиной и неводными связующими; высушенные стержни гигроскопичны
СП и СБ	Эмульсия сульфитной барды с окисленным петролатумом (СП) и крепителем ГТФ (СБ)	Быстро твердеющие водные связующие; по сравнению с бардой имеют большую связующую способность и пониженную гигроскопичность; являются взаимозаменяемыми связующими
БК	Эмульсия сульфитной барды с крепителем ГТФ и лаком этиноль	Водный быстро твердеющий материал; связующая способность выше, чем у связующих СП и СБ. Хорошо сочетается с глиной; высушенные стержни мало гигроскопичны
П	Раствор окисленного петролатума в уайт-спирите	Неводный материал, замедленно твердеющий; хорошо сочетается с бардой; высушенные стержни мало гигроскопичны
ПТ	Раствор окисленного петролатума и таллового масла в уайт-спирите	Неводный материал; скорость твердения выше, чем у связующего П; хорошо сочетается с бардой; высушенные стержни мало гигроскопичны
ДП	Однородный порошок на основе древесного пека и формовочной глины	Нормально твердеющий материал, хорошо сочетается с глиной и бардой
ГТФ	Тяжелая фракция сланцевой газогенераторной смолы из прибалтийских сланцев	Неводный, замедленно твердеющий материал; хорошо сочетается с бардой; высушенные стержни мало гигроскопичны
4ГУ	Раствор в уайт-спирите сплава растительного масла и канифоли	Неводный, нормально твердеющий материал; хорошо сочетается с бардой; высушенные стержни мало гигроскопичны
КВС	Продукт обработки КВ ₀ раствором гашеной извести в воде	Водный, быстро твердеющий материал; скорость твердения повышается при сочетании с бардой; хорошо комбинируется с глиной и отработанной смесью; стержни легко выбиваются из отливок

Тип связующего	Состав связующего	Характеристика связующего
Декстрин	Продукт гидролиза крахмала	Порошковый водный материал; хорошо сочетается с глиной и неводными связующими; сообщает смеси сравнительно высокую прочность в сыром состоянии
Жидкое стекло	Водный раствор силиката натрия	Водный, быстро твердеющий и самозатвердевающий материал; по сравнению с органическими связующими имеет большую скорость твердения, но приводит к затрудненной выбивке стержней
Примечание. ССВ — сульфитно-спиртовая барда.		

растворов. Для получения податливых стержней в смесь вводят древесные опилки, которые предварительно просеивают через сито с ячейками 20×20 мм и смачивают до влажности 25—30%. При изготовлении стержней на пескодувных машинах для увеличения податливости рекомендуется вводить в смесь асбест хризолитовый 6-го сорта марок К6-20, К6-30, К6-5 или 7-го сорта марок 7-370, 7-450 (ГОСТ 12871—67).

Для того чтобы снизить прилипаемость, в смеси вводят асбестовую крошку, пылевидный кварц, полужирные пески, мазут или керосин. Прилипаемость может быть понижена также при нанесении на рабочую поверхность стержневого ящика припылов, разделительных жидкостей, например раствора крепителя П в керосине, каучука в уайт-спирите и др. При изготовлении стержней из смесей со связующим КВС рекомендуется применять разделительную жидкость, состоящую из 8—10% бронзовой пудры, 28—30% машинного масла, 60—64% уайт-спирита.

При проверке качества стержневых смесей контролируются прочностные показатели как в сыром, так и в сухом состоянии, газопроницаемость, влажность (ГОСТ 2189—62). При изготовлении стержней на пескодувных машинах прочность смесей в сыром состоянии должна находиться в пределах $0,05—0,2$ кгс/см² [$(0,05 \div 0,2) 10^6$ Па] [9]. Типовые составы стержневых смесей приведены в табл. V.33. Основные способы изготовления стержней и способы их вентиляции приведены в табл. V.34—V.36.

Для изготовления крупных и средних стержней наибольшее распространение получили пневматические встряхивающие машины и пескометы (см. п. 2 гл. V), а для изготовления стержней массой до 100 кг в массовом и крупносерийном производстве — пескодувные и пескоструйные машины. На этих машинах при изготовлении стержней достигаются большая объемная скорость формообразования, совмещение операций наполнения и уплотнения стержневой смеси, более равномерное уплотнение. При работе на пескодувных машинах наиболее рациональным является давление надува $4,5—6,5$ кгс/см² [$(4,5 \div 6,5) 10^6$ Па]. При повышении давления сверх $6,5$ кгс/см² ($6,5 \cdot 10^6$ Па) степень уплотнения стержней увеличивается незначительно. Время открытия вдувного клапана рекомендуется определять экспериментально. Ориентировочно оно не должно превышать $0,15—0,20$ с для малых пескодувных машин и $0,5—1$ с для больших. Основные технические характеристики оборудования для изготовления стержней приведены в табл. V.37.

Типовые составы стержневых смесей

Класс сложности стержней (по табл. V.21)	Массовая доля составляющих, %					Характеристика смеси					
	Оборотная смесь	Кварцевый песок	Огнеупорная глина	Связующие	Древесные опилки ***** , не более	Марка песка	Содержание глинистых составляющих, %	Газопроницаемость в сыром состоянии, не менее	Предел прочности, кгс/см ² (10 ⁵ Па)		Влажность, %
									σ_c в сыром состоянии	σ_b в сухом состоянии	
I	—	100	—	1,2—1,5 ЛМ или НО *	—	K02A	До 2	130	0,03—0,06	7—10	1—3
II	—	97—100	0—3	3—4 4ГУ (п) + + 2—3 ССБ или 3—5 ГТФ + + 2—3 ССБ **	—	K02A	3—5	100	0,06—0,10	5—7	2—4
III	—	96—97	3—4	2—3 ГТФ + + 2—3 ССБ или 3—4 БК ***	1	K02A	4—7	100	0,10—0,16	3,5—6	2—4
IV	0—40	59—93	1—7	1,5—2 КТ + 2—3 ССБ; 4—5 СП или СБ + + 2—2,5 ССБ ****	2	K02A и K0315Б	6—10	70	0,16—0,30	2—3	4—5,5
V	20—60	38—72	2—8	4—5 СП или СБ + + 2—3 ССБ	3	K02A K0315A	10—14	70	0,30—0,50	1—2	5—7

Примечания:

1. Обозначения связующих: ЛМ — льняное масло, НО — натуральная олифа, ССБ — сульфитно-спиртовая барда, Д — декстрин, ПК — пектиновый клей, К — канифоль; остальные обозначения связующих приведены в табл. V.32.

2. Для стержней классов сложности II и III применяется крепитель ЗИЛ в количестве 2—3%.

3. Вместо кварцевого песка и огнеупорной глины можно применять полужирный песок ПО2 и ПО315.

* Возможно также использование 2—2,5% П или 2,5—3% 4ГУ (в).

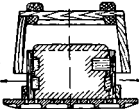
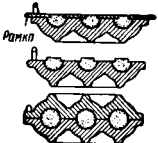
** Возможно также использование 2—3% П + 2—3% ССБ; 3—4% БК; 4—4,5% КТ + 1,5—2% ССБ.

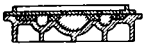
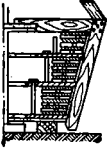
*** Возможно также использование 3,5—4% КТ + 1—1,5% ССБ; 3,5—4% ДП; 3—3,5% КВ; 4—5% СП; 4—5% СБ; 3,5—4% К + 2—3% ССБ.

**** Возможно также использование 2—3% П или Д или ПК.

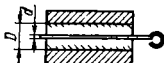
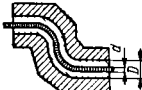
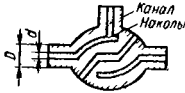
***** Для получения податливых стержней.

Способы ручного изготовления стержней

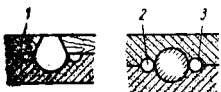
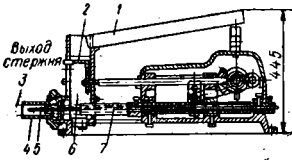
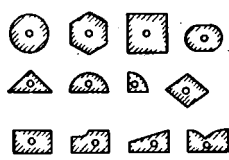
Способ изготовления и схема оснастки	Содержание операций	Область применения
По стержневому ящику с плоским вертикальным разъемом 	Скрепляют половинки ящика и наполняют его стержневой смесью, уплотняют смесь, вбивают каркас и производят проколку вентиляционных каналов; после этого ящик разнимают, стержень извлекают и укладывают или устанавливают на сушильную плиту	Для простых стержней различного сечения
По стержневому ящику с криволинейным разъемом 	Уплотняют смесь в ящике, снимают верхнюю половинку, накладывают рамку, наполняют слегка уплотненной формовочной смесью и накрывают сушильным листом; после этого все переворачивают и снимают нижнюю половинку ящика и рамку	Для стержней различной сложности
По стержневому ящику с вкладышами 	После установки вкладышей ящик наполняют смесью, уплотняют ее, затем производят прокладку каркасов, проколку вентиляционных каналов и наложение сушильного листа; после этого все переворачивают, снимают ящик и раздвигают вкладыши	Для сложных стержней с высокой точностью размеров
По стержневому ящику из двух половин 	После уплотнения смеси и укладки каркасов обе половинки ящика соединяют; затем одну половинку снимают, на ее место ставят фасонную сушильную плиту, которую вместе со второй половинкой ящика переворачивают, после чего вторую половинку снимают и стержень транспортируют в сушило	Для стержней различных размеров, когда они не имеют плоской поверхности для сушки на листах

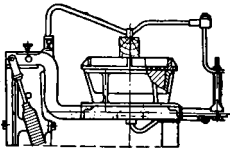
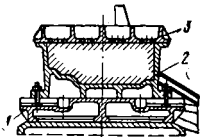
Способ изготовления и схема оснастки	Содержание операций	Область применения
По половинкам с последующим соединением 	Изготовленные отдельно половинки стержня склеивают или соединяют другим способом; возможно также изготовление сначала одной половинки, которая после сушки используется как сушильная плита для второй половинки	Для стержней различных размеров при отсутствии фасонных сушителей
По вращающемуся шаблону с вертикальной осью (в глине по кирпичу) 	После укладки кирпича на глине (с прокладкой чугунных колец и соломенного жгута) на него наносят облицовочный слой, формируя его по шаблону, затем стержень красят и сушат	Для крупных стержней, имеющих форму тел вращения
По протяжным шаблонам 	После установки плиты 1 и полудисков 2 укладывают каркасы, насыпают и уплотняют слой стержневой смеси; после этого избыток смеси снимают шаблоном 3, а половинки стержня сушат и скрепляют	Для простых стержней равного сечения, не являющихся телами вращения (например, колена и др.)
По вращающемуся шаблону с горизонтальной осью 	На установленный на стенке патрон (трубу с отверстиями), обмотанный жгутом из соломы или пакли, наносят слой стержневой смеси и стержень «шаблонируют», вращая патрон вокруг горизонтальной оси; затем стержень сушат, заделывают трещины, наносят окончательный слой смеси; после повторного шаблонирования и окраски стержень вновь сушат	Для длинных крупных стержней, имеющих форму тел вращения
По открытому стержнево-му ящику со скребком 	Верхнюю поверхность стержня формируют путем удаления избыточной смеси скребком на открытой стороне ящика	Для стержней сложной формы с целью упрощения изготовления ящика

Способы и нормы вентиляции стержней

Эскиз	Способы и нормы вентиляции						
	При помощи прямого душника или металлических прутков, вынимаемых через стенки ящика						
	Диаметр или толщина стержня D , мм	До 20	30	40	50	70	100
	Диаметр душника d , мм	3	5	7	10	15	20
	При помощи витой стальной стружки						
Криволинейные ленточные стержни	Диаметр или толщина стержня D , мм	До 20	30	40	50	70	100
	Диаметр стружки d , мм	3	5	7	10	15	20
	При помощи хлопчатобумажных жгутов со слоем воска						
	Диаметр жгута d , мм	3	5	6	7	—	—
	При помощи жгутов из соломы или древесной стружки						
	Диаметр жгута d , мм	—	—	—	—	15	25
	При помощи прорезных каналов						
	Размер знака стержня D , мм	50	70	100	150	200	300
	Диаметр канала d , мм	15	20	30	40	50	60
	Диаметр душника, мм	3	3	5	5	7	7
	Количество наколов на 1 дм длины	5—6	6—8	6—8	8—10	8—10	8—10
	При помощи колодцев 1						
Массивные стержни	Диаметр душника, мм	5	7	10			
	Количество наколов на 1 дм ²	10	7	5			
	При помощи сердечников с гарью 2						
	При малой прочности стержня и большом давлении металла гарь уплотняют. При большой прочности стержня и малом давлении металла гарь насыпается без уплотнения						

Способы изготовления стержней на машинах

Способ изготовления и схема установки	Содержание операции	Область применения
На прессовой машине 	После установки наполнительной рамки 1 ящик наполняют стержневой смесью, прокладывают каркас, уплотняют смесь и снимают рамку. Затем накладывают верхнюю половинку ящика на нижнюю и прессуют стержень, причем излишки смеси переходят в желоба 2, 3; после этого разнимают ящик и укладывают стержень на сушильную плиту	Для мелких и средних стержней при серийном производстве
На выталкивающих мундштучных машинах  Примеры сечений стержней 	После подачи стержневой смеси по наклонному лотку 1 в приемную камеру 6, где она перемешивается и прижимается к низу мешалкой 2, смесь постепенно выжимается поршнем 7 в выходной патрон 4 и поступает в виде стержня на приемник 3. Вентиляционный канал образуется неподвижным прутком 5. По достижении заданной длины стержня рукоятку машины поворачивают и отрезают стержень	Для стержней простого профиля и постоянного сечения с вентиляционным каналом при массовом производстве

Способ изготовления и схема установки	Содержание операции	Область применения
На ручной встряхивающей машине 	После наполнения ящика стержневой смесью и установки каркаса смесь уплотняют встряхиванием с помощью рукоятки. Затем смесь подтрамбовывают, накрывают сушильной плитой, закрепляют прижимом и поворачивают со столом машины. После этого прижим раскрепляют, включают вибратор и вынимают стержень	Для различных мелких стержней при мелкосерийном производстве
На пневматических встряхивающих машинах 	После наполнения ящика стержневой смесью ее уплотняют встряхиванием. В машинах с перекидным столом 1 стержневой ящик 2 прикрепляют к машине, накрывают после уплотнения сушильной плитой 3, поворачивают и посредством вибратора освобождают стержень от ящика	Для различных стержней при серийном и массовом производстве
На пескодувной и пескострельной машине 	После установки стержневого ящика на столе машины его прижимают к плите резервуара со стержневой смесью; смесь вдвигается в ящик под давлением воздуха 5—6 атм [(5÷÷6) 10⁶ Па]. Затем ящик снимают с машины и извлекают стержень из ящика	

Технические характеристики оборудования для изготовления стержней [19]

Тип машины	Модель	Масса стержня, кг, не более	Размеры ящика, мм, не более	Цикловая производительность, съемов в час	Фактическая производительность, съемов в час	
					крупносерийное производство	серийное производство
Полуавтоматическая настольная пестрельная	348	2,5	300×250×300	360	100—180	60—110
Полуавтоматическая пестрельная	2Б83	6,0	400×300×400	400	100—200	60—120
Пескодувный полуавтомат	9128Б5	16	630×500×450	200	50—100	30—60
	9128Б7	40	800×630×450	150	40—75	25—50
	9128Б9	100	1000×800×500	120	20—40	12—25
Пескодувная с поворотнo-вытяжным механизмом	310	40	900×200×450	100	50—100	30—60
Встряхивающая с перекидным столом и вытяжным механизмом	2М284	25	600×400×300	50	20—25 *	15—18 **
Поворотнo-вытяжная	28П6М	16	280 ***	≤15 ****	—	—
	28П8М	40	500 ***	≤24 ****	—	—
	28П9	100	800 ***	≤30 ****	—	—
Базовая автоматизированная блок-линия	Л9128Б5	16	630×500×450	130	—	—
	Л9128Б7	40	800×630×(320÷495)	110	—	—
	Л9128Б9	100	1000×800×(380÷550)	90	—	—

* Фактическая производительность при серийном производстве (одна замена ящика в смену).
 ** Фактическая производительность при мелкосерийном производстве (четыре-пять замен ящиков в смену).
 *** Грузоподъемность, кгс.
 **** Продолжительность цикла, с.

Сушка форм и стержней

Способы сушки форм и стержней приведены в табл. V.38.

Сушка может быть поверхностной и сквозной. Для крупных форм и массивных толстостенных стержней для сокращения производственного цикла следует применять поверхностную сушку. Сквозная сушка форм применяется для изготовления особо ответственного литья и при длительной сборке. Сквозной сушке подвергаются мелкие и средние, а также крупные, но тонкостенные и сложные по очертаниям стержни.

Необходимая глубина просушки крупной песчаной литейной формы для чугунного литья может быть определена исходя из следующего принципиального положения: толщина сухого слоя литейной формы перед заливкой в нее жидкого металла должна быть такой, чтобы интенсивное парообразование на границе сухого (с влажностью менее 0,5%) и влажного слоев формы началось лишь после того, как на поверхности отливки образовалась достаточно прочная корка затвердевшего металла [30, 31]. Графически необходимая глубина просушки может быть определена по номограмме (рис. V.2) в зависимости от толщины стенки $\delta_{ст}$ отливки, температуры жидкого металла $t_{ж.м.}$, начальной температуры формы $t_{ф.н.}$, времени протекания жидкого металла через рассматриваемое сечение формы $\tau_{пр.}$, времени образования на поверхности отливки корки толщиной 2 мм τ^* и толщины слоя просушки X . Для этого по горизонтальной оси левого поля откладывают $\delta_{ст}$, например 40 мм. Затем проводят вертикаль (штриховая линия) до пересечения с наклонной линией, соответствующей $t_{ж.м.} = 1300^\circ \text{C}$. Из точки их пересечения

Таблица V.38

Способы сушки форм и стержней

Способ сушки	Метод осуществления	Скорость сушки	Область применения
Горячими газами	Посредством камерных и конвейерных сушил с естественной и принудительной циркуляцией газов, а также переносных сушил и горелок	15—20 мм/ч	Для сквозной и поверхностной сушки форм и стержней из смесей на всевозможных связующих
Теплоизлучением	Специальными лампами инфракрасного излучения	15—20 мм за 20—30 мин	Для поверхностного подсушивания форм и крупных стержней и сквозного просушивания мелких стержней из смесей на всех связующих. При интенсивной сушке возможен перегрев поверхностного слоя
Токами высокой частоты	Посредством тепла переменного магнитного поля при помещении стержней между электродами колебательного контура генератора высокой частоты	15—20 мм за 2—3 мин (уменьшается с понижением частоты)	Для сквозной сушки стержней (без металлических каркасов). Возможно осуществление конвейерной сушки. Режим выдерживается очень точно. Способ этот дороже других

* На номограмме это время отложено по оси ординат ($\sqrt{\tau}$, ч^{1/2}).

проводят горизонталь до пересечения с вертикальной осью. Затем параллельно ближайшей наклонной линии центрального поля номограммы продолжают эту линию до пересечения с вертикалью, соответствующей $t_{пр}$ жидкого металла (20° С).

Из точки пересечения проводят горизонталь в правое поле номограммы до пересечения с наклонной, соответствующей средней начальной температуре высушенного слоя формы $t_{ф.н}$ (20° С). Из этой точки опускают вертикаль на ось и получают необходимую глубину просушки X (28 мм).

Другой пример определения необходимой глубины просушки показан на этой же номограмме штрихпунктирной линией.

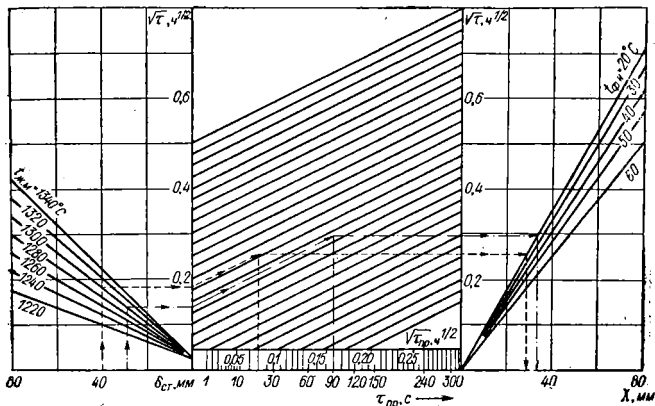


Рис. V.2. Номограмма для определения необходимой глубины просушки песчаных форм

При определении необходимой глубины просушки крупной литейной формы, сборка которой длится продолжительное время, следует учитывать возможную миграцию влаги из толщи формы в ее высушенный слой, что может привести к недопустимому уменьшению толщины сухого слоя формы к моменту ее заливки. Поэтому при длительной выдержке формы после сушки до заливки необходимая глубина просушки, полученная по номограмме (рис. V.2), должна быть дополнительно увеличена из расчета 0,2—0,5 мм на час выдержки формы (меньшая цифра относится к смесям с органическими связующими, большая — к глинисто-опилочным смесям).

В табл. V.39 приведены режимы сушки форм. Температура сушки стержней, в значительной мере зависящая от типа связующих, приведена ниже.

Связующее	Патока	Канифоль	Декстрин и сульфитно- спиртовая барда
$t_{max}, ^\circ C$	175	175	180
$t_{opt}, ^\circ C$	150—170	140—160	160—180
Связующее	Пековые эмульсии	Масляные крепители	Глинистые крепители
$t_{max}, ^\circ C$	240	250	375
$t_{opt}, ^\circ C$	200—220	200—250	300—350

Продолжительность сушки (ч) зависит от температуры, но в среднем может быть определена по массе стержней и типу связующего:

Масса стержня, кг	До 1,5	1,5—20	20—35	35—75	75—150	>150
Органическое связующее	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—7
Глинистое связующее	2—3	4—5	6—7	8—9	10—11	12—14

Таблица V.39

Режимы сушки форм при опочной и почвенной формовке

Размеры опок в свету, м	Опочная формовка					Длительность суш- ка переносными су- шилами при почвен- ной формовке, ч
	Первичная сушка			Вторичная сушка (подсушка после ремонта)		
	Темпера- тура, °С	Длитель- ность работы топки, ч	Длитель- ность сушки, ч	Темпера- тура, °С	Длитель- ность сушки, ч	
От 0,5×0,6 до 1,2×0,8	400	4—5	6—8	180	0,5	8
От 1,2×0,9 до 3,0×2,0	400	6—7	8—12	200	1,0	12
От 3,5×2,0 до 5,5×3,0	450	8—9	16—24	200	1,5	24
От 5,0×3,5 до 5,5×4,0	450	10—11	24—36	220	2—4	36
Св. 5,5×4,0	450	12—15	36—48	220	3—8	48

Примечание.
Для почвенных форм приняты размеры перекрывающей опоки.

Сушка форм осуществляется обычно в камерных сушилках, работающих на газе или мазуте. Коэффициент заполнения объема этих сушил изменяется от 0,15 для мелких до 0,25 для крупных форм. Для подсушки форм крупного литья при единичном и мелкосерийном производстве применяют переносные сушилки, газовые или на твердом топливе. Местная подсушка (после ремонта) может осуществляться газовыми или мазутными горелками.

Для сушки стержней применяют сушильные печи различной конструкции, в том числе вертикальные и горизонтальные конвейерные сушилки, камерные сушилки с выкатными тележками, сушильные шкафы с выдвижными полками и др. Коэффициент заполнения объема камерных сушил изменяется от 0,06—0,12 для мелких и средних стержней и до 0,14—0,18 — для крупных. При изготовлении стержней на автоматизированных линиях каждая из них должна быть оборудована вертикальным конвейерным сушилом с автоматической загрузкой и разгрузкой стержней. При этом образуется автоматизированная линия изготовления и сушки стержней.

4. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ФОРМ И СТЕРЖНЕЙ ПО НАГРЕВАЕМОЙ ОСНАСТКЕ

Технологические процессы изготовления форм и стержней по нагреваемой оснастке базируются на свойстве термореактивных смол и песчано-смоляных смесей на их основе быстро и необратимо отверждаться при контакте с нагретой до 150—250° С модельной оснасткой. В результате за короткое время (в среднем 15—120 с) можно получить готовую полуформу или стержень непосредственно на модельной плите или в стержневом ящике. Наибольшее распространение получили две разновидности этой технологии: изготовление сплошных или облегченных стержней из влажных смесей (процесс известен под названием «изготовление стержней по горячим ящикам») и изготовление оболочковых форм и стержней из сухих смесей.

Изготовление стержней по горячим ящикам

В этом процессе применяются в основном обогащенные или природные кварцевые пески классов О61К, О62К, 1К по ГОСТ 2138—74 зернистостью 02А (Б), 0,16А (Б) или 0,1А (Б) и с содержанием глинистых составляющих не более 0,5%, SiO_2 — не менее 97%, щелочных примесей — суммарно не более 0,4%, в том числе наиболее активных — до 0,1%; рН песков должно быть не более 7. Пески должны быть сухими и иметь температуру не более 30°С. Для ответственных стержней используют цирконовые и оливковые пески. Подготовка песков осуществляется путем сушки, просеивания и охлаждения. Сушку производят в вертикальных или в горизонтальных барабанных сушилах, просеивание — через плоские вибрационные или полигональные сита; охлаждают песок до $t \leq 30^\circ\text{C}$. Применяют также сушку и охлаждение песка в кипящем слое или в воздушном потоке.

Таблица V.40

Связующие материалы для смесей при изготовлении стержней по горячим ящикам

Тип связующего	Марка	ГОСТ, ТУ
Жидкие смолы:		
фенольная	Фенолоспирт	ТУ 6-05-1164—72
»	СФ-480	ТУ 6-05-231-76—75
фенольнокарбамидная	ФМС	ТУ 6-05-7367—70
то же	ФПР-24	ТУ 6-05-1507—76
фенольнофурановая	ФФ-1С	ТУ 11-531—67
фенольнокарбамиднофурановая	Фуритол-107	ТУ 6-05-211-860—73
карбамиднофурановая	КФ-90, КФ-40	ТУ 6-05-1310—71, ТУ 6-05-1614—73
Сульфитно-спиртовая барда	КБЖ	ГОСТ 8518—57
Примечания: 1. Фенолоспирт применяется в сочетании с технической мочевиной или карбамидной смолой в соотношении 3 : 1 или 4 : 1. 2. Связующие КФ-40 и фенолоспирт применяются для тонкостенных отливок. 3. Сульфитно-спиртовая барда применяется для неответственных стержней в мелкосерийном производстве.		

Связующие, их типы, марки и области применения представлены в табл. V.40. Наибольшей реакционной способностью обладают карбамидные смолы, модифицированные различными количествами фурнлового спирта (карбамидно-фурановые). Они, по сравнению с другими связующими, обеспечивают наиболее быстрое отверждение. Контроль связующих производится по вязкости и концентрации водородных ионов (рН). Вязкость характеризует изменение свойств связующего при хранении, а также возможность его равномерного распределения на поверхности зерен песка в процессе приготовления смеси. В зависимости от исходной вязкости связующего для оценки этого показателя применяют вискозиметры ВЗ-1 или ВЗ-4 по ГОСТ 9070—59. Концентрацию рН определяют (для выбора типа катализатора и его количества) электролитическим или калориметрическим способом. Первый отличается точностью, но требует относительно сложной аппаратуры, второй менее точен, но прост и нашел широкое применение.

Катализаторами являются различные соединения неорганического и органического происхождения, а также комплексные материалы. Наиболее распространенные катализаторы приведены в табл. V.41.

**Катализаторы для отверждения связующих
при изготовлении стержней по горячим ящикам**

Вид катализатора и марка	ГОСТ, ТУ	Составляющие	Связующие, с которыми применяется
Комплексный ЛСФ-А	ТУ 6-05-1367—71	Смесь ортофосфорной кислоты с сульфитно-спиртовой бардой	КФ-90 и Фури-тол-107
Комплексный ЛСФ-Б	»	То же	КФ-40
Комплексный М-1	ТУ 6-05-231-111—75	Водный раствор мочевины, NH_4Cl и CrCl_3	СФ-480
Комплексный М	ТУ 6-05-231-39—74	Водный раствор мочевины, хлористого аммония и тиомочевины	ФМС
Комплексный ФС26/6	ТУ 6-05-1506—76	То же	ФПР-24
Сульфат аммония	ГОСТ 9097—74	—	КБЖ

Добавки в стержневые смеси имеют различное назначение: они уменьшают прилипаемость смеси к оснастке, увеличивают живучесть и теплопроводность смесей, замедляют реакцию взаимодействия с металлом. Чаще всего применяются добавки, приведенные в табл. V.42.

Таблица V.42

Добавки в смеси при изготовлении стержней по горячим ящикам

Вид добавки	ГОСТ, ТУ	Количество вводимой добавки и ее назначение
Окись железа	МРТУ МХП 6-10-602—68	До 1,5%. Увеличивает теплопроводность, предотвращает растрескивание стержней, улучшает качество и уменьшает шероховатость поверхности отливки, связывает атомарный азот
Серебристый графит	ГОСТ 5279—74	До 0,5%. Повышает теплопроводность и огнеупорность смеси
Стеараты цинка или кальция	ТУ 3-7—69	До 0,1%. Уменьшает прилипаемость стержневой смеси к оснастке, увеличивает живучесть и текучесть смеси
Изопропиловый спирт	ГОСТ 9805—69	До 0,2%. Увеличивает живучесть смеси при $t > 25^\circ\text{C}$

Разделительные составы (табл. V.43) применяются для устранения прилипания отвержденных стержней к рабочей поверхности ящика. Подразделяются они на вещества нефтяного происхождения и кремнийорганические полимеры. Наносят их на рабочую поверхность оснастки перед изготовлением стержней при помощи пульверизатора. Частота нанесения зависит от конфигурации

Разделительные составы

Наименование и марка состава	ГОСТ или ТУ	Составляющие	Область применения
СКТ-Р	ГОСТ 14680—69	3%-ный раствор синтетического термостойкого каучука марки СКГ в уайт-спирите Расплав озокерита	При оснастке с закрытым электрическим нагревом То же
Озокерит М-60	ВТУ 288—49		
Эмульсия КЭ-60-09	ТУ 6-02-858—74	Эмульсия на основе каучука СКГН-А, разбавленная водой в соотношении 1 : 15	При оснастке с любой системой нагрева
Эмульсия КЭ-10-01	ТУ 6-02-587—75	Кремнийорганическая эмульсия, разбавленная водой в соотношении 1 : 15	То же

стержня и применяемого состава. Покрытие на основе составов СКТ-Р, КЭ-60-09 и КЭ-10-01 выдерживает от пяти (для особо сложных стержней) до 50 съемов.

Противопргарные покрытия наносятся на поверхность готовых стержней в виде красок или натирок. Они также препятствуют проникновению газов из стержня в жидкий металл, способствуя созданию в форме направленного газового потока. Основу красок и натирок составляют мелкодисперсные огнеупорные материалы: тальк, графит, маршалит, циркон и др. При этом краски могут быть как самовысыхающими, так и требующими сушки после нанесения. Рекомендуются следующие составы самовысыхающих красок:

Составляющие	Поливинилбутираль	Этиловый спирт	Графит черный	Графит серебристый	Лак № 68	Растворитель 646
Составы, %:						
краска № 1	1	55	34	10	—	—
« № 2	—	—	30	12	41	17

и следующие пасты для приготовления красок, требующих подсушки:

Составляющие	Черный графит	Декстрин	Сульфитно-спиртовая барда, $\gamma = 1,18 \div 1,2$ г/см ³	Бентонит	Формалин	Вода
Составы, %:						
паста ГБ-1	60	3,5	—	3,5	40 см ³ на 100 гр пасты	33
ГБ-3	58,5	—	10	3,5	То же	26

Пасты ГБ-1, ГБ-3 разводят водой до получения красок с плотностью 1,4—1,44 г/см³. Для натирки мелких ответственных стержней используется паста следующего состава (по массе): 63,5% серебристого графита; 3,7% огнеупорной молотой глины; 4,7% сульфитно-спиртовой барды; 1,6% связующего 4ГУ; 26,5% — воды. Пасту наносят вручную. Она требует подсушки на воздухе в течение 2-3 ч.

Составы смесей для изготовления стержней по горячим ящикам

Порядковый номер смеси	Массовая доля компонентов, % к кварцевому песку										
	20%-ный раствор мочевины в фенолоспирте	Фуритол-107	ФМС	КФ-90	КФ-40	ЛСФ-А	ЛСФ-Б	М	Окись железа	Серебристая графит	Стеарат цинка или кальция
1	4,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	—	2,5	—	—	—	0,5	—	—	До 0,4	0,1	0,1
3	—	—	2,5	—	—	—	—	0,5	До 0,4	0,1	0,1
4	—	—	—	2,5	—	0,5	—	—	До 0,4	0,1	0,1
5	—	—	—	—	2,5	—	0,35	—	—	—	—

Выбор состава стержневых смесей (табл. V.44) зависит от сложности стержней, массы отливки, конструкции стержневого оборудования и др. Смеси на связующих ФФ-1С, КФ-90, КФ-40, Фуритол-107, СФ-480, ФПР-24 и ФМС используют для получения стержней всех классов сложности; смеси на фенолоспирте с мочевиной — для стержней класса сложности II, а смеси на сульфитно-спиртовой барде — для стержней классов сложности III, IV и V.

Приготовление смесей осуществляется путем перемешивания компонентов в лопастных смесителях и малоскоростных бегунах с вертикально вращающимися катками. Наибольшее распространение в нашей стране получили бегуны моделей 1А11 и 1А12.

Контроль смесей производится по текучести и прочности на растяжение в отвержденном состоянии; при этом на прочность испытываются как горячие, так и охлажденные образцы. Методика оценки текучести разработана на автозаводе им. И. А. Лихачева и состоит в том, что навеска испытуемой смеси в $100 \pm 0,5$ г сбрасывается по вертикальной трубе диаметром 40 мм и высотой 500 мм и вытекает через зазор, образованный между концом трубы и опорной металлической плитой. Текучесть C (в %) определяют по формуле

$$C = \frac{m_0 - m_1}{m_0} 100, \quad (V.3)$$

где m_0 — масса первоначальной навески смеси, г; m_1 — масса смеси, оставшейся в трубе, г.

В зависимости от вида используемого связующего и состава смеси величина ее текучести изменяется от 35 до 70%.

Значение σ_b , определенное на горячих образцах, характеризует прочность стержней в момент извлечения их из стержневых ящиков. По прочности охлажденных образцов судят о прочности стержней в период их использования в производстве или при хранении на складе. Для оценки горячей и холодной прочности используют стандартные образцы-восьмерки толщиной 25 мм. Образцы-восьмерки изготавливают из испытуемой песчано-смоляной смеси методом надува ее в нагреваемый ящик и отверждения по режиму (t и τ) в зависимости от вида используемого связующего и условий получения стержней в производстве. Для изготовления образцов-восьмерок могут быть использованы специальные стелды конструкции ЗИЛ, НИИ тракторосельхозмаши или НИИ Автопрома.

Технические характеристики оборудования для изготовления стержней

Модель машины	Число позиций, шт.	Размеры стержневой оснастки, мм	Разъем оснастки	Обогрев оснастки	Организация-разработчик
9128Б-5М	1	680×350×240	Вертикальный	Электрический	ВНИИлитмаш
4544А	1	450×400×70/70	»	»	НИИТавтопром (Минский филиал)
4720	1	800×400×150/150	»	»	То же
4554Б2	2	220×200×75/75	»	»	»
4710А	2	320×250×80/80	»	»	»
4705А	2	830×320×120/100	Горизонтальный	»	»
P001	2	1100×560×200	»	Газовый	НИИтракторосельхозмаш
4532Б	8	200×110×40/40	Вертикальный	Электрический	НИИТавтопром (Минский филиал)
4701А	8	330×200×80/80	»	»	То же
4509А	8	400×300×100/100	Горизонтальный	»	»
4509С	8	600×400×100/100	»	»	»
23221А1	1	400×320×300	Вертикальный	Газовый или электрический	»

Модель машины	Число позиций, шт.	Размеры стержневой оснастки, мм	Разъем оснастки	Обогрев оснастки	Организация-разработчик
23223A	1	630×400×400	Вертикальный и горизонтальный	Газовый или электрический	НИИТавтопром (Минский филиал)
23225A	1	800×630×450	То же	То же	То же
1600	2	1000×600×254	Горизонтальный	Газовый	Фирма «Саттер» (США)
TF-40	2	1400×785×400	»	»	Фирма «Еврокор» (ФРГ, Англия)
TM-16	1	750×300×400	Вертикальный	»	То же
»	1	750×450×200	Горизонтальный	»	»
321-S	1	749×812×240/240	»	»	»
H12CE	1	680×350×350	»	Электрический	Фирма «Хансберг» (Италия)
H25-SP2	2	550×450×250	»	Газовый	То же
V-TOP-935	1	900×350×130/130	Вертикальный	Газовый—электрический	Фирма «Нанива» (Япония)
H-TOP-540	1	500×400×100	Горизонтальный	Газовый	То же
H-TOP-750	1	700×500×160	»	»	»
H-TOP-1070	2	1000×700×200	»	»	»

При контроле σ_b в горячем состоянии образец немедленно после отверждения переносится в зажимы разрывной машины (прибора). Время с момента извлечения образца из ящика до момента приложения к нему нагрузки не должно превышать 7 с. Результаты испытаний образцов, охлажденных до комнатной температуры, характеризуют прочность в холодном состоянии. Удельное значение σ_b [кгс/см² (10^6 Па)] на 1% связующего в горячем и холодном состояниях образцов, изготовленных из смесей на основе различных связующих, характеризуется следующими данными:

Вид связующего		КФ-90	КФ-40	Фуритол-107	ФФ-1С
Удельное значение σ_b , кгс/см ² на 1% связующего:					
в горячем состоянии		1,12	1,52	0,93	0,62
» холодном		8,8	9,6	8,0	6,8
Вид связующего		СФ-480	ФМС	Фенолоспирт с мочевиной	Сульфитная барда
Удельное значение σ_b , кгс/см ² на 1% связующего:					
в горячем состоянии		1,2	0,6	0,44	0,16
» холодном		9,6	6,4	4,8	2,2

Изготовление стержней по горячим ящикам осуществляется путем надува смеси в замкнутую полость оснастки с помощью пескоструйных или пескострельных машин и последующего отверждения. Рекомендации по конструированию стержневых ящиков для этого процесса приведены в гл. IV.

Оборудование для изготовления стержней характеризуется числом позиций, габаритными размерами стержневой оснастки, расположением разъема оснастки и способом ее нагрева. Наибольшее распространение получили одно- и двухпозиционные пескоструйно-пескострельные стержневые машины. В состав этих машин входят также устройства для нагрева и разъема оснастки, средства для извлечения и транспортировки стержня, а также аппаратура, контролирующая нагрев.

Технические характеристики основных типов отечественных и зарубежных машин для изготовления стержней по горячим ящикам приведены в табл. V.45.

Литье в оболочковые формы

Литьем в оболочковые формы получают в основном коленчатые валы и рибристые цилиндры, станины электродвигателей, корпуса токарных патронов, нагревательные элементы бытовых электроплит, детали различных двигателей, компрессоров, насосов, вентиляторов, текстильных машин, гидроаппаратуры, кондиционеров и ряда других изделий машиностроения. Максимальные размеры отливок — до 950 мм, масса — до 200 кг. Основными преимуществами процесса по сравнению с литьем в песчано-глинистые формы являются меньшая шероховатость поверхности отливок, соответствующая 5-му классу ГОСТ 2789—73, и большая их точность, значительное сокращение объемов перерабатываемых и транспортируемых формовочных материалов, возможность быстрой организации производства на небольших площадях и при меньших первоначальных капитальных затратах. Однако при этом следует иметь в виду, что оболочковые формы, полученные свободной засыпкой смеси, обладают значительной пористостью. Поэтому при напоре свыше 200 мм и заливке перегретым чугуном нижние части отливок могут иметь некачественную поверхность. Точность размеров отливок, расположенных в одной полуформе, соответствует 1-му классу по ГОСТ 1855—55, а размеров, пересекающих линию разъема, — 2-му классу.

Факторами, ограничивающими это производство, являются: сравнительно высокая стоимость связующих материалов и модельной оснастки, отсутствие налаженного централизованного производства лакированных песков и комплекса оборудования для механизации процесса. Следует учитывать также необходимость в надежной и интенсивной вентиляции производственных помещений вследствие выделения ряда токсичных веществ при смешеприготовлении, изготовлении, заливке и выбивке форм.

Принципы конструирования отливок обычные, однако следует учитывать возможность заливки оболочковых форм как при горизонтальном, так и при вертикальном положении плоскости разбега. Литые отверстия диаметром от 8 мм в стенках толщиной 10—12 мм можно получать без стержней. Отливки при этом способе получают с минимальной толщиной стенок и ребер (до 1,5—2 мм), однако сама конструкция отливки должна обеспечивать удобство рассредоточенного подвода нужного количества металла к этим сечениям.

Пески, применяемые для изготовления смесей, в основном те же, что и при процессе по горячим ящикам. Связующими материалами являются фенолоформальдегидные смолы. Свойства твердых смол, используемых для получения оболочковых форм и стержней, приведены в табл. V.46. Свойства спиртового раствора смолы № 180 (по ТУ 38-9-26—68): содержание твердого остатка — 40—45%, вязкость по воронке ВЗ-4—20 с, содержание свободного фенола — до 2,5%, время желатинизации при 150°С — до 150 с, прочность на изгиб смеси с 3% смолы (в пересчете на твердый остаток) — не менее 30 кгс/см² (30·10⁵ Па); плакирование — холодное или теплое. Отвердителем является технический уротропин (ГОСТ 1381—73). В связующее ПК-104 уротропин вводится в процессе производства. При использовании других смол уротропин добавляется во время приготовления смеси в виде 30—35%-ного водного раствора. Благодаря присутствию уротропина песчано-смоляные смеси способны необратимо отверждаться при нагреве.

Для ускорения отверждения смол в смесь добавляется борная кислота (ГОСТ 18704—73), а для повышения текучести смеси и облегчения отделения готовых форм и стержней при съеме с оснастки — стеарат кальция. ГОСТ 18694—73 предусматривает поставку модифицированных смол СФ-010 и СФ-011, в которых 2—3% стеарата кальция введены при варке. Однако даже при использовании этих смол часть стеарата кальция (примерно 50% от предусмотренного рецептурой) вводится во время приготовления смеси [36]. В США в песчано-смоляные смеси в качестве добавки, улучшающей шероховатость поверхности, вводят 2% бентонита, обработанного жидким стеклом [100 частей бентонита (по массе) смешивают с 17 частями жидкого стекла; смесь высушивают и дробят] [35].

Смеси, применяемые для оболочковых форм и стержней, характеризуются высокой текучестью в холодном состоянии; при нагреве они сначала размягчаются, а затем быстро и необратимо отверждаются. Песчано-смоляные смеси могут быть механическими и плакированными; в первых смола в виде мелких зерен вкраплена между крупными зёрнами песка, во вторых она покрывает поверхность зерен тонкой пленкой.

Механические смеси получают путем смешения холодного сухого песка со связующим ПК-104; для уменьшения пылевыведения добавляют керосин или веретенное масло. Значительная разница в плотности и величине зерен основы и связующего обуславливает неоднородность состава и свойств механических смесей. Отсутствие связей между компонентами является причиной того, что механические смеси не могут использоваться при пескодувных и пескоструйных процессах, а также передаваться пневмотранспортом. Поэтому, несмотря на простоту приготовления, механические смеси вытесняются плакированными.

Плакирование может производиться несколькими способами. Холодное плакирование отличается тем, что сухой холодный песок смешивают со смоляным раствором или с твердой смолой, отвердителем и растворителем одновременно; затем вводят добавки и продувкой смеси холодным воздухом удаляют растворитель. Теплое плакирование является разновидностью холодного и характеризуется тем, что песок предварительно подогревается до 80°С или смесь продувается нагретым до 70—80°С воздухом. При горячем плакировании предварительно нагретый до 135—150°С песок смешивается с твердой смолой, затем при температуре не более 110°С вводятся отвердитель в виде водного раствора и добавки, причем температура нагрева песка выбирается в зависимости от температуры каплепадения используемой смолы и должна быть выше ее на 25—35°. Плакированные смеси пригодны для изготовления оболочковых форм и стержней любым способом; они могут передаваться пневмотранспортом на расстояние до 80—100 м и храниться годами в сухих прохладных помещениях без ущерба для качества. Применяемые составы смесей приведены в табл. V.47.

Смолы, используемые для получения оболочковых форм и стержней

Марка связующего или смолы, состояние поставки	ГОСТ или ТУ	Физико-механические свойства						Способ приготовления песчано-смоляной смеси
		Температура каплепадения, °C _d	Вязкость 50%-ного спиртового раствора, сПз (10 ⁻³ Па·с)	Содержание свободного фенола, %	Время желатинизации при 150° C, с	Подвижность расплава, мм	Прочность на изгиб смеси с 5% смолы, кгс/см ² (10 ⁶ Па)	
ПК-104 * (порошок)	ГОСТ 13507—68	—	—	—	—	40—85	Не менее 48,0	Механическое смешение, холодное и теплое лакирование
СФ-010 (чешуйки)	ГОСТ 18694—73	95—105	90—150	До 8,5	—	—	—	Горячее лакирование
СФ-015 (чешуйки)	ГОСТ 18694—73	105—115	40—80 ***	До 4,0	40—80	—	—	То же
СФ-241 ** (гранулы)	—	75—95	40—80 ***	До 9,0	15—45	—	—	»

* Смесь смолы СФ-011 или СФ-015 с 8—12% уротропина.
 ** Находится в стадии промышленного опробования.
 *** Вязкость 50%-ного раствора в ацетоне.

Составы смесей для получения оболочковых форм и стержней

Способ получения смеси	Массовая доля компонентов, %							
	Связующие материалы			Отвердитель* (уротропин)	Растворители** (спирты)	Керосин или веретенное масло	Добавки	
	ПК-104	Смола № 180	Смола СФ-010, СФ-015				Борная кислота	Стеарат кальция
Механическое смешение	5—7	—	—	—	—	0,4—0,5	—	—
Холодное или теплое лакирование	4,5—5,5	—	—	—	1,5	—	0,1	0,2
	4—5	2	—	0,45	—	—	0,1	0,15
Горячее лакирование	—	—	4—5	0,5—0,6	—	—	0,15	0,15

* Уротропин вводится в виде 30—35%-ного водного раствора; в таблице приведено количество твердого уротропина.

** В качестве растворителя используются водно-спиртовые растворы (1 : 3) на основе эфирно-альдегидной фракции и гидролизного (ГОСТ 17299—71) или синтетического (ГОСТ 11547—65) этилового спирта.

Качество смесей характеризуется рядом свойств. Исходя из условий работы оболочковых форм, прочность смесей в горячем и холодном состояниях испытывают на изгиб на стандартных образцах (ГОСТ 13507—68) размером $130 \times 25 \times 10$ мм после отверждения в течение 2 мин при температуре 300°C . Испытания в горячем состоянии производят в течение 5—7 с после отверждения образцов, в холодном состоянии — при 20°C , причем в зависимости от назначения $\sigma_{\text{н}}$ колеблется в пределах $30\text{—}40 \text{ кгс/мм}^2$ [$(30 \div 40) 10^7 \text{ Па}$] в горячем состоянии и в пределах $50\text{—}70 \text{ кгс/мм}^2$ [$(50 \div 70) 10^7 \text{ Па}$] — в холодном. Роль прочности в горячем и холодном состояниях изложена выше (см. с. 434). Потери при прокаливании, характеризую-

Таблица V.48

Типы оборудования для приготовления лакированных смесей

Тип машины	Производительность, т/ч	Организация-разработчик
Холодное лакирование (периодический процесс)		
Смеситель модели 800	0,8	НИИТавтопром (Минский филиал)
Установка УПП-II	1,0	ВПТИэлектро (Ленинград)
Горячее лакирование (непрерывный или периодический процесс)		
Установка УГП-2	1,5—3,0	ВПТИэлектро (Ленинград)
«Махеи»-250	3	Фирма «Махеи» (Франция)

Режимы изготовления оболочковых форм

Способ изготовления	Применяемое оборудование (№ по табл. V.50)	Режим изготовления					Область применения
		Продолжительность, с		Температура, °C			
		формирования	отверждения	модельных плит	контурных плит	печей для отверждения	
Свободная засыпка * с помощью бункеров: поворотного.	№ п/п 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 и 14	15—50	90—270	180—240	—	350—450	Серийное и крупносерийное производство с большой номенклатурой отливок
стационарного	№ п/п 9 и 10	15—50	90—270	180—240	—	350—450	
Принудительное нанесение с помощью пескодувного или пескострельного устройства:							Массовое производство с малой номенклатурой отливок; возможно получение двусторонних элементов стопочных форм То же
в зазор между модельной и контурной плитами	№ п/п 11	1—2	90—180	180—240	40—50	350—450	
то же, с последующей подпрессовкой	№ п/п 12	4—6	90—180	180—240	40—50	350—450	
Дозированная свободная засыпка с последующим прессованием и отверждением между нагретыми модельной и контурной плитами	№ п/п 13	15	120—180	180—240	180—240	—	

* Гравитационное уплотнение, иногда дополненное вибрацией.

* Гравитационное уплотнение, иногда дополненное вибрацией.

щие содержание летучих в смеси, определяют как разность масс навески 10 г до и после нагрева при температуре 900°C в течение 1,5 ч. Газотворная способность смесей проверяется по стандартной методике. Средняя удельная газотворная способность смесей составляет $\sim 7\text{ см}^3/\text{см}^3$ на 1% смоляного связующего. Значение $\alpha = 6,4 \cdot 10^{-6} 1/^{\circ}\text{C}$, а значение $\lambda = 0,68\text{ ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C})$ [$0,8\text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$].

За рубежом, кроме того, проверяются температура прилипания, продолжительность формирования и отверждения, а также горячая деформация оболочки при одностороннем нагреве [38].

Для комплексного контроля смесей используют приборы фирм «Гарри В. Литерт Ко» (США) и «Георг Фишер» (Швейцария). Типы оборудования для приготовления лакированных смесей приведены в табл. V.48.

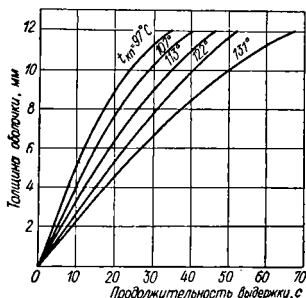


Рис. V.3. Зависимость толщины оболочки от продолжительности выдержки и температуры каплепадения $t_{\text{кл}}$ используемой смолы при нагреве оснастки до 200°C

смеси; в нашей стране наиболее распространены свободная засыпка и гравитационное уплотнение с помощью поворотного или стационарного бункера; за рубежом, наряду со свободной засыпкой, широко применяют принудительное нанесение смеси пескоструйным или пескоструйным способом с последующим прессованием или без него [35]. Некоторое распространение получила также свободная засыпка с последующим прессованием.

При изготовлении полуформ с принудительным нанесением смеси толщина оболочки обусловлена величиной зазора между соответствующими элементами оснастки, а при свободной засыпке — свойствами используемой смолы, температурой оснастки и продолжительностью ее контакта со смесью (рис. V.3). Кривые на рисунке построены для смесей, приготовленных способом горячего лакирования на смолах с различной температурой каплепадения $t_{\text{кл}}$.

Характеристика применяемого оборудования для изготовления оболочковых форм дана в табл. V.50.

Контроль качества полуформ производится путем систематического взвешивания, замера толщины и внешнего осмотра. Качественные полуформы должны иметь светло-коричневый цвет.

Оболочковые стержни обычно применяются* тогда, когда их преобладающая толщина больше 50 мм. Для их изготовления нагретый стержневой ящик заполняется песчано-смоляной смесью, которая выдерживается в нем до образования на стенках оболочки нужной толщины. При повороте ящика непрогретая смесь высыпается через одно или несколько знаковых отверстий, стержень отверждается

Процесс формовки начинается с изготовления двух полуформ, которые после установки стержней (при необходимости) и соединения между собой образуют оболочковую форму (применяемая для этого модельная оснастка рассмотрена в гл. IV). Рабочие поверхности плит, моделей и стержневых ящиков должны регулярно (через 500—1500 съёмов) очищаться от нагара инструментом из мягкого металла. Для предотвращения прилипания отвержденных полуформ и стержней оснастка покрывается с помощью пульверизатора разделительными составами марок СКТ-Р или КЭ-10-01 (см. табл. V.43).

Основными операциями процесса изготовления оболочковых полуформ (табл. V.49) являются нанесение смеси на нагретую модельную плиту (формирование), отверждение и съём готовой полуформы. Процессы изготовления полуформ разделяют по способам нанесения и одновременного уплотнения

* Оболочковые стержни могут применяться и для обычных форм.

**Технические характеристики оборудования
для изготовления оболочковых полуформ ***

№ п/п	Модель оборудования	Максимальный размер оболочковых форм, мм	Количество одновременно установленных модельных плит, шт.	Производительность установки, цикл/ч	Установленная мощность, кВт	Организация-разработчик
1	СКФ-3М	500×400	4	40	72	ВПТИтяжмаш
2	УОФ-1М	700×500	2	20	54	ВПТИэлектро
3	АОФ-4	500×400	4	40	58,8	ВНИИлитмаш
4	УКФ-4	1100×450	2	20	50	НИИтракторо-сельхозмаш
5	АКФ-2	850×400	2	25	45	НИИТавтопром
6	8Б31	800×600	2	40	101,2	ВНИИлитмаш
7	7215А **	850×600	10	90	—	НИИТавтопром (Минский филиал)
8	7225А **	850×600	10	90	—	То же и ВПТИэлектро
9	РО-30	700×500	36	250	1000	НИИтракторо-сельхозмаш
10	УОФ-10П **	700×1000	10	90	240	ВПТИэлектро
11	7221 **	600×500	4	50	250	НИИТавтопром (Минский филиал)
12	АО-7М	Ø 600	8	100	48	ВНИИПТуглемаш
13	Пресс П-474А ***	630×630	1	15	20	ВПТИэлектро
14	Шэлко-2030	785×500	1	30	—	Фирма «Шэлко Системс» (США)

* Нагрев во всех установках электрический за исключением установок моделей 7215А, 7225А и Шэлко-2030, в которых применен газовый нагрев.

** В состав входит оборудование для сборки и склеивания полуформ.

*** Стандартный, модернизированный пресс.

нагревом и после раскрытия ящика извлекается. Заполнение ящиков простой конфигурации может производиться свободной засыпкой, более сложных — пескоструйным или пескоструйным способом. В нашей стране создан и успешно применяется центробежный способ получения оболочковых стержней, имеющих форму тел вращения. Распространены также способы получения полых стержней с помощью вытяжного вкладыша или путем склеивания двух половин. Как правило, оболочковые стержни получают в ящиках с одной плоскостью разреза. Рекомендуемое отношение длины знаковой и рабочей частей стержня — 1 : 6. Толщина стенки стержня может колебаться в зависимости от массы отливки в пределах от 8 до 20 мм. Время формирования стержня — 20—60 с при температуре ящика 180—250° С; отверждение при этой же температуре длится 90—240 с. Открытые знаковые части готовых стержней заделываются любой смесью, твердеющей на воздухе. В случае необходимости при толстостенном литье (толщина стенки более 25—30 мм) полости оболочковых стержней засыпаются дробью или песком, а рабочие поверхности после финиширования окрашиваются. Хранение в сухом помещении в течение нескольких месяцев не ухудшает качества оболочковых стержней. Технические характеристики оборудования для изготовления оболочковых стержней приведены в табл. V.51.

Сборка оболочковых форм состоит из операций простановки стержней, нанесения клея на плоскость разреза одной из полуформ, наложения на нее второй полуформы и обжатия собранной формы на период отверждения клея. В отечественной практике используют термореактивные клеи, отверждающиеся теплом, аккумулялированным в полуформах после их изготовления.

Таблица V.51

Технические характеристики оборудования
для изготовления оболочковых стержней

Модель оборудования	Номинальный размер нагревательных плит, мм	Количество одновременно установленных ящиков	Производительность, цикл/ч	Установленная мощность, кВт	Организация-разработчик
АС-1089	865×440 *	1	10—15	32	Горьковский автозавод НИИ тракторо-сельхозмаш (Москва)
АЦИС-10	Максимальный диаметр стержней 140 мм	10	150—240	88,6	
29113	750×500 **	1	До 20	9	— Фирма «Шелко Системс» (США)
U-180	460×460 *	1	» 20	35	
»	740×510 **	1	» 25	2,5, расход газа 12 м³	

П р и м е ч а н и я:

1. Машина модели АЦИС-10 предназначена для изготовления полых стержней, имеющих форму тел вращения, центробежным способом; в остальных машинах ящик заполняется смесью путем надува.

2. Установки модели U-180 с электрическим нагревом могут поставляться также с плитами размерами 690×510, 610×380, 760×380, 760×460 и 815×280 мм.

* С электронагревом.

** С газовым нагревом.

Данные для выбора сечений питателей

Масса отливки, кг	Преобладающая толщина стенок отливки, мм				
	От 3 до 5	Св. 5 до 8	Св. 8 до 10	Св. 10 до 15	Св. 15 до 45
	Общая площадь сечения питателей, см ²				
До 0,8	От 0,45 до 0,32	От 0,45 до 0,32	От 0,45 до 0,32	От 0,45 до 0,32	От 0,45 до 0,32
Св. 0,8 » 1,6	» 0,55 » 0,45	» 0,55 » 0,45	» 0,55 » 0,45	» 0,55 » 0,45	» 0,55 » 0,45
» 1,6 » 3	» 0,70 » 0,50	» 0,70 » 0,50	» 0,70 » 0,50	» 0,70 » 0,50	» 0,70 » 0,50
» 3 » 5	» 1,70 » 1,40	» 1,70 » 1,40	» 0,85 » 0,70	» 0,85 » 0,70	» 0,85 » 0,70
» 5 » 8	» 2,55 » 2,10	» 2,55 » 2,10	» 2,55 » 2,10	» 2,55 » 1,40	» 2,55 » 1,40
» 8 » 12	—	» 2,85 » 2,25	» 2,85 » 2,25	» 2,85 » 1,50	» 2,85 » 1,50
» 12 » 16	—	» 2,85 » 2,25	» 2,85 » 2,25	» 2,85 » 1,50	» 2,85 » 1,50
» 16 » 20	—	» 3,8 » 3,0	» 3,8 » 3,0	» 2,85 » 2,25	» 2,85 » 2,25
» 20 » 25	—	» 4,0 » 3,2	» 4,0 » 3,2	» 3,0 » 2,4	» 3,0 » 2,4
» 25 » 32	—	» 4,0 » 3,6	» 4,0 » 3,6	» 3,0 » 2,7	» 3,0 » 2,7
» 32 » 40	—	» 5,0 » 4,5	» 4,4 » 4,0	» 3,3 » 3,0	» 3,3 » 3,0
» 40 » 50	—	» 5,5 » 4,0	» 4,4 » 4,0	» 4,4 » 3,0	» 3,3 » 3,0
» 50 » 60	—	» 5,5 » 4,0	» 4,8 » 4,4	» 4,8 » 3,6	» 3,6 » 3,3
» 60 » 80	—	» 7,2 » 5,5	» 6,0 » 5,5	» 6,0 » 4,4	» 3,6 » 3,3
» 80 » 100	—	» 8,5 » 6,6	» 6,0 » 5,5	» 6,0 » 5,5	» 4,8 » 4,4

Снятые с модельной плиты оболочковые полуформы деформируются при охлаждении; так, на полуформах длиной более 700 мм коробление может достигать 2—5 мм. Обжатие и выдержка под прессом двух полуформ при склеивании помогают устранить эту деформацию благодаря остаточной пластичности, сохраняемой полуформами при температуре 140—150° С непосредственно после отверждения. В качестве твердых клеев, нанесение которых легче всего механизировать, применяют связующее ПК-104 в виде порошка или таблеток диаметром 6—8 мм и толщиной 3—5 мм. Сочетая растворы связующего ПК-104 с наполнителями типа маршалита или цирконовой муки, получают жидкие клеи. Для предотвращения попадания клея в полость формы и для повышения качества склейки клеев наносят в специальные круглые или удлиненные клеевые знаки (выемки), предусматриваемые на плоскости разъема нижней полуформы; после сборки в эти выемки входят аналогичные выступающие элементы верхней полуформы. Зазор между ними, равный в среднем 0,3—0,5 мм, заполняется выжимаемым клеем. На высокопроизводительных линиях изготовления оболочковых форм (например, линий моделей 7215А, 7225А, 7221 и УОФ-10П, см. табл. V.50) нанесение порошкообразного клея механизировано с помощью шибберных дозирующих устройств. Для обжатия полуформ используют пневматические прессы с подпружиненными штырями. Оптимальное усилие обжатия при склеивании — 0,35 кгс/см² (0,35 · 10⁶ Па), продолжительность выдержки под прессом — 1,5—2 мин. Кроме прессов, входящих в состав автоматических линий изготовления оболочковых форм (см. табл. V.50), у нас в стране выпускают стандартные штыревые прессы моделей 880 и 882, предназначенные для склеивания форм размером 500×400 и 800×600 мм соответственно. Одним из элементов контроля оболочковых форм, особо важным в условиях заливки без опорного материала, является проверка плотности прилегания склеенных полуформ по плоскости разъема с помощью шупа. Допускаемый зазор не должен превышать 0,2 мм. Формы размером до 300×500 мм и металлоемкостью до 15 кг при толщине стенки отливки не более 25 мм можно заливать без опорного материала. В остальных случаях перед заливкой оболочковые формы засыпают опорным материалом, чаще всего чугуниной дробью диаметром 4—5 мм (ГОСТ 11964—66).

Армирование ребрами жесткости позволяет увеличить габариты и металлоемкость форм, заливаемых без опорного материала. Ребристые оболочковые формы можно получать пескоструйным или пескодуювно-прессовым способом; разнообразностью армированных оболочковых форм являются так называемые игольчатые формы, получаемые бункерным способом [37]. Армирован-

Таблица V.53

Размеры типовых литниковых систем
для горизонтальной заливки оболочковых форм (к рис. V.5)

Площадь сечения, см ²		Размеры шлакоуловителя, мм			Диаметр стойка, мм
питателей с одной стороны стойка	шлакоуло- вителя	b	b ₁	h	
До 1,5	1,8	14	12	14	20
Св. 1,5—1,8	2,2	15	13	16	20
» 1,8—2,1	2,7	16	14	18	20
» 2,1—2,5	3,0	16	14	20	25
» 2,5—3,0	4,0	20	16	22	25
» 3,0—3,6	4,4	22	18	22	30
» 3,6—4,2	5,2	24	18	24	30
» 4,2—5,0	6,0	26	20	26	35
» 5,0—6,0	7,5	30	24	28	35
» 6,0—7,0	9,0	34	25	30	40
» 7,0—8,5	11,0	38	30	32	40

ные формы можно заливать на площадках литейных конвейеров или поддонах, нагрузив их грузами или установив в специальные зажимные приспособления. Вместе с тем следует указать, что отливки в оболочковых формах, засыпанных дробью, затвердевают быстрее и имеют более высокие твердость и прочность [38]. Охлаждение залитых отливок производят в вентилируемых камерах.

Конструкции литниковых систем для оболочковых форм применяются как вертикальные, так и горизонтальные. В обоих случаях сечение питателей принимается по табл. V.52. Конструкция вертикальных литниковых систем представлена на рис. V.4, причем диаметр стояка выбирается в зависимости от сечения питателей для одного яруса.

Сечение питателей одного яруса, см ²	До 1,2	1,2—3,6	3,6—5,6	5,6—7,1	7,1—8,5
Диаметр стояка, мм	20	25	30	35	40

Конструкция горизонтальных литниковых систем представлена на рис. V.5, а их размеры даны в табл. V.53.

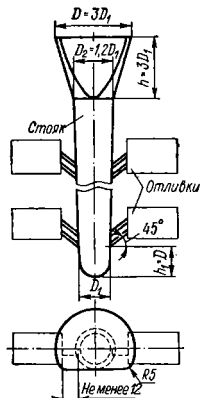


Рис. V.4. Типовая литниковая система для вертикальной заливки оболочковых форм

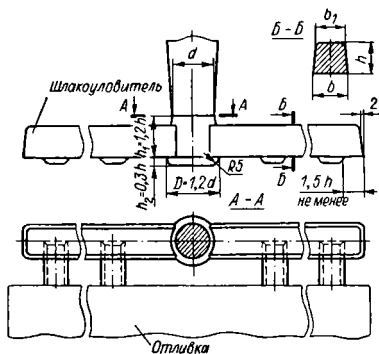


Рис. V.5. Типовая литниковая система для горизонтальной заливки оболочковых форм

Комплексная механизация производства литья в оболочковые формы весьма эффективна при годовых объемах выпуска литья 5000 т и более. Так, на заводе «Электроцентролит» (Баку) построен цех, рассчитанный на годовой выпуск 10 тыс. т стали. электродвигателей нескольких типоразмеров. В оболочковых формах размером 850×600 мм получают одновременно восемь или шесть отливок. Основное нестандартизированное технологическое и транспортное оборудование цеха спроектировано Минским филиалом НИИТавтопрома и ВПТИэлектро (Ленинград). В состав этого оборудования входят: установка горячего плакирования УГП-2, обеспечивающая механизацию дозировки компонентов, их перемешивание, охлаждение, измельчение, просев готовой смеси; система пневмотранспорта для передачи смеси к автоматическим линиям формовки; две автоматические линии моделей 7215 и 7225 для изготовления, сборки и склейки оболочковых форм; автоматические установки для засыпки контейнеров, сепарации, охлаждения, транспортировки дробн и выбивки литья. Заливка форм производится на стандартном напольном конвейере. Для доводки состава и перегрева чугуна, поступающего из вагранок, используются миксеры ИЧТМ-2,5М1.

Специфические виды брака оболочковых форм и стержней

Вид брака	Причина брака	Меры устранения
Отслаивание неотвержденной оболочки от рабочей поверхности оснастки	1. Применение низковязкой смолы или смолы, имеющей длительный период желатинизации 2. Неполное удаление растворителя из смеси (при холодном плакировании) 3. Низкая или неодинаковая температура в разных зонах оснастки 4. Неправильная конструкция окантовочных рамок на модельных плитах	1. Подбор соответствующего связующего или ввод дополнительно 0,2—0,4% уротропина либо 0,05% борной кислоты от массы смеси 2. Удлинение продолжительности продувки смеси, использование для продувки подогретого до 70—80° С воздуха 3. Подъем температуры или изменение расположения нагревателей в печах 4. Применение окантовочной рамки из уголка
Недостаточная толщина оболочки	1. Низкая температура оснастки 2. Низкая теплоаккумулирующая способность оснастки 3. Недостаточная продолжительность периода формирования оболочки 4. Высокая температура каплепадения смолы	1. Повышение температуры оснастки 2. Замена материала оснастки; изменение конструкции моделей за счет утолщения их стенок стержневыми знаками 3. Удлинение периода формирования оболочки 4. Использование смолы с меньшей температурой каплепадения
Избыточная толщина оболочки	1. Высокая температура оснастки 2. Избыточная продолжительность периода формирования оболочки	1. Снижение температуры оснастки 2. Уменьшение периода формирования оболочки

Вид брака	Причина брака	Меры устранения
Поломки, трещины и деформация оболочковых форм и стержней при съеме	1. Недостаточное количество толкателей в оснастке 2. Неодинаковая величина хода толкателей 3. Недостаточная упругость пружины толкателей 4. Образование нагара на оснастке 5. Низкая прочность песчано-смоляной смеси 6. Высокая или неоднородная температура отверждения различных частей полуформы 7. Наличие поднутрений, недостаточные литейные уклоны	1. Установка дополнительных толкателей в местах затрудненного съема 2. Проверка высоты подъема толкателей; замена деформированных толкателей и пружин 3. Замена материала пружин более жаростойким 4. Упорядочение очистки оснастки от нагара 5. Проверка соблюдения технологии смешивания; увеличение количества связующего в смеси 6. Снижение температуры; регулирование работы нагревателей 7. Доводка оснастки и равномерное и своевременное нанесение разделительного состава
Коробление оболочковых форм	1. Разные значения α материалов, из которых сделаны отдельные элементы оснастки 2. Неравномерное отверждение полуформы 3. Термические напряжения при остывании полуформы	1. Изготовление моделей и модельных плит из одинакового материала 2. Отрегулирование работы нагревателей 3. Проведение правки горячих полуформ; сокращение интервала между съемом и поступлением полуформ на склейку

Специфические виды брака оболочковых форм и стержней и меры по их устранению приведены в табл. V.54. Из обычных видов брака чугунного литья, получаемого в оболочковых формах, следует указать на недолив, залывы и облой, значительную шероховатость и механический пригар, газовые раковины. Для борьбы с этим браком следует особое внимание обращать на причины дефектов, к которым относят: неплотное соединение полуформ при сборке и попадание опорного материала в полость формы; наличие неравномерного слоя нагара на модельной оснастке; коробление полуформ; неполное расплавление клея или нанесение его слишком толстым слоем; использование в смеси слишком крупнозернистого песка; завышенная температура модельной оснастки; неравномерная обсыпка модели смесью при формовке («теневой эффект»); недостаточное уплотнение смеси; заливка в вертикальном положении, обуславливающая чрезмерно большой напор; наличие в форме участков с повышенной газотворной способностью вследствие неравномерного распределения связующего в смеси или излишней толщины стенок форм и стержней.

5. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ФОРМ И СТЕРЖНЕЙ, ОТВЕРЖДАЮЩИХСЯ В ОСНАСТКЕ БЕЗ НАГРЕВА

Технологические процессы получения стержней и форм, отверждающихся в оснастке без нагрева, основаны на использовании в качестве связующих реакционноспособных синтетических смол и пластичных песчано-смоляных смесей на их основе, а также пластичных и жидких смесей с жидким стеклом, способных отверждаться при комнатной температуре в присутствии катализаторов или химических реагентов. Продолжительность отверждения форм и стержней в оснастке зависит от их размера, состава используемой смеси, а также температуры окружающей среды и равна приблизительно 3—45 мин. Процессы эти нашли широкое применение как в условиях крупносерийного, так и индивидуального производства. Преимущества этих процессов заключаются в значительном снижении трудоемкости изготовления форм и стержней, устранении сушки, повышении их точности, повышении качества и размерной точности отливок.

Процесс на основе песчано-смоляных холоднотверждающихся смесей

Процесс основан на использовании в качестве связующих материалов синтетических смол для пластичных смесей, способных отверждаться при комнатной температуре за счет катализаторов. Пески используются обогащенные или природные тех же классов и зернистости, что и в процессах изготовления форм и стержней по нагреваемой оснастке, причем рН должна быть в пределах 5,0—6,5. Температура песка перед употреблением должна быть 15—25°С, влажность — не более 0,2%. В качестве добавки в стержневые смеси для предотвращения газовой пористости на поверхности отливок иногда используется (до 1%) окись железа (МРТУ МХП 6-10-602—68).

Связующими в процессе являются синтетические смолы разных классов, приведенные в табл. V.55.

Катализаторы, как правило, используются кислоты; они разделяются на органические (бензолсульфокислота, паратолуолсульфокислота), неорганические (фосфорная кислота, азотная кислота и др.) и комплексные, состоящие из двух-трех компонентов (табл. V.56).

Разделительными составами для деревянных моделей служит химически стойкий лак ХСЛ в сочетании с грунтом АГ-10С (для покрытия поверхности модели после изготовления), а при изготовлении форм и стержней — ликоподий или себрный графит.

Поверхности металлической оснастки покрывают автомобильным воском, раствором парафина в уайт-спирите в соотношении 1 : 1 или смесью машинного масла Ц-56 с серебристым графитом в том же соотношении.

Противопригарными покрытиями при толстостенных отливках являются краски на основе углеродистых материалов. Оптимальная толщина красочного

Связующие для песчано-смоляных холодноотверждающихся смесей

Класс связующего	Марка связующего	ГОСТ, ТУ
Фенолоформальдегидное	ОФ-1	ТУ 6-05-1641—73
Фенолофурановое	ФФ-1СМ	ТУ 59-33—70
Фенолкарбамиднофурановое	Фурнтол-8	ТУ 6-05-211-886—73
То же	Фуритол-107	ТУ 6-05-211-860—73
Карбамиднофурановое	КФ-90	ТУ 6-05-1310—71
»	БС-40	ТУ 6-05-031-492—73

Таблица V.56

Катализаторы для песчано-смоляных холодноотверждающихся смесей

Марка катализатора	Состав	ГОСТ, ТУ	Применение
ОК	Ортофосфорная кислота плотностью 1,65—1,67 г/см ³	ГОСТ 10678—76	Для отверждения карбамиднофурановых связующих То же
АКО	Азотная кислота и ортофосфорная кислота (смесь в соотношении 3 : 4)	ГОСТ 701—68, ГОСТ 10678—76	
АЖО	Азотнокислородное железо и ортофосфорная кислота (смесь в соотношении 3 : 4)	ГОСТ 411—69, ГОСТ 10678—76	
БСККП	Бензосульфокислота и контакт Петрова (смесь плотностью 1,26—1,29 г/см ³)	ТУ ГАПУ 25—66, ГОСТ 463—53	Для отверждения фенолофурановых связующих
БСК	Бензосульфокислота (раствор плотностью 1,25—1,30 г/см ³)	ТУ ГАПУ 25—66	Для отверждения связующих всех классов

покрытия зависят от многих факторов; для средних отливок со стенками толщиной до 60 мм она должна быть не менее 1 мм; для крупных отливок со стенками более 60 мм необходима двухслойная окраска форм и стержней с тем, чтобы обеспечить толщину огнеупорного покрытия в пределах 1,5—2 мм. Способы нанесения противопригарных покрытий (кистью, пульверизацией, окутанием) выбираются исходя из условий производства и размеров форм и стержней. Наибольшее распространение получили быстросохнущие противопригарные покрытия, не требующие тепловой сушки. При применении водных красок стержни и формы после окрашивания подвергаются длительной сушке на воздухе (3—5 ч) или кратковременной подсушке при температуре 150—180° С. Состав их может быть различным. Так, краска № 1 имеет следующий состав: 70,45% пылевидного кварца, 3% бентонита, 1,5% декстрина, 0,05% формалина, 25% воды; краска № 2: 6% пылевидного кварца, 32% черного графита, 44% 5%-ного раствора поливинилбутираля

в гарниоле*, 18% 41%-ного раствора древесного пека в растворителе 647. Составы (% по массе) противопопригарных паст-натирок, рекомендуемых для устарения местного пригара, приведены ниже.

Составляющие	Шамот молотый	Серебри- стый графит	Огнеупорная молотая глина	Жидкое стекло	Вода (сверх 100%)
Паста № 1	35	50	15	—	20
» № 2	—	52,8	33,4	13,8	20

Противопригарные пасты наносят на определенные поверхности отвержденных форм или стержней вручную. Толщина противопригарного слоя 1,5—2,0 мм. После этого необходима подсушка пасты на воздухе в течение 2—3 ч или кратковременная тепловая поверхностная подсушка.

Выбор состава смеси, а значит, и типов связующего и катализатора зависит от конкретных условий производства, его серийности, конструкции отливки и метода формирования стержня и формы. Составы их представлены в табл. V.57. Испытание связующих производится по двум показателям: вязкости и величине рН. При этом используются те же методики, как и при оценке [этих показателей у связующих горячего отверждения. Испытание смесей (определение текучести, σ_a в сыром состоянии, газопроницаемости и др.) затрудняется вследствие взаимодействия между собой компонентов в смесях холодного отверждения, которое начинается с момента их совмещения в смесителе, а затем развивается в процессе перемешивания, в результате чего они имеют ограниченную живучесть (2—10 мин).

Основным показателем, характеризующим качество смеси, является прочность в отвержденном состоянии. На практике его оценивают по σ_c и σ_b образцов, причем продолжительность отверждения обычно составляет от 30 мин до 3 ч. Значение σ_a определяют на стандартных цилиндрических образцах, а σ_b — на образцах-восьмерках. Учитывая непродолжительную живучесть

Таблица V.57

Содержания связующих и катализаторов
в песчано-смоляных холодноотверждающихся смесях

Порядковый номер смеси	Массовая доля составляющих, % к массе песка							
	Связующие				Катализаторы			
	Фури- тол-107	КФ-90	БС-40	БС-70	ОК	БСК	АКО	АЖО
1	2,5	—	—	—	0,8—1,2	—	—	—
2	2,5	—	—	—	—	0,6—0,8	—	—
3	—	2,2—2,5	—	—	0,8—1,2	—	—	—
4	—	2,2—2,5	—	—	—	—	0,7—0,9	—
5	—	2,2—2,5	—	—	—	—	—	0,7—0,9
6	—	—	2,0—2,5	—	0,9—1,5	—	—	—
7	—	—	2,0—2,5	—	—	0,7—0,8	—	—
8	—	—	2,0—2,5	—	—	—	0,7—0,8	—
9	—	—	—	2,2—2,5	0,9—1,2	—	—	—
10	—	—	—	2,2—2,5	—	—	0,7—0,9	—
11	—	—	—	2,2—2,5	—	—	—	0,7—0,9

Примечание.

Смеси с катализатором АКО предназначены для изготовления форм и стержней на пескоструйных машинах, а с катализаторами ОК, БСК, АЖО — для открытой засыпки оснастки.

* Также может применяться и 3%-ный раствор в спирте.

смеси, цилиндрические образцы и образцы-восьмерки обычно изготавливают в многогнездных металлических или деревянных ящиках. Отверждение образцов до момента извлечения их также осуществляется в ящике, что соответствует условиям отверждения стержней в оснастке. Дальнейшее отверждение образцов, как это делается и на производстве, осуществляется в течение 3 ч на воздухе. Величины σ_c через 30 мин отверждения находятся в пределах 5—25 кгс/см² [(5÷25) 10⁵ Па], а σ_b — в пределах от 1 до 9 кгс/см² (от 1·10⁵ до 9·10⁵ Па).

Подготовка песков перед использованием заключается в предварительной сушке и охлаждении до $t = 25 \pm 5^\circ \text{C}$. Во избежание повышенного расхода катализатора и удлинения цикла отверждения смесей, песок, имеющий $t < 10^\circ \text{C}$, целесообразно подогревать до 20—25 $^\circ \text{C}$. Катализаторы типа ОК, БСК, АКО, АЖО обычно готовят на месте использования путем совмещения входящих в их состав компонентов или растворения до необходимой плотности.

Приготовление смесей должно производиться в шнековых и лопастных смесителях непрерывного действия, а также в безопасном смесителе, имеющем принципиально новую конструкцию, который может работать непрерывно и периодически. Эти смесители позволяют в течение нескольких секунд готовить смеси, которые можно немедленно использовать для изготовления форм и стержней. В зарубежной практике наибольшее распространение получили шнековые и лопастные смесители фирмы «Фордат» (Англия), народного предприятия «Гизаг» (ГДР) и безопасные смесители фирмы «Шалко системз» (США). В нашей стране Минским филиалом НИИТавтопрома создан комплекс смесительного оборудования, которое нашло широкое применение в промышленности:

Модели смесителя	4731	4727	4737	4732
Производительность, т/ч	1	3—3,5	6	10—15

Изготовление форм и стержней производится засыпкой смеси в стержневой ящик или опоку с последующим уплотнением ее вручную или механизированным способом (например, вибрацией). После того как стержень или форма приобретают необходимую прочность, их извлекают из оснастки, а затем они устанавливаются на плиты и выдерживаются на воздухе до приобретения заданной прочности, зачищаются, окрашиваются (при необходимости) и транспортируются на сборку.

Эффективными методами изготовления стержней являются Фасколд-процесс, разработанный в Англии, и Гизаг-колдбокс-процесс, разработанный в ГДР. Оба процесса основаны на предварительном раздельном смешивании песка со связующим и катализатором и подаче их в быстроходный порционный смеситель над пескострельной головкой. Готовая порция смеси поступает в пескострельную головку и оттуда давлением воздуха подается в стержневой ящик. Длительность отверждения стержня в ящике — до 120 с. В обоих случаях стержни после извлечения из ящика приобретают необходимую прочность через 5—15 мин и могут быть использованы для сборки форм. При этом $\sigma_b = 12 \div 15 \text{ кгс/см}^2$ [(12÷15) 10⁵ Па] достигается после дополнительной выдержки стержней на воздухе в течение 3—4 ч.

Минским филиалом НИИТавтопрома предложены два способа изготовления стержней, обеспечивающих достаточно высокую скорость отверждения смеси. В первом случае мелкие стержни изготавливаются на однопозиционной пескострельной машине, имеющей встроенный быстроходный смеситель периодического действия, что дает возможность получать определенную порцию смеси с малой живучестью за 10 с. Во втором случае средние стержни изготавливаются пескодувным или насыпным способом с использованием 8—12-позиционных карусельных машин, причем для ускорения отверждения смеси в ящике используется продувка стержней сжатым воздухом. При этом имеет место дегидратация связующего, способствующая ускорению процесса отверждения смеси и позволяющая сократить время пребывания средних стержней в оснастке до 3—5 мин. Однако прочность смеси после этого не является максимальной, так как при этом не достигается полной поликонденсации связующего, и стержни приобретают окончательную прочность только после выдержки на воздухе в течение 2—3 ч, когда заканчивается процесс поликонденсации оболочек связующего под влиянием кислого катализатора. Технические характеристики отечественного обо-

Технические характеристики отечественного оборудования для изготовления стержней из песчано-смоляных холодноотверждающихся смесей

Модель машины	Тип машины	Количество позиций, шт.	Тип смесителя на машине	Максимальная масса стержня, кг	Размеры ящика, мм	Разъем стержневого ящика
4734	Карусельный	12	Лопастной модели 4727	40	740×530× ×220	Горизонтальный
4723	Пескострельный	1	Лопастной быстроходный	6	350×250× ×320	То же
4716А	Пескострельно-карусельный	8	То же	6	400× ×125/125× ×300	Вертикальный

рудования для изготовления стержней в условиях серийного производства приведены в табл. V.58.

За рубежом зарекомендовали себя изготавливаемые в ГДР машины моделей КСВ-12, КСВ-20, КСВ-25/1, КСВ-25/6 и др. Для работы на пескострельном оборудовании используется металлическая модельная оснастка, а при свободной засыпке смеси из шнекового или лопастного смесителя наибольшее применение получила деревянная оснастка.

Процесс на основе песчано-смоляных смесей, отверждающихся при продувке газообразным катализатором

Рассматриваемый процесс основан на использовании физико-химических реакций между компонентами связующего под действием активизирующего реагента (катализатора), вводимого вместе с газом в смесь после ее уплотнения в оснастке. Песчано-смоляные смеси обладают хорошими технологическими свойствами, сравнительно длительным периодом живучести (1,5—3 ч) и высокой скоростью отверждения после продувки катализатором. Отверждение смеси при этом происходит сразу по всему ее объему, благодаря чему стержень или форма приобретают до момента извлечения их из оснастки около 50% своей максимальной прочности. Технологический процесс поддается полной автоматизации и используется для получения стержней в крупносерийном и массовом производстве. Требования к кварцевому песку аналогичны указанным в предыдущем параграфе.

Связующими служат составы, куда обычно входят два компонента: синтетическая смола, имеющая активные гидроксильные группы (фенолоформальдегидная, полнэфирная, алкидная), и полиизоцианатное соединение, которое выполняет роль отвердителя. Наибольшее применение получили новолачные фенолоформальдегидные смолы, которые позволяют получать достаточно термостойкие смеси. При этом синтетическая смола может храниться без ухудшения свойств в течение длительного времени, полиизоцианатное соединение — неограниченное время при условии исключения попадания в него влаги и его глубокого охлаждения. Чаще всего в качестве связующих в нашей стране применяют новолачные фенолоформальдегидные твердые смолы № 121 и 124 и диизоцианат или полиизоцианат Т-65-35Б. Первые два типа связующих применяются в виде 40%-ного раствора в циклогексаноне, третий — с раствором смолы № 121 или 124 в соотношении 1 : 1,5.

Катализаторами для данного процесса являются триэтиламин (по ТУ 6-03-216—68) и диметилэтиламин, при контакте с которыми гидроксильная группа фенольной смолы соединяется с изоцианатной группой отвердителя и образует твердую уретановую смолу, связывающую кварцевые зерна стержневой смеси. Катализатор вводится в смесь в виде аэрозоля (катализатор—воздух или катализатор—углекислый газ). Смесь паров триэтиламина с воздухом взрывоопасна; поэтому баллоны, заполненные на 80% триэтиламином, находятся под давлением 1,5 ати азота. Максимальная концентрация триэтиламина в смеси, допускаемая требованиями безопасности по возгоранию, равна примерно 2%. Оптимальный массовый расход катализатора составляет 0,1% от массы смеси (около 2 л на 1,5 т смеси).

Разделительным составом при данном процессе является обычно 50%-ный раствор воска в авиационном бензине или раствор парафина в уайт-спирите в соотношении 1 : 1. За рубежом фирма «Ашланд Кемикл» (США) разработала два типа разделителей: для пластмассовых моделей марки Р13Р и для металлических марки Р13М. Эти разделители представляют собой огневзрывобезопасные жидкости с высокой степенью испарения.

Противопргарные покрытия обеспечивают получение удовлетворительной поверхности отливок с толщиной стенки до 10 мм; при толщине же стенок более 10 мм формы и стержни необходимо окрашивать. Для этой цели рекомендуется использовать составы красок, применяемые при отверждении в нагреваемой оснастке. Примеры составов смесей, применяемых в рассматриваемом процессе, даны в табл. V.59.

Таблица V.59

Примеры составов песчано-смоляных смесей,
продуваемых газообразным катализатором

Порядковый номер смеси	Массовая доля составляющих, %			
	Окись железа	Связующее — 40%-ный раствор новолачной смолы в циклогексаноне		Отвердитель — диизоцианат Т-65-35 или полнизоцианат Б
		№ 121	№ 124	
1	0,5	—	—	—
2	—	1,5	—	1,5
3	0,5	1,5	—	1,0
4	—	—	1,5	1,0
5	0,5	—	1,5	1,0

Испытание связующих по вязкости производится так же, как в предыдущем процессе и при горячем отверждении. Кроме того, у смесей проверяются живучесть и σ_b . Живучесть определяется связующей композицией и зависит от реакционной способности используемых компонентов. При взаимодействии раствора смолы с отвердителем начинается процесс полимеризации, который сопровождается повышением молекулярной массы полимера и увеличением его вязкости. Живучесть оценивается по изменению текучести смеси и σ_c во время ее хранения и должна быть равна примерно 1,5—2,5 ч. Показатель текучести за это время изменяется от 50 до 35%, а σ_c — с 0,025 до 0,04 кгс/см² (с 0,25 до 0,4 · 10⁵ Па). Значение σ_b определяется на стандартных образцах-восмерках, полученных методом надува испытуемой смеси в многогнездный стержневой ящик и последующей продувки образцов газообразным катализатором в течение 3 с, а также дополнительной продувки образцов сжатым воздухом в течение 10 с. Значение σ_b зависит от марки и количества связующего, соотношения связующих компонентов, температуры и влажности смеси, зернистости песка, концентрации катализатора и равна 5—7 кгс/см² [(5+7) 10⁵ Па]. После выдержки образцов на воздухе в течение двух часов σ_b достигает максимального значения 12—15 кгс/см² [(12+15) × 10⁵ Па].

Подготовка песков производится, как и в предыдущем процессе. Подготовка твердых новолачных фенолоформальдегидных смол (марок 121 и 124) заключается в растворении их в циклогексаноне на месте использования. Для этого определенное количество измельченной новолачной смолы засыпается в лопастную мешалку и заливается отмеренным количеством циклогексанона. Время полного растворения смолы зависит от процентного ее содержания в растворе и для 40%-ного раствора равно 12 ч.

Приготовление смесей производится в смесителях различного типа. Чаще всего используют шиловые и лопастные смесители, а также безлопастные смесители по типу выпускаемых американской фирмой «Шэлко Системс». Компоненты связующего можно вводить в смесь отдельно (перемешивая в течение 2—3 мин) или вместе. Общее время приготовления смеси не должно превышать 4—6 мин, иначе ухудшаются технологические и механические свойства смеси. Готовая смесь имеет высокую текучесть и низкую прочность на сжатие [$0,02 \text{ кгс/см}^2$ ($0,02 \times 10^6 \text{ Па}$)].

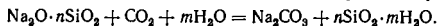
По данному процессу возможно изготавливать при крупносерийном и массовом производстве мелкие и средние стержни независимо от их сложности. Процесс заключается в заполнении оснастки смесью пескоструйным или пескоструйным способом; затем стержень в течение 5—50 с продувается газовой воздушной смесью, содержащей пары катализатора, в присутствии которого увеличивается скорость реакции между гидроксильными группами синтетической смолы и изоцианатными группами полиизоцианата с образованием твердой уретановой смолы. Для полного и равномерного отверждения смеси в объеме всего ящика подвод катализатора осуществляют одновременно ко всем частям стержня или формы. Для лучшего распределения триэтиламина и удаления непрореагировавшего катализатора стержень или форму после окончания продувки парами катализатора дополнительно продувают воздухом под давлением 4—6 атм [$(4+6) 10^5 \text{ Па}$]. После продувки воздухом стержни извлекаются из оснастки (при необходимости окрашиваются) и транспортируются на сборку или на склад. Рассматриваемый процесс позволяет использовать оснастку, изготовленную из пластмассы, дерева и различных металлов (стали, чугуна, алюминия). Однако процесс нашел пока ограниченное применение вследствие ухудшения санитарно-гигиенических условий труда из-за токсичности связующего (изоцианата) и катализатора.

При получении форм и стержней из смесей, отверждающихся в оснастке при продувке газообразным катализатором, используется специальное оборудование, которое, помимо пескоструйно-пескоструйной машины, включает в себя устройство для разбрызгивания модельной оснастки и извлечения стержня или формы, устройство для подачи газообразного катализатора в оснастку, специальный генератор, обеспечивающий смешение жидкого катализатора с воздухом и автоматическую подачу его в рабочую полость оснастки, продувку стержня или формы сжатым воздухом и очистку отходящих газов в скруббере от избытка катализатора. Следует отметить, что при незначительном изменении и доукомплектовании генераторами оборудование, применяемое для изготовления форм и стержней в нагреваемой оснастке, может использоваться и при изготовлении форм и стержней с продувкой газообразным катализатором. Имеется значительное количество зарубежных марок таких машин, которые могут быть приспособлены для этого процесса. Из отечественного оборудования может быть использована машина конструкции Минского филиала НИИТавтопрома (модель 4730, двухпозиционная, размеры оснастки $400 \times 300 \times 125/125 \text{ мм}$, разъем—вертикальный).

Процесс на основе песчано-жидкостекольных смесей, отверждающихся при продувке газообразным реагентом (CO_2 -процесс)

Данный процесс [3, 11, 33] основан на использовании песчано-жидкостекольных смесей, упрочнение которых осуществляется путем продувки CO_2 . При этом происходит химическая реакция, в результате которой жидкое стекло коагулирует с выделением кремнегеля и склеивает отдельные песчинки между собой, вы-

ывая общее упрочнение смеси. Процесс разложения силиката натрия и образования геля кремниевой кислоты может быть описан следующим образом:



Жидкое стекло

Гель кремниевой кислоты

Главное преимущество CO_2 -процесса заключается в его оперативности. Длительность цикла упрочнения смеси снижается до нескольких минут, а в отдельных случаях до нескольких десятков секунд. Однако при длительной обработке смеси CO_2 происходит уже ее разупрочнение, связанное с обезвоживанием и растрескиванием пленок кремнегеля. Литьем в формы, полученные по CO_2 -процессу, изготовляют отливки массой от нескольких килограммов до 20 т и более при единичном и серийном их производстве.

Исходные материалы для смесей и их характеристики соответствуют следующим данным. Пески применяются обогащенные классов 1К или 2К зерновых групп 0315, 02 или расфасованные крупные. Перед употреблением песок сушат и просеивают через сито с ячейкой 4—5 мм. Глина используется молотая каолининовая или бентонитовая, причем последняя вводится в вдвое уменьшенном количестве. Можно также использовать глину второго сорта, второго класса, со средней термостойкостью устойчивостью, например марки К11/2 Т₂. Размолотую в бегунах глину просеивают через сито с ячейкой 1,6 мм. При размоле глины в маятниковой мельнице остаток на ситах 01, 0063 и 005 не должен быть менее 90%.

Жидкое стекло (ГОСТ 8264—56) служит основным связующим материалом, причем лучше использовать содовое или содово-сульфатное жидкое стекло марки В с модулем $M = 2,61 \pm 3,0^*$. Химический состав жидкого стекла: 30,7—34,0% SiO_2 , 11,8—12,1% Na_2O ; плотность $\gamma = 1,47 \pm 1,50 \text{ г/см}^3$. Уменьшение плотности ниже 1,3 приводит к увеличению общей влажности смеси и к повышенной ее прилипаемости, а повышение более 1,5 г/см^3 затрудняет процесс распределения жидкого стекла на зернах песка при перемешивании смеси.

Едкий натр (ГОСТ 2263—71) обычно вводится в смесь для изменения модуля жидкого стекла. Величина модуля определяет живучесть песчано-жидкостекольной смеси: чем выше его значение, тем ниже живучесть смеси. При изготовлении крупных литейных форм и стержней для увеличения живучести смеси модуль следует снижать до 2,0—2,3. Состав едкого натра (%) приведен ниже.

NaOH (не менее)	Na_2CO_3 (не более)	NaCl (не более)	Fe_2O_3 (не более)
42	2,0	4,0	0,04

По требованиям техники безопасности NaOH вводится в смесь в виде водного раствора. Количество сухого NaOH (г), которое должно быть введено в смесь (на 1 кг жидкого стекла), рассчитывается в зависимости от содержания SiO_2 и Na_2O в жидком стекле (% по массе) по формуле

$$x = 13,3\text{SiO}_2/M - 12,9\text{Na}_2\text{O}, \quad (\text{V.4})$$

Молотый уголь (газовый, марок КГ и ГО, ГОСТ 8180—75) вводится в смесь в сухом тонкоразмолотом состоянии с целью уменьшения пригораемости к отливкам. Его состав и степень помола приведены ниже.

Состав, %:		Степень помола:	
Летучие	≥ 30	Тазик	50
Зола	≥ 13	Тазик + 005	70
Сера	≥ 4	Тазик + 005 + 0063 + 01	90
Влага	≤ 5		

Асбестовая крошка (ГОСТ 12871—67) вводится в смесь с целью улучшения условий удаления стержней из отливок, а также для повышения прочности смеси во влажном состоянии. Для этого применяют асбест механического обогащения

* $M = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Na}_2\text{O}}$ 1,032, где в числителе и знаменателе дроби содержание соответственно SiO_2 и Na_2O , в жидком стекле дано в %; 1,032—отношение молекулярных масс Na_2O и SiO_2 .

Состав и характеристика смесей для CO_2 -процесса

Назначение смеси	Массовая доля составляющих, %							Характеристика смеси			
	Кварцевый песок *	Формовочная глина	Уголь мелкий	Асбестовая крошка	Жидкое стекло **	Раствор едкого натра ($\gamma = 1,3$) **	Раствор битума **	Газопроницаемость	Влажность, %	Прочность, кгс/см ² ($9,8 \cdot 10^4$ Па)	
										σ до продувки CO_2	σ после продувки CO_2
Для форм и стержней	95,2—98,5 96—97	4—5 —	2,5 —	— 3—4	5,7 4,2	0,4—0,8 0,4—0,8	— 1,8	Не менее 100 Не менее 180	3,5—4,5 3,2—3,8	0,1—0,2 0,1—0,12	0,8—2,5 2,3—3,0

* При изготовлении формовочной смеси допускается замена до 30% кварцевого песка регенератом из гидроочистных камер.
** Вводятся сверх 100%.

* При изготовлении формовочной смеси допускается замена до 30% кварцевого песка регенератом из гидроочистных камер.
 ** Вводятся сверх 100%.

7-го сорта мягкой текстурной группы марок 7-370, 7-450, 7-520 с объемной массой 370, 450 и 520 кг/м³ соответственно.

Раствор битума (ГОСТ 9548—74) в уайт-спирите готовится на основе нефтяных битумов (строительного или кровельного) марок № 3 и № 5 и вводится в смесь с целью улучшения условий удаления стержней, а также для улучшения текучести смеси при набивке стержней на пескоструйных машинах. Перед растворением битум расплавляется и нагревается до температуры 80—90° С, а затем добавляется уайт-спирит (на одну часть битума — три части уайт-спирита). Раствор битума должен иметь плотность 0,86—0,92 г/см³ при 20° С.

Приготовление смесей производится обычно в бегунах с вертикально вращающимися катками, например модели 1А12М. Сначала загружают все сухие составляющие смеси и перемешивают их в течение 2—3 мин, затем вводят добавку раствора NaOH и еще перемешивают 2—3 мин, после чего вводят жидкое стекло, а если готовится стержневая смесь, то одновременно с этим вводят и раствор битума. Продолжительность перемешивания смеси после введения последней добавки 3—5 мин. Приготовленную смесь транспортируют в ящиках, покрытых влажной мешковиной. Возможна транспортировка смесей ленточными конвейерами или пневмотранспортом. Срок хранения смеси 6—8 ч.

Составы и характеристики песчано-жидкостекольных смесей для CO_2 -процесса приведены в табл. V.60.

При изготовлении форм следует учитывать, что песчано-жидкостекольные смеси обладают повышенной прилипаемостью к моделям. Для уменьшения прилипаемости модели окрашивают нитроземалью НМЭ-25, а перед формовкой покрывают защитным слоем серебристого графита, смоченного в керосине. Песчано-жидкостекольные смеси, как правило, применяют для изготовления облицовочного слоя форм толщиной до 30—50 мм. Остальной объем опоки заполняют дополнительной песчано-глинистой смесью. Набивку форм смесью производят обычно принятыми способами (трамбовкой, на встряхивающих или иного типа машинах).

Продувку формы CO_2 , поступающим из газового баллона через редуктор, производят при давлении 1,5—2,5 ати. Наибольшая точность формы достигается при ее продувке в период до удаления модели. Однако такой метод продувки может затруднить процесс извлечения модели после упрочнения формы. Продувку формы можно производить через отверстия, сделанные в модели, или через специальный коллектор и резиновые трубки с металлическими наконечниками, диаметром 5—8 мм. Для этой цели в форме заранее душиком делаются наколы с расчетом, чтобы они не доходили до модели на 25—50 мм. Полученные таким образом каналы обеспечивают подвод газа в глубь формы. Частота каналов по периметру модели — один на 150—200 мм. Продувку формы после удаления модели производят с помощью специального колпака из листового железа. Колпак устанавливают на форму, CO_2 по шлангу через штуцер подается под колпак и упрочняет форму.

Продолжительность продувки форм CO_2 проведена ниже.

Площадь формы, м ²	0,5—0,75	1,0—1,5	2,0—2,5	3,0—3,5	4,0—4,25	6,0	8,0
Продолжительность продувки, мин	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—7	8—9

Стержни в зависимости от их габаритов изготавливаются целиком из жидкостекляной смеси, либо с облицовкой из этой смеси, причем толщина облицовочного слоя составляет 30—100 мм. Внутренняя полость стержня после установки облепленного металлического каркаса и предварительной легкой обдувки газом заполняется смесью, состоящей из 50% древесных опилок и 50% отработанной цеховой смеси. Продувка стержня углекислым газом осуществляется через отверстия в стенках ящика или с помощью коллектора и резиновых трубок с наконечниками через толщу стержня аналогично формам. Изготовленные формы и стержни тщательно окрашивают противопожарными покрытиями как самовысыхающими безводными, так и водными с последующей подсушкой.

Процесс на основе песчано-жидкостекляных пластичных самоотверждающихся смесей (ПСС-процесс)

В отличие от CO_2 -процесса, где коагуляция жидкого стекла и отверждение смеси связаны с воздействием газообразного реагента, в рассматриваемом процессе [1, 32] отверждение песчано-жидкостекляной смеси связано с воздействием твердого химического реагента — двухкислотного силиката ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), вводимого в смесь при ее изготовлении. В этом случае отверждение смеси связывают с образованием кальцево-натриевых гидросиликатов, которые прочно склеивают отдельные зерна песка между собой. В качестве упрочняющей добавки при этом нашел применение феррохромовый шлак, который содержит до 70% двухкислотного силиката. Процесс находит широкое применение в промышленности, причем он является более технологичным, чем CO_2 -процесс (отсутствие углекислотного хозяйства, шлангов и других приспособлений для продувки). Применяется он как при ручном, так и при машинном изготовлении форм и стержней для средних и крупных отливок при единичном и серийном их производстве. Исходными материалами для смесей являются: песок, глина, жидкое стекло, едкий натр, каменный уголь, обогащенный хризотилловый асбест и саморассыпавшийся шлак феррохромового производства (МРТУ 14-11—64). Все эти материалы, за исключением феррохромового шлака, аналогичны по характеристике и подготовке тем, что применяются при CO_2 -процессе. Феррохромовый шлак является побочным продуктом (отходом) при производстве безуглеродистого и малоуглеродистого феррохрома силикотермическим способом и поставляется литейным цехам Челябинским электрометаллургическим комбинатом (ЧЭМК) и рядом металлургических заводов других городов. Характеристика его дана в табл. V.61, а методы испытания — в табл. V.62.

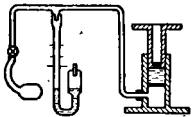
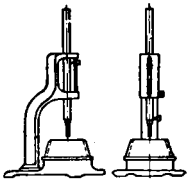
Приготовление смеси производится в два этапа. На первом этапе готовят в смесеприготовительном отделении цеха так называемую базовую песчано-жидкостекляную смесь (без феррохромового шлака), на втором (непосредственно на участке формовки) — в базовую смесь вводят феррохромовый шлак. Базовую смесь готовят в обычных бегунах, например модели 1А12М, а ее перемеши-

Характеристика феррохромового шлака

Составляющие	Массовая доля составляющих, %	Составляющие	Массовая доля составляющих, %
Минералогический состав		Химический состав	
Двухкальциевый силикат:		SiO ₂	24—27
γ-модификации	65	CaO	50—55
β-модификации	5	MgO	8—12
Шпинели	20—25	Al ₂ O ₃	5—8
(MgO·Al ₂ O ₃ и др.)		Cr ₂ O ₃	3—7
Периклаз	5	FeO	1,2
Металл в корольках	3		

Таблица V.62

Методы испытания феррохромового шлака

Схема прибора	Наименование свойств и способы их определения
	Удельная поверхность. Определяется с помощью прибора ПСХ-2 (ВНИИНСМ, Москва) и рассчитывается по формуле $D = 60\,000/S\gamma$, где D — средний размер частиц, мкм; S — удельная поверхность, см ² /г; γ — плотность, г/см ³
	Активность. Определяется на приборе Вика. В обечайку, установленную на приборе, заливается раствор жидкого стекла и феррохромового шлака в соотношении 1,2 : 1. Затем через каждые 5 мин игла прибора погружается в раствор. После того как раствор начнет затвердевать, интервалы погружения иглы уменьшаются до 15 с. Конец затвердевания смеси определяется временем, к которому игла погружается на глубину не более, чем на 1—2 мм

вание со шлаком производят в шнековом смесителе непрерывного действия, снабженным специальным дозатором для подачи шлака. Порядок введения компонентов и режимы перемешивания базовой смеси аналогичны режимам изготовления смеси для СО₂-процесса. Из шнекового смесителя готовая самотвердеющая смесь подается в опоку или стержневой ящик. Составы и свойства смесей приведены в табл. V.63.

Примерный зерновой состав феррохромового шлака приведен ниже.

Номер сита	1,6	1	0,63	0,4	0,315	0,2	0,16	0,1	0,063	0,05	Тазик
Остаток на ситах	1,0	1,0	0,6	1,2	1,2	2	2	5	8	10	68

Перед употреблением шлак должен быть просеян через сито с ячейкой 0,5 мм.

Основные требования к феррохромовому шлаку: содержание CaO не менее 50%, влажность не более 1,5%, удельная поверхность не менее $2000 \text{ см}^2/\text{г}$, активность при замере иглой Вика 13—20 мин.

При изготовлении средних и крупных форм ПСС используют в качестве облицовочной при ручной и при машинной формовке. На поверхность моделей наносят разделительное покрытие из смеси керосина с мазутом. В зависимости от габаритов формы и толщины стенки отливки облицовочный слой составляет от 50 до 120 мм. Уплотнение облицовочной смеси осуществляют пневмотрамбовкой или на встряхивающем столе формовочной машины. Остальной объем опоки заполняют обычной песчано-глинистой смесью и уплотняют аналогичным способом. После извлечения модели и выдержки, в процессе которой происходит упрочнение смеси, форма окрашивается. Продолжительность выдержки для крупных форм — не менее 1 ч с момента окончания набивки. Формы окрашивают как самовысыхающими, так и водными противопожарными покрытиями; при употреблении последних применяют поверхностную тепловую подсышку.

Стержни из ПСС изготавливают обычными способами (на пескометах, встряхивающих и пескострельных машинах). При изготовлении крупных стержней ПСС используется в качестве облицовочной смеси. Остальной объем стержневого ящика заполняют податливой песчано-глинистой наполнительной смесью (с добавкой древесных опилок), аналогично CO_2 -процессу. При изготовлении мелких и средних стержней используют также пескоструйно-пескострельные машины, снабженные устройством специальной конфигурации с двумя дозаторами (для базовой смеси и шлака) и смесительной камерой. Стержни после

Таблица V.63

Состав и характеристика песчано-жидкостекольных пластичных самоотверждающихся смесей

Назначение смеси	Объемная доля составляющих, %							Характеристика смеси							
	Кварцевый песок *	Формовочная глина	Уголь молотый	Асбестовая крошка	Жидкое стекло **	Раствор едкого натра ($\gamma = 1,3 \text{ г/см}^3$) **	Феррохромовый шлак **	Газопроницаемость	Влажность, %	Прочность, кгс/см^2 ($9,8 \cdot 10^4 \text{ Па}$)					
										σ_c			$\sigma_{\text{в}}$ после выдержки		
										до введения шлака		после введения шлака	1 ч		2 ч
Для форм	92,5—93,5	4—5	2,5	—	5,7	0,4—0,6	2—3	Не менее 100	3,5—4,0	0,12—0,15	0,12—0,15	0,2—0,3	0,7—1,0	1,3—1,6	2,0—2,5
Для стержней	97—98	—	—	2—3	5,7	0,4—0,6	4—6	Не менее 180	3,4—3,8	0,07—0,09	0,13—0,16	0,13—0,16	1,0—1,3	1,5—2,0	2,5—3,0

* При изготовлении форм допускается замена до 30% кварцевого песка регенератом из гидроочистных камер.
 ** Вводятся сверху 100%.

набивки сначала выдерживаются в ящиках (не менее 1,0—1,5 ч) до достижения прочности смеси примерно $1,5 \text{ кгс/см}^2$ ($1,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$), а затем, после их извлечения, подвергаются дополнительно выдержке на воздухе (до требуемой прочности), продолжительность которой определяется опытным путем. После достижения требуемой прочности стержни окрашивают противопожарными покрытиями.

Процесс на основе жидких самоотверждающихся смесей (ЖСС-процессе)

В отличие от обычных жидкоподвижные самоотверждающиеся смеси (ЖСС) «заливаются» в опоки и практически не требуют уплотнения [1, 7]. Это достигается тем, что в состав ЖСС вводятся специальные добавки поверхностно-активных веществ (ПАВ), образующих мелкие пузырьки пены, которые снижают силы трения между отдельными зернами песка и способствуют их легкому перемещению относительно друг друга под влиянием собственной массы. Другой особенностью ЖСС является то, что в их состав вводят специальные добавки, вызывающие отверждение связующего материала (самоупрочнение). В качестве пенообразующих добавок используют различные ПАВ. Наибольшее распространение получило поверхностно-активное вещество ДС-РАС.

Связующим материалом является обычно жидкое стекло, но иногда и сульфитно-спиртовая барда, синтетические смолы и др. В качестве упрочняющей добавки используется феррохромовый шлак (аналогично ПСС-процессу). Процесс отверждения смесей связывают с взаимодействием двухкальциевого силиката, содержащегося в феррохромовом шлаке, с жидким стеклом и образованием кальцево-натриевых гидросиликатов, связывающих зерна песка между собой.

ЖСС используют при изготовлении, главным образом, крупных литейных форм, а также средних и крупных стержней в тех случаях, когда механизация процесса их формовки затруднена или связана с большой трудоемкостью. Исходными материалами для ЖСС (кроме песка, феррохромового шлака, каменного угля, жидкого стекла и NaOH) служат еще пек древесный (ТУ 218—52) и ДС-РАС (ВТУ 31—56). За исключением ДС-РАС и древесного пека, характеристика и подготовка исходных материалов аналогичны CO_2 - и ПСС-процессам.

ДС-РАС (детергент советский — рафинированный алкиларилсульфонат) вводится в смесь с целью придания ей высокой подвижности за счет образования пены. Получают его при сульфировании керосинового или газойлевого дистиллята нефти. Он обладает следующими свойствами: цвет — от желтого до коричневого; реакция — нейтральная или слабощелочная; содержание масла — не более 1%; содержание солей сульфокислот — не менее 45%; содержание сульфата натрия — не более 5%; плотность при 20°C — $1,12\text{—}1,15 \text{ г/см}^3$; температура застывания — от -15 до -20°C ; вязкость при 50°C — $5\text{—}6 \text{ сСт}$ ($1 \text{ сСт} = 10^{-2} \text{ см}^2/\text{с}$).

Древесный пек вводится в стержневые смеси как противопожарная добавка. В зависимости от температуры размягчения древесный пек подразделяется на твердый и пластичный. Применяют обычно пластичный пек; допускается также применение твердого пека с температурой размягчения 80°C . По внешнему виду пек — кускообразная монолитная масса черного цвета с блестящим или матовым раковистым изломом; температура размягчения — $45\text{—}70^\circ \text{C}$; растворимость в ацетоне — не менее 85%.

Приготовление ЖСС производится на специальных автоматизированных установках, которые размещаются непосредственно на формовочных или стержневых участках литейного цеха. Эти установки (рис. V.6) сочетают процессы приготовления и раздачи смеси в опоки или стержневые ящики и характеризуются данными, приведенными ниже.

Модель установки	19114М	19115М	19115
Характер действия	Периодический		Непрерывный
Производительность, т/ч	8	15	20—30

Сухие компоненты смеси (песок, феррохромовый шлак и молотый уголь или древесный пек) размещаются в отдельных бункерах установки. Жидкие состав-

ляющие (жидкое стекло, ДС-РАС и раствор NaOH) в расчетных количествах заранее смешивают в отдельном баке и подают к смесителю установки в виде жидкой композиции.

В смеситель установки с помощью дозаторов и транспортера сначала подают сухие компоненты, перемешивают в течение 1,5—2 мин и вводят жидкую

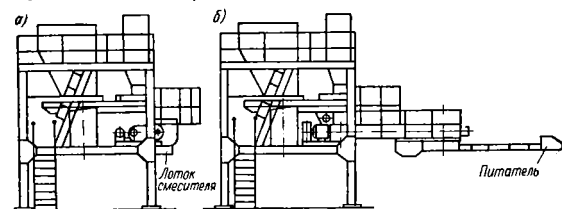


Рис. V.6. Схемы установок для приготовления и раздачи ЖСС: а — периодического действия; б — непрерывного действия.

Таблица V.64

Состав и характеристика песчано-жидкостекольных жидких самоотверждающихся смесей (ЖСС)

Назначение смеси	Массовая доля составляющих, %							Влажность, %		
	Сухие составляющие (наполнитель)				Жидкая композиция **					
	Кварцевый песок *	Феррохромовый шлак	Уголь молотый	Древесный пек	Жидкое стекло	Раствор едкого натра	ДС-РАС			
Облицовочная для форм	94,6	4	1,4	—	7	0,3	0,12	5,2—6		
Наполнительная для форм	94,6	4	1,4	—	4	0,3	0,12	5,0—5,8		
Для стержней	95,25	4	—	0,75	6,5	—	0,15—0,2	5,2—6,0		
Назначение смеси	Характеристика смеси после выдержки образцов на воздухе, ч									
	1	2	3	5	24	1	2	3	5	24
	σ_c , кгс/см ² (9,8·10 ⁴ Па)					Газопроницаемость, ед.				
Облицовочная для форм	1,5—2	2—3	3—5	5—7	7	—	60—100	100—150	150—250	300—350
Наполнительная для форм	0,5—0,6	0,8—1,2	1,3—1,5	2,5—3,0	3,0—3,5	—	—	200	250—300	350—500
Для стержней	2	2,5	3	5	7	20—30	40—60	60—120	150—200	300—400

* При изготовлении форм допускается замена до 30% кварцевого песка регенератом из гидроочистных камер.

** Вводится сверх 100%.

* При изготовлении форм допускается замена до 30% кварцевого песка регенератом из гидроочистных камер.

** Вводится сверх 100%.

композицию. После введения жидкой композиции смесь из сыпучего переходит в жидкое состояние; примерно через 2—3 мин смесь достигает оптимальных свойств и выпускается через питатель смесителя в опоку или стержневой ящик. Общая продолжительность процесса приготовления смеси составляет 4—6 мин. На установках со смесителем непрерывного действия подача в смеситель сухих компонентов и жидкой составляющей в требуемых количествах производится непрерывно. ЖСС может быть приготовлена также и в обычном шишковом смесителе барабанного типа.

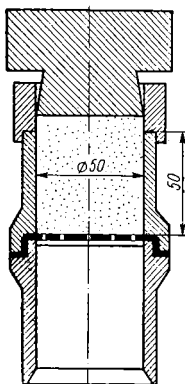
При отработке состава ЖСС в лабораторных условиях в качестве смесителя используют бетономешалку с баком емкостью 15 л. Составы и свойства ЖСС приведены в табл. V.64.

На свойства ЖСС влияют различные факторы. Так, влажность смеси повышается при увеличении расхода жидкой композиции и при понижении ее плотности; прочность смеси, определяющая способность стержней и форм сохранять конфигурацию без изменений при разборке стержневых ящиков, транспортировке, сборке и при заливке металла, уменьшается при снижении активной поверхности феррохромового шлака, при понижении модуля жидкого стекла и содержания последнего в смеси, при снижении температуры компонентов смеси и окружающего воздуха. Газопроницаемость смеси увеличивается по мере спадания пены и после упрочнения образца возрастает до 400 ед. и более; появление газопроницаемости у образца совпадает с моментом спадания пены, который может характеризовать время живучести смеси (устойчивость пены).

Устойчивость пены смеси составляет примерно 10—20 мин; она может быть уменьшена в 1,5—3 раза при введении в жидкую композицию до 1—3% пеногасителя (керосина), а также при повышении температуры окружающего воздуха и при уменьшении дисперсности наполнителя смеси.

Испытания свойств ЖСС производят следующим образом. Влажность определяется разницей между первоначальной массой смеси (50 г) и массой, определяемой после ее высушивания при 105—110°С, отнесенной к 100%. Предел прочности на сжатие определяют на стандартных цилиндрических образцах, отверждаемых под нагрузкой 0,065 кгс/см² ($64 \cdot 10^3$ Па); образцы испытывают через определенные промежутки времени, например, через 1, 2, 3, 5 и 24 ч после заливки смеси в гильзу. Газопроницаемость испытывают на стандартном приборе модели 042; при изготовлении образца в специальную гильзу (рис. V.7), внутри которой укреплен проволочная сетка с ячейкой 0,5—1,0 мм, заливается смесь, и сверху устанавливается груз массой 1350 г; газопроницаемость определяют через 1, 2, 3, 5 и 24 ч.

Рис. V.7. Гильза к прибору для определения газопроницаемости



При изготовлении форм применяют ЖСС двух типов: облицовочную и наполнительную. Облицовочной заполняют объем опоки примерно на 60%, остальной объем заполняют наполнительной смесью. Для предупреждения прилипания смеси к модели на поверхность модели наносят разделительное покрытие, состоящее из 50% эмульсола и 50% керосина или из смеси мазута, керосина и сербристого графита в соотношениях 1 : 1 : 0,5.

Для выполнения литниковой системы применяют заранее изготовленные унифицированные стержни с ходами для металла, которые устанавливаются и укрепляются в опоке перед ее заливкой. При использовании металлических подмодельных плит применяют магнитное крепление этих стержней. В верхней полужорме предусматривают установку крючков. При заливке верхней полужормы без подмодельной плиты плоскость разреза формы засыпают тонким слоем мелкого сухого песка.

Для выполнения литниковой системы применяют заранее изготовленные унифицированные стержни с ходами для металла, которые устанавливаются и укрепляются в опоке перед ее заливкой. При использовании металлических подмодельных плит применяют магнитное крепление этих стержней. В верхней полужорме предусматривают установку крючков. При заливке верхней полужормы без подмодельной плиты плоскость разреза формы засыпают тонким слоем мелкого сухого песка.

Для повышения качества поверхности и уменьшения пригара на отливках целесообразно применять при заливке вибрацию. Извлекать модель из формы следует не ранее, чем через 30—40 мин после заливки опоки смесью. Ввиду повышенной пористости смеси изготовленную форму тщательно окрашивают противопригарными покрытиями. Заливка форм жидким металлом производится не ранее, чем через 4—5 ч после ее выдержки на воздухе, когда форма приобретает необходимые технологические свойства.

Изготовление стержней производится в стержневых ящиках, которые предварительно очищают от остатков смеси, после чего наносят на их рабочую поверхность разделительное покрытие. Затем, если требуется, в ящиках устанавливают металлические облегченной конструкции каркасы с весками и подают их к установке под заливку смесью. При заливке желательно применять кратковременную вибрацию. Вибрацию прекращают после окончания заливки смеси. Сразу же после затвердевания смеси удаляют съемные части стержневого ящика. Извлечение стержня из ящика после 40 мин выдержки осуществляется общепринятыми способами. Окраску стержней производят как водными, так и самовысыхающими красками. Хорошие результаты дает применение трехслойного покрытия водными красками с последующей подсушкой каждого слоя. Применяют также цирконовые самовысыхающие краски, наносимые на первично окрашенную и подсушенную поверхность стержня. При использовании самовысыхающих красок без подсушки стержни перед установкой в формы выдерживают на воздухе в течение 18—24 ч.

6. ОСОБЫЕ ВИДЫ ФОРМОВКИ

Формовка по газифицируемым моделям

При данном способе литья модель, не извлеченная из формы, газифицируется под действием тепловой энергии заливаемого металла (рис. V.8). При серийном производстве отливок размерная точность при данном способе литья соответствует 12—14-му качеству по стандарту СЭВ 145—75, при единичном — 14—16-му качеству. Модель с противопригарным покрытием обеспечивает 3—4-й классы шероховатости поверхности отливки, масса отливок снижается на 10—20%, а припуск на механическую обработку — в два раза, что обеспечивает соответственно снижение себестоимости литых деталей. Способ применяется, главным образом, для получения тонкостенных отливок с развитой поверхностью.

Для изготовления моделей применяется пенополистирол, существующий в трех состояниях: стеклообразном, высокоэластичном и вязкотекучем с температурой стеклования 80° С, плавления — 239° С, деполимеризации — 300° С. Основные свойства пенополистирола в гранулах приведены в табл. V.65.

Пенополистирол в плитах (ТУ 50—64) изготавливается длиной 500—1000 мм, шириной 400—700 мм и толщиной 25, 35, 50, 70 и 100 мм. Основные свойства пенополистирола в плитах приведены ниже.

Кажущаяся плотность сухого продукта, г/см ³	0,016—0,035
Глубина вмятин на поверхности, мм, не более	5
Коэффициент теплопроводности при 25±2° С, ккал/(м·ч·°С)	0,035
1,163 Вт/(м·К)	25
Влажность, %, не более	0,5
Прочность при 10% сжатия, кгс/см ² (9,8·10 ⁴ Па), не менее	

Для того чтобы изготовить модели и плиты, пенополистирол в гранулах подвергается следующей переработке: рассеву, подвспениванию, сушке и выдержке (созреванию) гранул. Рассев гранул производят по фракциям на ситах по ГОСТ 3584—73. Размер фракций d выбирается в зависимости от толщины стенки модели (δ):

δ , мм	8	10	20	30	40
d , мм	0,5	0,6	1,2	1,8	2,5

Подвспенивание гранул производится при температуре 95—110° С в воде или паре при статическом или кинетическом режиме. В первом случае гранулы на специальных ситах погружаются в теплоноситель, во втором — подвспенивание

происходит в противотоках гранул и пара. На втором принципе работают все автоматические установки [18]. При нагреве гранул выше 80°C полистирол переходит в эластичное состояние и за счет испарения низкокипящего изопентана ($t_{\text{к}} = 28^{\circ}\text{C}$) в порах полистирола происходит рост гранул. Подвспенивание гранул проводится до насыпной массы $0,016\text{--}0,020\text{ г/см}^3$ ($16\text{--}20\text{ кг/м}^3$), причем продолжительность процессов определяется по графикам, приведенным на рис. V.9. После подвспенивания, особенно в воде, гранулы сушатся в потоке воздуха при $t \approx 28^{\circ}\text{C}$. При охлаждении гранул изопентан конденсируется в порах, в результате чего образуется вакуум, который заполняется воздухом за счет его диффузии через стенки гранул. Время заполнения вакуума соответствует периоду созревания, который равен $24\text{--}36\text{ ч}$.

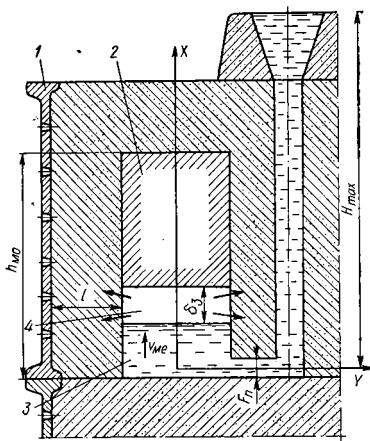


Рис. V.8. Схема процесса литья по газифицируемому моделям:

1 — опока; 2 — модель из пенополистирола; 3 — металл; 4 — газ (продукт разрушения модели)

Формирование модели происходит в следующей последовательности: заполнение гранул в пресс-форму, нагрев и охлаждение пресс-формы, извлечение моделей из пресс-формы, сушка и выдержка моделей до стабилизации их размеров в течение $2\text{--}3\text{ сут}$ [16]. Формирование моделей из гранул в пресс-формах может осуществляться: ванным и автоклавным способами, внутренним и внешним тепловыми ударами и токами высокой частоты (т. в. ч.). При ванном способе пресс-форма, заполненная гранулами, помещается в кипящую воду. Время спекания зависит от толщины стенки модели [16]. Модели получаются при этом с кажущейся плотностью $0,025\text{--}0,030\text{ г/см}^3$ ($25\text{--}30\text{ кг/м}^3$). При автоклавном способе пресс-форма, заполненная гранулами, помещается в автоклав, куда подается острый пар под давлением $1\text{--}2\text{ кгс/см}^2$ [$(1\div 2) \cdot 10^6\text{ Па}$]. Время спекания моделей τ в автоклаве выбирается в зависимости от толщины стенки пресс-формы (рис. V.10). Этот способ в $10\text{--}15$ раз быстрее ванного и позволяет получать модели с нужной кажущейся плотностью $0,016\text{--}0,020\text{ г/см}^3$ ($16\text{--}20\text{ кг/м}^3$). При способе внутреннего теплового удара (рис. V.11) пар под давлением $0,8\text{--}1,5\text{ кгс/см}^2$ [$(0,8\div 1,5) \cdot 10^6\text{ Па}$] подается в полость пресс-формы через инжекторы, после чего выходит через перфорированные стенки пресс-формы. Диаметр инжектора $20\text{--}25\text{ мм}$; по его окружности имеются отверстия диаметром $1\text{--}2\text{ мм}$. Инжекторы располагаются на расстоянии $80\text{--}100\text{ мм}$ от стенок пресс-формы и на расстоянии $180\text{--}250\text{ мм}$ друг от друга. Данным способом изготавливают толсто-стенные модели. Время спекания составляет доли минуты и саморегулируется за счет перекрытия отверстий инжекторов спекшимся пенополистиролом. Способ внешнего теплового удара (рис. V.12), применяемый на автоматах, осуществляется путем подачи острого пара под давлением до $2,5\text{ кгс/см}^2$ (до $2,5 \cdot 10^6\text{ Па}$) в паровую рубашку, расположенную вокруг пресс-формы [18]. При способе формирования моделей т. в. ч. гранулы пенополистирола смачиваются водой, засыпаются в пресс-форму, изготовленную из диэлектрика (пластмассы), которая помещается между пластинами конденсатора. Источником энергии являются ламповый генератор мощностью $5\text{--}40\text{ кВт}$, работающий при частотах $5\text{--}70\text{ МГц}$. Напряженность поля составляет $500\text{--}1000\text{ В/см}$. Время спекания

Основные свойства пенополистирола в гранулах
(ОСТ 6-05-207—73)

Показатель	ПСВ-А *		ПСВ-Л **
	I группа	II группа	
Влажность, % (не более)	1,0	1,0	1,0
Содержание мономера, % (не более)	0,25	0,25	0,30
Содержание порообразователя, % (не менее)	5,0	5,0	4,5
Гранулометрический состав остатка после просева на сите с сеткой 05 (ГОСТ 3584—73), %	80	80	70
Кажущаяся плотность на образцах, г/см ³ (не более)	0,025	0,025	0,025
Предел прочности на сжатие, кгс/см ² ($9,8 \cdot 10^4$ Па)	1,3	2,5	—
Верхний предел рабочих температур, °C	70	70	70
Коэффициент теплопроводности, ккал/(м·ч·°C) [$1,163$ Вт/(см·K)]	0,030—0,038		

* ПСВ-А — полистирол суспензионный бисерный марки А.
 ** ПСВ-Л — полистирол суспензионный вспенивающийся литейный.

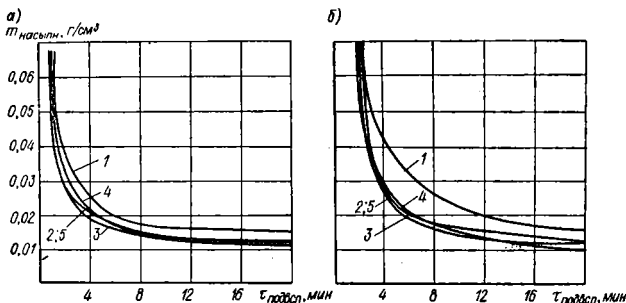


Рис. V.9. Зависимость продолжительности подвешивания $\tau_{\text{подвсп}}$ гранул пенополистирола от насыпной массы $m_{\text{насыпл}}$ для различного фракционного состава:
а — в воде ($t = 100^\circ \text{C}$); б — в паре ($t = 98-100^\circ \text{C}$);

1 — фракции 0,5—1,0 мм; 2 — 1,0—1,6 мм; 3 — 1,6—2,5 мм; 4 — 2,5—5,0 мм; 5 — без просева

моделей 10—60 с. Способ применяется для формирования крупногабаритных моделей [18].

Охлаждение пресс-форм производится в проточной воде при температуре 15—20° С. Время охлаждения τ (мин) определяется в зависимости от толщины стенки модели δ , (мм):

$$\rho, \text{ кг/см}^3$$

$$\tau = 0,21 \sqrt[3]{\delta}. \quad (V.5)$$

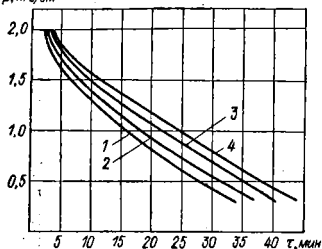


Рис. V.10. Продолжительность τ спекания моделей из пенополистирола ПСВ-Л фракций 1,0—1,6 мм в автоклаве в зависимости от давления для моделей с различной толщиной стенки:

1 — 10 мм; 2 — 20 мм; 3 — 40 мм; 4 — 80 мм

менее 1,5 мм. Нормальный ряд вент представлен в табл. V.66.

Для выбора отдельных конструктивных элементов пресс-форм можно использовать РТМ 10—60 «Пресс-формы для литья по выплавляемым моделям», а также МН 4300—62—МН 4342—62 «Формы для изготовления выплавляемых моделей».

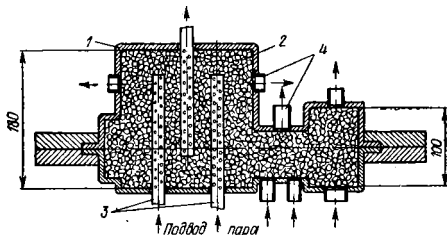


Рис. V.11. Схема внутреннего теплового удара:

1 — пресс-форма; 2 — пенополистирол; 3 — инжекторы; 4 — отверстия для выхода отработанного пара

В единичном производстве модели получают путем изготовления отдельных элементов механической обработкой пенополистироловых плит и последующей их склейки. Режимы резания пенополистирола приведены в табл. V.67 и V.68.

Наиболее часто применяются специальные установки и приспособления, где режущим инструментом является нихромовая инь диаметром 0,3—1,0 мм. Температура проволоки должна быть 250—400° С, скорость резания 3—5 см/с. Для склеивания заготовок применяются: клей № 61, растворенный в бензине;

смола МФ-17 (МРТУ МХП-6-05-100—66) с отвердителем — порошкообразной шавелевой кислотой (ГОСТ 5973—69); клей ВИАМ-Б; поливинил-ацетатная эмульсия; клей БФ-2 и др.

Неровности, выбоины и швы на моделях заделываются шпаклевкой, состоящей из 12,5% парафина, 12,5% стеарина, 25% олифы оксоль, 50% декстрина. Швы можно клеить также клеевой бумагой или полихлорвиниловой пленкой. Мелкие галтели выполняются шпаклевкой или полихлорвиниловой пленкой, крупные — вырезаются из пенополистирола и вклеиваются. Галтели могут быть выполнены также пальцевыми фрезами. Для улучшения поверхности отливок модели из пенополистирола окрашиваются противопожарными покрытиями (табл. V.69) в два-три слоя.

При заливке формы модель под действием тепловой энергии расплава разрушается с образованием газовой, паровой, жидкой и твердой фаз. Жидкая фаза ска-

Таблица V.66

Параметры вент
нормального ряда

Наружный диаметр вентя, мм	Число прорезей	Суммарная площадь прорезей (мм ²) при ширине прорезей		
		0,1 мм	0,2 мм	0,3 мм
6	2	0,7	1,4	2,1
8	3	1,6	3,2	4,8
10	5	3,8	7,7	11,4
12	5	4,8	9,6	14,4
14	7	6,1	12,2	18,3

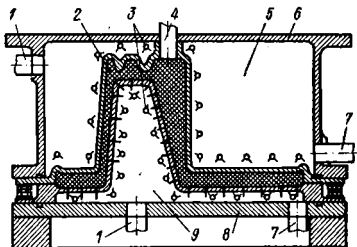


Рис. V.12. Пресс-форма модельного автомата:

1 — выход пара, воды и воздуха; 2 — модель; 3 — форсунки для подачи воды; 4 — отверстия для задува гранул; 5 — верхняя паровая камера; 6 — неподвижная часть пресс-формы; 7 — подача пара; 8 — подвижная часть пресс-формы; 9 — нижняя паровая камера

пливается к концу заливки на границе металл—форма и подвергается вторично разрушению. Состав продуктов первичной разрушения определяется по диаграмме рис. V.13, где t_x — массовая доля выделившихся продуктов; m_0 — исходная масса модели; t_x — время заливки металла; $\tau_0 = h_{мo}/v_0$ — время полной разрушения [$h_{мo}$ — высота модели; $v_0 = 0,5$ см/с для пенополистирола с $\gamma = 0,020 \div 0,025$ г/см³ (20—25 кг/м³)]. Массовые доли продуктов термической разрушения

Таблица V.67

Режимы резания пенополистирола

Оборудование	Скорость резания, м/с	Подача, м/мин	Глубина резания, мм
Ленточные пилы	20—30	1,0—1,5	—
Круглопильные станки	30—80	3,0—4,0	—
Фуговально-строгальные станки	25—35	1,7—2,2	2
Рейсмусовые станки	25—35	1,7—2,2	1,0—3,0
Фрезерные станки	15—25	1,0—2,0	0,5—3,0
Сверлильные станки (сверло пу- стотелое)	500— 3000 об/мин	0,25—0,75	—
Токарные станки	15—30	1,0	2,0

Режимы чистовой обработки пенополистирола

Инструмент	Скорость, м/с	Частота вращения шпинделя, об/мин	Подача, м/мин	Глубина резания, мм
Шлифовальные круги и головки диаметром 40—70 мм	6—15	2000—5500	0,5—0,8	10—20
Оправка диаметром 50 мм с наклеенной шлифовальной шкуркой зернистостью 40 ед.	5—12	2000—3500	0,5—0,8	20—30
Пальцевая фреза с насечкой диаметром 16 мм	5	3000—6000	0,5—1,0	—
Резцы токарные, обклеенные шлифовальной шкуркой	6	2500—3000	—	—

Таблица V.69

Противопргарные покрытия, применяемые на моделях из пенополистирола

Составляющие покрытия	Массовая доля составляющих, %	Примечание
Циркон, УМТУ 4469—54	60	Время сушки на воздухе каждого слоя 20—30 мин
Поливинилбутираль, ГОСТ 9439—73	2,5—4	
Этиловый спирт (гидролизный), ГОСТ 17299—71	36—37,5	
Циркон	60	Время сушки каждого слоя 30—40 мин
Смола ФФ-16, ТУ 59-33—70 (вязкость по ВЗ-4 115—125 см)	20	
Растворитель АКР, ТУ 252—55 ($\gamma = 1,14 \div 1,20 \text{ г/см}^3$)	20	
Графит черный	37	Время сушки на воздухе каждого слоя 50—60 мин
Графит серебристый	6	
Поливинилбутираль	1,5—4	
Этиловый спирт	46—47	
Древесный лек, ТУ 218—52 ($\gamma = 1,08 \div 1,1 \text{ г/см}^3$)	8,5	
Вспученный перлит, ВТУ 79—68 ($\gamma = 0,085 \div 0,09 \text{ г/см}^3$)	7—9	Продолжительность сушки на воздухе первого слоя 20 мин, второго — 30 мин. Рекомендуется для мелкого чугунного литья массой до 100 кг; обеспечивает хорошее качество поверхности
Бакелитовый лак марки А, ГОСТ 901—71	9—11	
Поливинилбутираль	2—3	
Борная кислота, ГОСТ 9656—61	0,06—0,08	
Этиловый спирт (синтетический), ГОСТ 11547—76	76—82	

модели при полном разложении жидкой фазы и заливке чугуна при 1300—1350° С. составляют:

Парообразные	2,35%	C ₂ H ₆ : 1,6%	C ₂ H ₄ : 11,85%	C ₂ H ₂	
Газообразные	0,75%	H ₂ : 1,89%	CO: 4,67%	CO ₂ : 1,34%	CH ₄ :
	1,79%	C ₂ H ₄ : 2,3%	C ₂ H ₂ : 0,07%	C ₂ H ₆ : 0,25%	C ₂ H ₆ :
	0,04%	C ₂ H ₂ : 2,3%	C ₂ H ₁₂		
Твердые	68,8%	сажи			

Относительную газотворность q (см³/г) определяет парогазовая фаза первичной деструкции модели, а абсолютную газотворность Q (см³/г) — парогазовая фаза полной деструкции (220 см³/г), т. е.

$$q = nQ = (1 - \varepsilon) Q,$$

где n — степень газификации полистирола; ε — коэффициент накопления жидкой фазы; причем n и ε зависят только от скорости подъема металла в форме (рис. V.14). Относительная газотворность формирует в зазоре δ_3 (см. рис. V.8) газовое давление p_ϕ [кгс/см² (10^5 Па)]

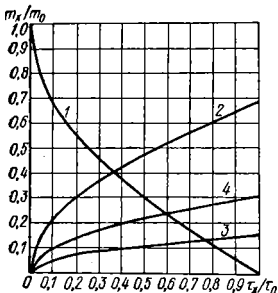


Рис. V.13. Кинетическая диаграмма термодеструкции пенополистирола:

1 — жидкая фаза; 2 — твердая фаза; 3 — газовая фаза; 4 — паровая фаза

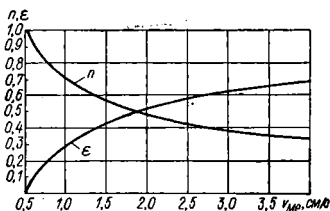


Рис. V.14. Зависимость степени газификации полистирола n и коэффициента накопления жидкой фазы ε от скорости подъема металла в форме v_{Me}

$$p_\phi = \sqrt{\frac{3,2 \cdot 2v_{Me} \gamma_{mo} \eta t_\phi l F}{273 \Gamma_n \Pi \delta_3}} + p_0^2, \quad (V.6)$$

где v_{Me} — средняя скорость подъема металла в полость формы; η — вязкость газа, равная 0,01 сПз (10^{-5} Па·с); t_ϕ — температура формы, К; l — путь фильтрации газа, см; F — площадь поперечного сечения модели в зоне взаимодействия с металлом; Γ_n — стандартная газопроницаемость*; Π — периметр модели в зоне взаимодействия с металлом; p_0 — атмосферное давление; γ_{mo} — кажущаяся плотность модели; δ_3 — зазор, равный 0,5—1 см.

На термодеструкцию модели в форме расходуется 2400 ккал/кг (10^7 Дж/кг), что соответствует снижению температуры металла на 35° С.

Технология формы определяется спецификой способа. Необходимо стремиться к полной ликвидации стержней и делать формы неразъемными. В качестве материала формы выбираются высокогазопроницаемые формовочные смеси — жидкие самотвердеющие, фурановые, смеси, полученные по CO₂-процессу, на основе кварцевых, цирконовых, металлических и других песков**. Модель в форме располагают так, чтобы отношение площади поперечного сечения ее (относительно направления подъема металла в форме) к периметру в этом сечении было минимальным, т. е. располагать ее необходимо вертикально или наклонно по отношению

* Газопроницаемость по Дарси равна $\Gamma_n/3,2$.

** Пенополистироловые модели применяются также при магнитных формах [17].

плоскости большого размера. Газифицируемые модели применяются как при единичном, так и серийном производстве.

Литниковая система применяется только нижняя, с питателями, рассредоточенными по всей поверхности равномерно. Соотношения между элементами литниковой системы должны быть такими же, как и при литье по извлекаемым моделям. Выпора и прибыли делаются только закрытого типа [16]. Расчет узких сечений питателей F_n производится по формуле

$$\sum F_n = \frac{m_{отл}}{\mu \tau_3 0,31 \sqrt{H_p - \frac{\rho_{\phi}}{\gamma_{ме}}}}, \quad (V.7)$$

где $m_{отл}$ — масса отливки; μ — коэффициент массового расхода, равный 0,5—0,6; $\sqrt{H_p} = (\sqrt{H_{max}} + \sqrt{H_{min}})/2$ (H_{max} и H_{min} — максимальный и минимальный гидростатический напор металла при сифонной заливке, применяемой в данном случае); ρ_{ϕ} — определяется решением уравнения (V.6); $\tau_3 = h_{мо}/v_{оп}$, где $h_{мо}$ — высота модели, мм; $v_{оп}$ — оптимальная скорость подъема металла в форме, см/с.

Зависимость скорости $v_{оп}$ от толщины стенки отливки приведена ниже.

Толщина стенки отливки, мм	10	20	30	40
$v_{оп}$, см/с	2,5	2,0	1,5	1,2

Для получения качественной отливки в песчаной форме необходимо сохранить равновесие системы металл—песок, определяемое из неравенства [16]

$$\gamma_{пз} \operatorname{tg}^2 (45^\circ - \varphi/2) \leq \rho_{\phi} \leq K \gamma_{пз} \operatorname{tg}^2 (45^\circ + \varphi/2), \quad (V.8)$$

где $\gamma_{п}$ — объемная плотность песка; z — расстояние от расчетного сечения отливки до верха формы; φ — угол внутреннего трения наполнителя; K — коэффициент, учитывающий переход ламинарного течения газа в форме в турбулентное (для газопроницаемых стенок контейнера $K = 0,25 \div 0,3$, для газонепроницаемых стенок $K = 0,3 \div 0,5$). При этом следует иметь в виду, что структурно-механические характеристики кварцевых песков определяются в основном формой зерна и мало зависят от размера, например, для песков марки К 020А они характеризуются данными, приведенными в табл. V.70.

Таблица V.70

Свойства песков марки К020А

Форма зерна	Объемная масса, г/см ³		Угол внутреннего трения φ		Относительная уплотняемость, %	Пористость, %	
	при свободной засыпке	при максимальном уплотнении	при свободной засыпке	при максимальном уплотнении		при свободной засыпке	после уплотнения
Округлая	1,45	1,73	35	46	16,5	45	35
Полукруглая	1,47	1,70	36	49	13,5	46	36
Остроугольная	1,39	1,63	37	52	14,7	47	38

Время уплотнения формы вибрацией зависит от амплитуды A и частоты ω и составляет 30—40 с.

$$A = 6g/\omega^2, \quad (V.9)$$

где g — ускорение.

Пенополистироловые модели в виде ребер, бобышек, отъемных частей применяются иногда в комбинации с деревянными. Этот метод применяется преимущественно

шественно для толстостенных ($\delta = 100$ мм) отливок простой конфигурации, причем изготовление форм не отличается от традиционных способов формовки. При извлечении моделей из формы пенополистироловые части остаются и затем газифицируются под действием тепловой энергии металла. Для отливок ответственного назначения производят предварительное выжигание моделей из формы кислородом или смесью ацетилена с кислородом в сушилах при $t = 400^\circ \text{C}$ и другими способами.

Получение крупных единичных отливок характеризуется выделением больших масс продуктов деструкции во время заливки; поэтому формы должны иметь газопроницаемость и усиленную вентиляцию [16]. Для уменьшения выделения сажи и дыма для очень крупных отливок в зону взаимодействия металла с моделью (зазор) в предварительно проделанные сквозные каналы через форму и модель подается CO_2 . Расход газа должен составлять $0,9\text{--}1,5 \text{ м}^3$ на 1 кг модели. Давление на выходном вентиле редуктора должно быть $0,5\text{--}0,6 \text{ кгс/см}^2$ [$(0,5\text{--}0,6) \cdot 10^5 \text{ Па}$].

Технологический процесс получения единичных отливок по газифицируемым моделям наиболее рентабелен при применении для форм ЖСС. Производительность труда возрастает в три-четыре раза. При применении пластичных смесей процесс формовки производится в такой же последовательности, что и при обычных методах литья. Нагружение форм рассчитывается с учетом газового давления в газоре δ_3 :

$$m_T = \rho_F F_\Phi + \gamma_{\text{ме}} H_P S'_\Phi - \sigma_\Phi S_\Phi - m_0, \quad (\text{V.10})$$

где m_T — масса груза; F_Φ — площадь взаимодействия металла с моделью; S'_Φ — площадь формы, на которую действует подъемная сила металла; σ_Φ — прочность формы на разрыв (если форма неразъемна); S_Φ — живое сечение формы; m_0 — масса верхних опок.

Дефекты отливок и причины их образования можно характеризовать следующим образом.

1. «Набор» — волнистость поверхности; высота гребешка достигает 3 мм ; поверхность покрыта пленами пироуглерода. Причины образования: низкая газопроницаемость формы ($\sim 10 \text{ ед.}$); высокая скорость заливки; большая кажущаяся плотность модели; неправильный подвод металла.

2. Углеродистые раковины — глубокие раковины и складки, локально расположенные на верхней, реже на боковых поверхностях; заполнены сажистым углеродом. Причины образования: высокая скорость заливки; большая кажущаяся плотность модели; неправильная литниковая система; неправильное положение модели в форме.

3. Углеродистые пленки — поверхность покрыта толстыми пленами пироуглерода; под пленами значительная шероховатость поверхности отливки. Причина образования — односторонний подвод металла в форму.

4. Глубокие полузакрытые или закрытые газовые раковины, расположенные в верхней части отливки. Причина — высокая скорость заливки.

5. Грубая форма графита (обнаруживается на шлифе). Причина образования — низкая газопроницаемость формы и противопригарного покрытия.

Вакуумная формовка (v-процесс)

Отличительной особенностью вакуумной формовки является применение сухого песка без связующего, который спрессовывается и удерживается в опоре при помощи синтетических полимерных пленок и вакуума [39, 40]. Последовательность операций при вакуумной формовке приведена на рис. V.15. Предварительно модельную плиту 1 и модель 2 с вентями или сквозными отверстиями диаметром $0,5\text{--}1 \text{ мм}$ монтируют на коробчатом основании, имеющем вакуумируемую полость 3; при этом аквзные отверстия модели должны входить в эту полость (рис. V.15, а). Пленку 4 толщиной $0,05\text{--}0,1 \text{ мм}$ натягивают на рамку 5 и подогревают электроспиралью 6 или инфракрасным (темным) излучением до пластического состояния (рис. V.15, б). Затем рамку 5 с пленкой 4 опускают на модель-

ную плиту 1 с моделью 2 и одновременно в полости 3 создают вакуум, равный 300—400 мм рт. ст. (40 000—53 300 Па), под действием которого размягченная пленка плотно прилегает к плите и модели; отдельно — вне плиты — боковую поверхность съемного стояка обертывают пленкой, а край пленки по высоте стояка закрепляют клейкой бумажной лентой, ставят стояк 7 на бобышку 8 литниковой системы и вокруг их стыка на боковые поверхности поверх пленки также накле-

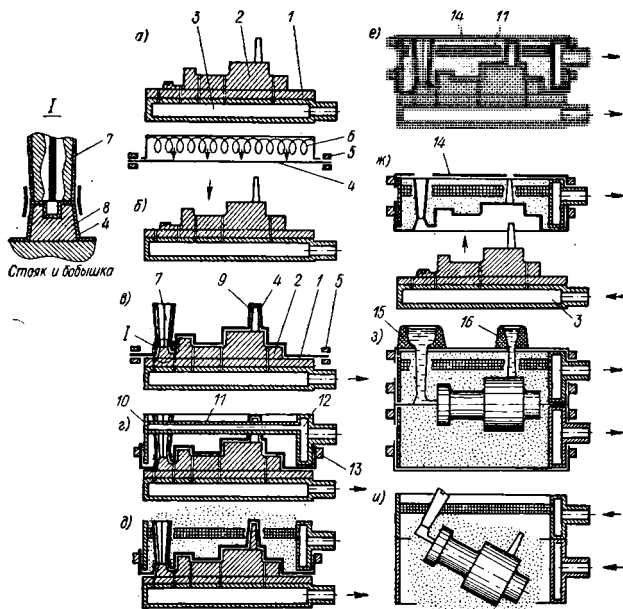


Рис. V.15. Последовательность операций при вакуумной формовке [39]

ивают бумажную ленту. Если выпор 9 высокий, он делается съемным и покрывается пленкой вне плиты — как стояк; небольшой же высоты выпор, как в данном примере, укрепляется на модели и обтягивается пленкой одновременно с ней (рис. V.15, в). Далее на модельную плиту, покрытую пленкой, ставят опоку 10, имеющую отсасывающую перфорированную трубу 11 с сетчатым фильтром, и коллектор 12 с патрубком. Края пленки отгибают и закрепляют на стенках опоки при помощи магнитов 13 (рис. V.15, в). В опоку засыпают песок и уплотняют его при помощи вибрации (рис. V.15, д), затем счищают излишек песка со стороны контрлада, накладывают пленку 14 и через трубу 11 вакуумируют форму, причем атмосферное давление спрессовывает песок до твердости 90—95 ед. (рис. V.15, е). В пленке 14 над стояком делают надрез и вынимают его, а над выпором вырезают отверстие несколько меньшего диаметра, чем диаметр его торца. После этого отключают основание с полостью 3 от источника, создающего вакуум, и снимают форму с модельной плиты (рис. V.15, ж). Опоки собирают, ставят нарощалки 15,

16 для чаши и выпора, а в полость, облицованную пленкой, заливают металл (рис. V.15, э). После достаточного охлаждения отливки вакуумную установку отключают, а песок высыпают из опоки (рис. V.15, и). После охлаждения песка он может быть использован повторно.

Вентиляция формы при v-процессе ввиду того, что пленка газонепроницаема, имеет следующие особенности. Воздух, находящийся в литейной полости, при заливке нагревается, и так как он находится в замкнутом объеме, ограниченном пленкой, то давление его повышается. Это может привести к подъему верхней опоки и утечке металла. Поэтому для вывода воздуха из литейной полости необходимо предусмотреть на отливке выпор.

Вывод газов из стержней может осуществляться двумя способами. Для простых стержней в модели делают гнездо, куда их вкладывают после того, как модель покрыта пленкой, и заформовывают. При заливке газы из стержня в этом случае удаляются через песок при вакуумировании формы. Газы из относительно крупных стержней, представляемых в форму, выводят через канал, располагаемый в форме над верхним знаком модели (его формуют так же, как «короткий» или «высокий» выпор); для вывода газов из небольших стержней в пленке над знаком иглой прокалывают отверстие.

Пленка, представляющая собой термопластичный синтетический полимер, должна плотно облегать модель без образования складок или разрывов. Для этого пленка должна обладать хорошими пластическими свойствами, мало отличающимися в продольном и поперечном направлениях, и иметь некоторую упругость, чтобы не воспринимать следов механической обработки модели или мелких дефектов ее поверхности. В наибольшей мере этим требованиям удовлетворяет этилвинилацетатная пленка толщиной 0,075 мм (содержание винилацетата 14—17%, плотность 0,94 г/см³, $t_{пл} = 58^\circ \text{C}$). При температуре окружающей среды 95°C и нагрузке 9 кгс/см² ($88 \cdot 10^4$ Па) в течение 1 мин образец из указанной пленки шириной 10 мм на длине 40 мм показывает удлинение в продольном и поперечном направлениях соответственно 170 и 190%.

Песок, благодаря отсутствию газотворных добавок и малому давлению газов в полости формы, может иметь низкую газопроницаемость. Поэтому для получения плотной формы и чистой поверхности отливки применяют смесь двух фракций песка, например 02 и 005 по ГОСТ 2138—74. Чтобы при вибрации облегчить перетекание песка, способствующее более плотной упаковке зерен, зерна песка должны иметь округлую форму (хотя песок с угловатыми зёрнами дает при меньшей объемной плотности большую прочность на сжатие).

Механизм сохранения конфигурации рабочей поверхности формы при заполнении формы металлом весьма специфичен. Пленка, нагреваемая до высокой температуры, на воздухе воспламеняется, и, если бы это произошло в полости формы, то песок обрушился бы. В v-процессе, благодаря созданию вакуума, пленка прижимается к песку, а после расплавления полимера он втягивается в форму и связывает зерна, образуя оболочку. При дальнейшем нагреве испаряющийся мономер всасывается в глубь формы, где он конденсируется на холодных зернах песка и опять выполняет роль связующего, подобно связующему, используемому при Крбнинг-процессе. Деструкция пленки не уменьшает вакуум до нуля, хотя образовавшаяся оболочка и обладает некоторой газопроницаемостью. Непрерывное вакуумирование формы поддерживает нужную разность давлений, и оболочка, как вначале пленка, присасывается к основной массе песка, сохраняя конфигурацию рабочей полости формы.

Благодаря тому, что оболочка газопроницаема, имеется возможность отсасывать газ из полости заливаемой формы.

Охлаждение металла в вакуумируемой форме, по экспериментальным данным, происходит медленнее, чем в сырой форме, вследствие чего твердость чугуновых отливок меньше. Эта особенность проявляется заметнее в тонкостенных отливках. Благодаря более медленному охлаждению металла, а также некоторому разрежению в полости формы улучшается ее заполняемость.

Преимущества процесса: 1) универсальность: по этому процессу могут быть получены легкие и тяжелые отливки в условиях как ручного, так и механизированного производства; 2) улучшение условий труда: газы, выделяющиеся при заливке, отсасываются из формы и не попадают в атмосферу цеха; ликвидируется

шум, производимый встряхивающими машинами; упрощается выбивка; 3) удешевление смеси: не требуются связующие добавки; упрощается смешеприготовительное оборудование; 4) уменьшение расходов на оснастку, благодаря отсутствию прямого контакта песка с моделью увеличивается срок ее службы; для выема модели требуется небольшое усилие и отпадает необходимость применения вибратора; 5) улучшение качества отливок: увеличивается точность, возможно изготовление отливок без уклонов и даже с отрицательными уклонами; обеспечивается высокая чистота поверхности; уменьшается брак по засору и недоливу; ликвидируются заливы по разьему формы: сокращаются финишные операции по обрубке и очистке.

7. РЕГЕНЕРАЦИЯ ПЕСКОВ ИЗ ОТВАЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

При изготовлении 1 т литья в зависимости от массы и конфигурации отливок, размера опок и других факторов используются до 4—10 т и более формовочных и до 1 т стержневых смесей. Для снижения расхода привозных песков применяют регенерируемые оборотные формовочные смеси и пески. Технологические схемы переработки оборотных формовочных смесей показаны на рис. V.16. Применение

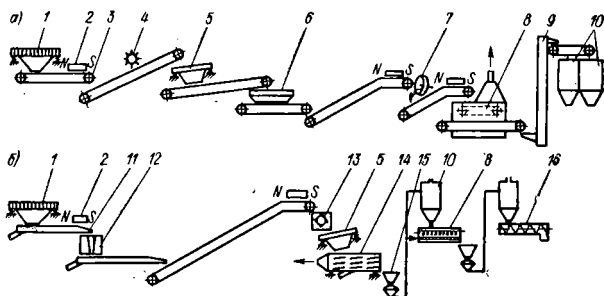


Рис. V.16. Технологические схемы переработки оборотных формовочных смесей: а — сырые смеси (связующее — бентонит); б — сухие смеси (связующее — смола холодного отверждения);

1 — выбивная решетка; 2 — магнитный сепаратор; 3 — ленточный транспортер; 4 — дезинтегратор; 5 — грохот; 6 — бункер; 7 — гомогенизатор; 8 — охладитель; 9 — элеватор; 10 — бункер; 11 — вибропитатель; 12 — дробилка щековая; 13 — дробилка роторная; 14 — сепаратор-обеспыливатель; 15 — камерный насос; 16 — смеситель

таких схем переработки позволяет использовать до 90—98% отработанных сырых бентонитовых формовочных смесей, до 70—90% смоляных смесей и до 30—70% жидкостекольных смесей.

Процесс регенерации может состоять из операций, выполняемых в водной или воздушной среде. Находят также применение сложные комбинированные технологические схемы, в которых ряд операций (например, удаление пылевидных частиц) осуществляется в водной среде, а ряд других операций — в воздушной среде. Выбор технологической схемы определяется характером сырья и назначением продукта. Регенерированный песок должен соответствовать требованиям стандарта на кварцевые формовочные пески. Водная и воздушная среда, участвующая в процессах, должна быть очищена от перешедших в нее загрязнений до регламентируемых кондиций.

Схемы регенерации, отличительными операциями которых являются дробление и обжиг смеси при температуре 700—900° С, применяются для безглинистых

смесей на смолах и позволяют получать регенерированный песок с содержанием органических загрязнений до 0,2%. Эти схемы нашли широкое применение для регенерации песка из отвалных смесей литья в оболочковые формы (рис. V.17), особенно при применении дорогостоящего цирконового наполнителя. В качестве печей для обжига применяют противоточные барабанные печи, многоподовые печи с пересыпными полками, печи кипящего слоя. Схемы же регенерации, в которых удаление пылевидных частиц осуществляется промывкой, применяются для раздельной и совместной переработки различных формовочных и стержневых сме-

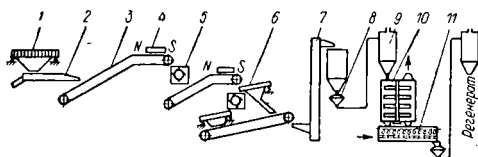


Рис. V.17. Технологическая схема термической регенерации песка:

1 — выбивная решетка; 2 — вибропитатель; 3 — ленточный транспортер; 4 — магнитный сепаратор; 5 — дробилка роторная; 6 — грохот; 7 — элеватор; 8 — камерный насос; 9 — бункер; 10 — печь обжига; 11 — охладитель

сей и позволяют получать песок с 1,0% и менее как глинистой составляющей, так и органических загрязнений. Наиболее широкое развитие эти схемы (рис. V.18) получили в сочетании с гидравлической выбивкой стержней из отливок.

Технические характеристики типовых комбинированных регенерационных установок, разработанных институтом Гипростанок по техническому предложению ВНИИлитмаша, приведены в табл. V.71. На установку поступают стержневые

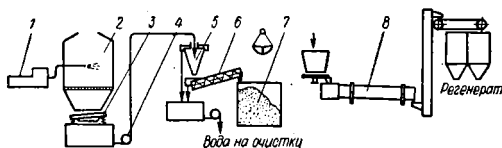


Рис. V.18. Технологическая схема регенерации песка из стержневой смеси, вымываемой в гидрокамере:

1 — насос высокого давления; 2 — гидрокамера; 3 — грохот; 4 — насос; 5 — конический классификатор; 6 — спиральный классификатор; 7 — дренажный закром; 8 — барабанное сушило

смеси, вымываемые в гидрокамерах (электрогидравлических установках), а также сухие отвалы формовочные и стержневые смеси из различных точек литейного цеха. Установка выдает: 1) сухой регенерированный песок, соответствующий требованиям ГОСТ 2138—74, предъявляемым к кварцевым формовочным пескам (содержание глинистой составляющей до 1,0%); 2) оборотную воду грубого осветления с содержанием взвешенных частиц до 4,0 г/л, используемую для смешивания отвалной смеси с водой и для гидротранспорта пульпы, и оборотную воду глубокого осветления с содержанием взвешенных частиц до 0,2 г/л, используемую для промывки песка в классификаторах и питания гидравлических камер; 3) металлические отходы, реализуемые как вторичное сырье; 4) крупные сухие отходы с размером частиц более 4 мм; 5) пылевидные отходы в виде сгущенного шлама с влажностью около 50%, транспортируемые навалом.

Схема получения регенерированного песка на комбинированной регенерационной установке показана на рис. V.19. Она проверена при регенерации песка из отвальных смесей комплекса чугунолитейных цехов с массой отливок 0,5—5000 кг. Основными примесями кварцевого песка в отвальной смеси являлись глина, жидкое стекло, шлак феррохромового производства, уголь и сульфитная барда.

Таблица V.71

**Технические характеристики
типовых комбинированных
регенерационных установок**

Номер модели	Производительность		
	по загрузке отвальной смесью, т/ч	по количеству оборотной воды, м ³ /ч	
		Всего	подвергаемой реагентной очистке
14411	8	160	80
14412	16	320	160
14413	32	630	320

сток сгущения шлама (при отсутствии централизованного шламонакопителя) находится рядом с участком осветления воды.

Оборудование участка I рассмотрено в гл. VIII. На участке II отвальные смеси из различных точек литейного цеха собираются на общий ленточный транспортер и подвергаются ряду подготовительных операций (магнитной сепарации, дроблению, грохочению и смешиванию с водой). На этот же участок подается

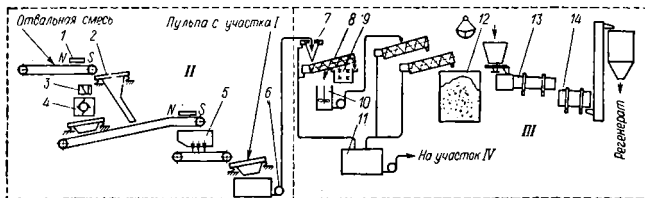


Рис. V.19. Схема типовой комбинированной регенерационной установки:

1 — магнитный сепаратор; 2 — грохот; 3 — дробилка щековая; 4 — дробилка роторная; 5 — бункер; 6 — насос; 7 — классификатор конический; 8 — классификатор спиральный; 9 — отгирочная машина; 10 — мешалка; 11 — бак сливных вод; 12 — дренажный закром; 13 — барабанное сушило; 14 — барабанный охладитель

пульпа от гидрокамер (электрогидравлических установок) и подвергается грохочению и магнитной сепарации. Участок III предназначен для промывки, обезвоживания, сушки и охлаждения регенерата. В зависимости от производительности участок комплектуется из одной, двух или четырех одинаковых технологических линий. При отсутствии в системе участка I вместо дренажных закромов с грейферной разгрузкой рекомендуется применять серийно выпускаемые установки ленточных вакуум-фильтров. При расчете сушил для регенерированного песка необходимо учитывать, что влажность регенерированного песка после вы-

держки в течение 18—24 ч в дренажном закрое равна 6—8%, после ленточного вакуум-фильтра 8—10%, а у формовочного песка, поступающего с карьера, 4—6%. Участок IV комплектуют в основном из оборудования, изготавливаемого на месте. Осветление оборотной воды осуществляется по принципу гравитационного отстаивания в вертикальных отстойниках (песколовках) и последующей физико-химической очистки воды в осветлителях. В очищаемую воду последовательно вводят раствор неорганического коагулянта — сернокислого алюминия и раствор органического флокулянта — полиакриламида. Осветлители следует выполнять с принудительным отсосом и концентрированной выгрузкой шлама. При отсутствии экспериментальных данных для осветления воды рекомендуется принимать следующие дозы реагентов: сернокислого алюминия — 750 г на 1 м³ осветляемой воды (по товарному продукту с содержанием Al_2O_3 14% и при реагентной очистке 50% объема сливных вод); полиакриламида — 50 г на 1 м³ осветляемой воды (по товарному продукту с содержанием активного полимера 6—8%). Сернокислый алюминий поставляется навалом. Насыпная масса его 1,0—1,4 т/м³. Высота его хранения — не более 3 м. Полнакриламид (СТУ 12-02-21—64 и ТУ 7-04-01—66) выпускается в виде вязкого водного геля с содержанием 6—8% активного полимера; поставляется в деревянных бочках массой 100—150 кг или в полиэтиленовых мешках массой 50 кг, упакованных в ящики. Раствор сернокислого алюминия готовится 20%-ной концентрации (по товарному продукту); время его приготовления при перемешивании воздухом и растворением в холодной воде — 5 ч; рабочий раствор — 10%-ной концентрации. Раствор полнакриламида готовится 10%-ной концентрации (по товарному продукту); время его приготовления при механическом перемешивании в холодной воде — 1,0—1,5 ч; рабочий раствор — 1%-ной концентрации. На участке V для обезвоживания мелкодисперсного шлама применен метод отстойного центрифугирования. В отстойную центрифугу с суспензией шлама вводится раствор полиакриламида. Массовый расход полнакриламида — 8 кг (по товарному продукту) на 1 т обезвоживаемого в центрифуге твердого шлама. Рабочий раствор полнакриламида — 1%-ной концентрации. Влажность шлама на выходе из центрифуги — 50%.

Таблица V.72

Состав основного технологического оборудования
типовых моделей регенерационных установок

Оборудование, тип	Количество в моделях		
	14411	14412	14413
Электромагнитный подвесной сепаратор ЭПР-120	3	3	3
Электромагнитный барабанный сепаратор ЭБМ-3	1	1	1
Шкив электромагнитный ШЭ-80-80	2	2	2
Грохот (до дробления) ГИТ 32 (171Гр)	1	1	1
Грохот (после дробления) ГИТ 11 (ГЖ2)	1	1	1
Грохот (мокрое грохочение) ГТС 42 (166Гр)	3	3	3
Дробилка щековая ШДС-II-2,5×9 (СМ-166А)	1	1	1
Дробилка роторная ДРК 8×6 (СМД-85)	1	1	1
Классификатор конусный ККП-2,4	2	4	8
» спиральный КСН-10	4	7	13
Сушило барабанное ПБ1-24,0	1	2	3
Холодильник барабанный ПБ1-24,0	1	2	3
Центрифуга отстойная НОГШ 1120 С	1	1	2
Оттирочная машина двухкамерная с конической передачей ОМ-1220/2,4	1	2	4

**Технические характеристики технологического оборудования
типовых моделей регенерационных установок**

Оборудование, тип	Производительность		Установ- ленная мощ- ность, кВт	Завод-изготовитель
	по твер- дому, т/ч	по пуль- пе, м³/ч		
Электромагнитный барабанный сепаратор ЭБМ-3	60	210	2,2	Ворошиловград- ский завод угольно- го машиностроения им. Пархоменко
Грохот ГТС42 (166 Гр)	25	—	10	Воронежский за- вод горно-обогати- тельного оборудова- ния
Дробилка щековая ЩДС-II-2,5×9 (СМ-166А)	35 м³/ч	—	40	Выксунский завод дробильно-размоль- ного оборудования
Дробилка роторная ДРК 8×6 (СМД-85)	50 м³/ч	—	40	То же
Классификатор кон- усный ККП-2,4	4—6	80—120	—	Новосибирский за- вод «Труд»
Классификатор спн- ральный с непогружен- ной спиралью ИКСН-10	14—20	30—60	8,7	Владивостокский завод «Металлист»
Центрифуга отстой- ная НОГШ 1120-С	—	20	100	Киселевский ма- шиностроительный завод им. Черных
Оттирочная машина двухкамерная с кони- ческой передачей ОМ-1220/2,4	25	—	60	Разработчик ин- ститут «Уралмеха- нобр», Свердловск
Примечание. Технические характеристики оборудования, используемого как для регенерации, так и для подготовки исходных формовочных материалов, в таблице не приведены. Данные по этому оборудованию имеются в п. «Подготовка исходных формовочных материалов».				

Состав основного технологического оборудования, используемого в типовых моделях регенерационных установок, приведен в табл. V.72, а технические характеристики этого оборудования — в табл. V.73.

Схемы регенерации, в которых удаление пылевидных частиц осуществляется промывкой, а удаление органических загрязнений — обжигом, применяются для совместной переработки отвальных песчано-бentonитовых формовочных смесей и стержневых смесей на синтетических смолах. Получаемый регенерированный песок соответствует требованиям стандарта, предъявляемым к пескам класса 1К.

8. ЗАЛИВКА ФОРМ

Ковши для транспортировки и заливки жидкого металла

В зависимости от грузоподъемности литейные ковши подразделяются на ручные, монорельсовые и крановые [15]. По конструкции ковши классифицируются на конические, чайниковые, барабанные (цилиндрические и грушевидные) и стопорные (в чугунолитейных цехах последние применяются обычно только

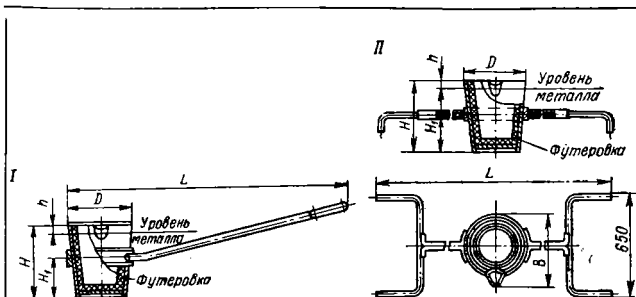
при изготовлении ответственных отливок из ВЧШГ). Для удобства заливки и сохранения температуры наилучшими являются барабанные ковши, для удержания шлака — чайниковые и стопорные. Недостатками барабанных ковшей являются большая трудоемкость изготовления и усложненная эксплуатация. Наиболее простыми являются конические и чайниковые ковши, которые получили наибольшее распространение. В последнее время в массовом производстве в целях сохранения температуры конические ковши снабжают откидной крышкой, футерованной снизу термозоляционным материалом.

Рекомендуемые размеры ковшей и толщина их футеровки в зависимости от емкости приведены в табл. V.74—V.76. Для футеровки ручных ковшей применяются смеси следующего состава: 1) 75 частей формовочного кварцевого песка класса 1К по ГОСТ 2138—74 и 25 частей глины формовочной огнеупорной 1-го сорта марок ФС-1 по ГОСТ 3226—65; 2) 50 частей шамотного порошка из сухого битого кирпича, 25 частей песка кварцевого и 25 частей глины огнеупорной. Влажность составов должна быть около 20%. Для футеровки носка ковшей, а также перегородок ковшей чайникового типа в первый состав добавляется 10 частей жидкого стекла. Окраска футеровки ковшей осуществляется литейной краской марки ГБ. Для монорельсовых ковшей емкостью от 100 до 500 кг состав футеровки аналогичен рекомендуемому для ручных ковшей; а ковши емкостью от 500 до 800 кг футеруются шамотным кирпичом. Кладка его производится на увлажненном до консистенции густой сметаны составе, состоящем из 75 частей шамотного порошка и 25 частей глины огнеупорной. Крановые ковши футеруются огнеупорным кирпичом. Кладка выполняется в два слоя: постель (прослойка у корпуса) и рабочий слой. Толщина рабочего слоя составляет 75—80% от общей толщины футеровки. Кладка рабочего слоя производится на составе, состоящем из 60 частей шамотного порошка и 40 частей огнеупорной глины. Футеровка носка ковша осуществляется составом из 90 частей кварцевого песка и 10 частей жидкого стекла. Кладка нерабочего слоя (прослойки) производится на составе из 60 частей песка кварцевого и 40 частей огнеупорной глины.

При футеровании барабанных ковшей металлическая стенка выкладывается асбестовым картоном с толщиной слоя 10—20 мм. Толщина рабочего слоя для этих ковшей составляет 65 мм. Основная футеровка ковшей делается из стабилизированного доломита. Одной из основных функций ковшей является удержание шлака, который снимается с поверхности чугуна после заполнения ковша и перед заливкой металла в форму. При разливе чугуна из крупных ковшей шлак следует снимать и в процессе заливки. Для удержания и предотвращения попадания шлака из ковшей в форму в конических ковшах предусматриваются специальные перегородки. Типы и конструкции перегородок в так называемых чайниковых ковшах приведены на рис. V.20. Выполняются шлакоуловители в виде перегородки внутри корпуса ковшей, в носке (для крупных ковшей) или в виде сифонного канала. Изготавливаются они из шамотных кирпичей размером 40×115×230 мм (лещадка) для ковшей емкостью 0,6 и 2 т и из кирпичей размером 60×120×300 мм для ковшей емкостью до 5 т. Футерование носка крупных ковшей или перегородки мелких и средних ковшей производится составом на жидком стекле. Для уравнивания шлакоотделителя с противоположной стороны ковша приваривается груз равной ему массы. При заливке из ковша со шлакоотделителем последний должен быть заглублен в жидкий металл, препятствуя тем самым попаданию шлака в струю. В случае заливки из одного ковша нескольких форм ковш при переходе на следующие формы не возвращается в исходное положение, а поворачивается настолько, чтобы исключить вытекание чугуна из носка. При наборе металла в ковши со шлакоотделителями струя не должна попадать на шлакоотделитель и создавать настыли на нем.

Сушка ковшей производится в сушильных камерах при 300—350° С, переносными (нефтяными) горелками или на специальных плитах. Продолжительность сушки монорельсовых ковшей емкостью до 500 кг — 3—5 ч, а ковшей емкостью 500—800 кг — 8 ч. При сушке горелками для предотвращения растрескивания футеровки факел огня следует увеличивать постепенно. Сушка крупных крановых ковшей производится в две стадии: сначала сушат арматурный слой в течение 8—10 ч; продолжительность сушки рабочего слоя, который наносится на арматурный после его остывания, для ковшей емкостью до 12 т — 10 ч,

Ковши конические ручные



Емкость ковша, кг	Размер, мм						Масса ковшей со съемной ручкой и футеровкой, кг	Максимальная масса футеровки, кг	Толщина футеровки, мм	
	D	L	H	H ₁	h	B			у стенок	у дна

Ковш по рис. I

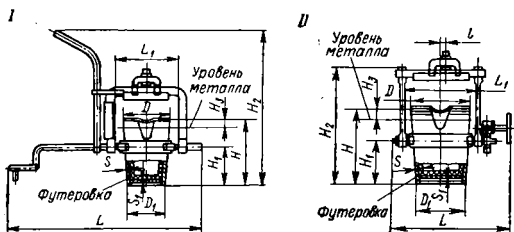
6	130	1323	135	75	17	—	5,97	0,85	10	15
10	155	1345	170	95	21	—	7,55	1,60	12	17
16	175	1367	215	120	27	—	9,01	2,65	12	17

Ковш по рис. II

25	200	2100	225	135	28	235	15,88 *	3,14	14	18
40	240	2300	260	155	32	280	22,40 *	6,95	16	22
60	270	2500	290	175	36	315	26,40 *	9,60	18	24

* Масса ковша с носилками и футеровкой, кг.

Ковши конические монорельсовые



Емкость ковша, кг	Размеры, мм											Масса ковша с траверсой, механизм поворота и футеровкой, кг	Максимальная масса футеровки, кг	Толщина футеровки, мм	
	D	D ₁	H	H ₁	H ₂	H ₃	L	L ₁	I	S	S ₁			у стенок	у дна

Ковш по рис. I

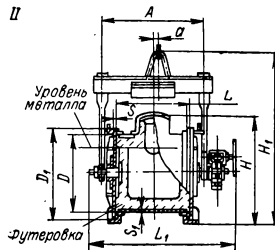
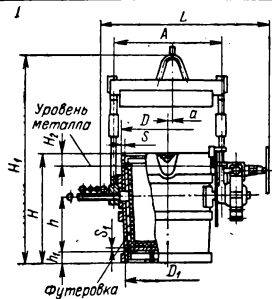
100	340	280	385	225	1055	40	1400	450	—	3	4	85	20	20	30
160	380	320	450	275	1105	50	1440	490	—	4	5	94	23	22	32
250	450	380	510	315	1145	60	1510	560	—	4	5	115	32	25	35

Ковш по рис. II

400	530	440	630	395	1010	75	1370	630	30	5	6	190	60	30	45
500	570	480	680	440	1085	85	1410	670	25	6	8	220	74	35	50
630	610	510	730	460	1130	90	1445	720	35	6	8	245	92	45	65
800	660	550	790	485	1300	100	1495	770	25	6	8	310	130	65	80

Примечание.
Траверса может быть съемной.

Ковши крановые конические и барабанные



Емкость ковша, т	Размеры, мм													Масса, кг		Толщина футеровки, мм	
	D	D ₁	H	H ₁	H ₂	h	h ₁	L	L ₁	A	a	S	S ₁	общая	футеровки	у стенок	у дна
Ковш конический по рис. I																	
1	710	670	880	1910	110	440		1680		860				997	202	80	55
2	860	810	1060	2100	140	540	100	1840	—	1010	70	8	10	1328	310	80	55
3	970	910	1190	2240	260	600		1950		1020	50	10	12	1731	400	80	55

Емкость ковша, т	Размеры, мм													Масса, кг		Толщина футеровки, мм	
	D	D ₁	H	H ₁	H ₂	h	h ₁	L	L ₁	A	a	S	S ₁	общая	футеров- ки	у стенок	у дна
4	1060	1000	1290	2500	180	660	100	2110	—	1260	50	10	12	2191	524	85	60
5	1140	1070	1310	2580	190	700		2240		1360				2443	605	85	60
6	1280	1200	1590	2800	210	800		2350		1500				3320	1251	135	100
8	1390	1300	1680	3100	220	840	150	2650	—	1690	55	12	16	4286	1416	135	100
10	1550	1460	1800	3220	240	900		2810		1850				5652	2217	145	138
12	1630	1540	1890	3320	250	960		2890		1930				6602	2475	145	138
16	1780	1680	2080	3890	280	1070		3000		2200				7506	3257	175	143
20	1900	1800	2220	4030	300	1130		3130		2330	140	20	25	9063	3670	175	143

Ковш барабанный по рис. II

1	800	920	990	1530	—	—	—	830	1470	1050	60	8	10	1050	600	125	100
2	950	1070	1150	1900	—	—	—	980	1650	1200				1500	900	125	100
3	1070	1190	1280	2030	—	—	—	1090	1770	1320				1900	1050	125	125
4	1210	1330	1430	2230	—	—	—	1250	2020	1570	80	10	12	2500	1450	150	125
5	1260	1380	1490	2440	—	—	—	1300	2070	1590				2900	1660	150	125

до 20 т — 12 ч. При применении угля возможна ускоренная сушка в две стадии полностью зафутерованных ковшей: на стенде — углем, а затем — газовой форсункой. Продолжительность нагрева на стенде и газовой горелкой выбирается

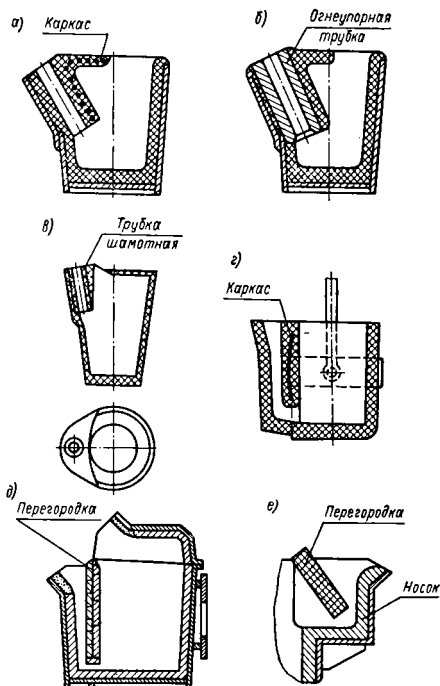


Рис. V.20. Шлакоулавливающие перегородки чайниковых ковшей: а — монолитная с козырьком, набитым на металлический каркас; б — то же, но с каналом из огнеупорной трубки; в — монолитная с каналом из шамотной трубки; г — перегородка в монорельсовом ковше из монолитного состава, нанесенного на металлический каркас; д — выполненная из кирпича; е — в носке ковша

по следующим данным: для ковшей емкостью 1 т сушка углем — 3 ч и газом — 1 ч (общая продолжительность — 4 ч); при емкости ковша 2—5 т — соответственно 4 и 1,5 ч (общая продолжительность 5,5 ч); для ковшей емкостью 6—10 т сушка углем—6 ч, газом—2 ч (общая продолжительность 8 ч); для ковшей емкостью 12—16 т — соответственно 7 и 2,5 ч (общая — 9,5 ч); для ковшей емкостью 20 т — 8 и 3 ч (11 ч).

Признаком окончания сушки служит прекращение паровыделения из отверстий в кожухе и днище ковшей; температура наружной поверхности стенок ковша должна быть не ниже 100°C . К концу сушки футеровка ковша должна иметь температуру $t = 750 \div 800^{\circ}\text{C}$, а перед заполнением чугуном $t = 450 \div 550^{\circ}\text{C}$.

Температура чугуна при заливке в форму

Одним из важнейших параметров технологии заливки является температура заливаемого чугуна. Зависит она от состава чугуна, средней толщины стенки отливки и наибольшего пути прохождения металла по горизонтали от питателей до противоположного края отливки. Местные приливы и утолщения при определении толщины стенки не учитываются. Наибольший путь прохождения металла от питателей при подводе его к форме с двух сторон будет равен 50% общего пути, если суммарные площади питателей равны между собой. В остальных случаях, при подводе чугуна с двух сторон, наибольший путь определяется по соотношению суммарной площади сечения питателей. Температура заливки $t_{\text{зал}}$ в зависимости от средней толщины стенки приведена ниже.

Толщина стенки, мм	До 4	5—10	11—20	21—40
$t_{\text{зал}}, ^{\circ}\text{C}$, СЧ	1450—1400	1400—1340	1380—1320	1360—1300
$t_{\text{зал}}, ^{\circ}\text{C}$, ВЧШГ	1510—1450	1470—1410	1430—1370	1400—1340
$t_{\text{зал}}, ^{\circ}\text{C}$, КЧ	1480—1410	1460—1400	1430—1370	—

При высоколегированных чугунах температура заливки зависит от состава и выбирается на $30\text{--}50^{\circ}$ выше ликвидуса. Для чугунных отливок ответственного назначения с толщиной стенки свыше 40 мм рекомендуется выбирать эту температуру с учетом наибольшего пути прохождения металла в форме по номограмме, приведенной на рис. V.21 [28].

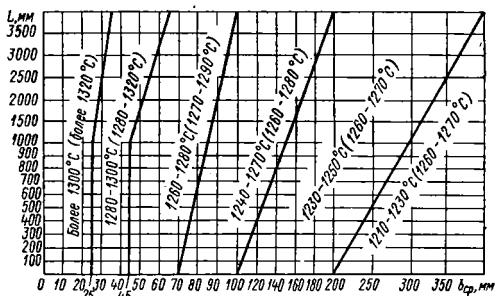


Рис. V.21. Номограмма для определения температуры заливки; для модифицированного чугуна температура заливки указана в скобках, для толстостенных и крупных отливок из высокопрочного чугуна она должна быть не ниже 1280°C , для тонкостенных и мелких отливок — не ниже 1300°C

На рисунке L — наибольший путь металла от питателя по горизонтали, $b_{\text{ср}}$ — средняя толщина стенки отливки

Для обеспечения указанных температур заливки в ковше набирают металл, имеющий более высокую температуру с учетом ее снижения при наполнении ковша, при транспортировке и выдержке. Снижение температуры в ковше зависит от степени разогрева его футеровки перед наполнением, количества

Методы и средства измерения температуры чугуна

Тип прибора и его характеристика	Пределы измерений прибора, °C	Погрешность измерения	Достоинства	Недостатки	Примечания
О п т и ч е с к и й м е т о д					
ОППИР-017, модифика- ция 1	1200—2000	30° C	Возможность измерения на значительных расстояниях; нечувствительность к изменению температуры окружающей среды; независимость точности измерений от расстояния до объекта. Простота прибора и его долговечность	Недостаточная точность измерения; влияние освещенности объекта разными источниками; невозможность дистанционной передачи показаний; обязательное участие наблюдателя в измерении (субъективность определения); влияние загрязнения атмосферы	Величина поправки при температуре 1200° C — 100° C, 1300° C — 100° C, 1400° C — 130° C, 1500° C — 150° C
Р а д и а ц и о н н ы й м е т о д					
РАПИР, переносной с телескопом ТЕРА-50	400—2500	3% от верхнего предела измерения	Независимость показаний от освещенности объекта посторонними источниками; возможность дистанционной передачи показаний	Невозможность измерения истинной температуры; трудность измерения на больших расстояниях; влияние загрязнения атмосферы между источником излучения и пирометром; недостаточная точность измерений	Вторичный прибор — потенциометр типа КСП-2, КСП-3, КСП-4

Тип прибора и его характеристика	Пределы измерений прибора, °C	Погрешность измерения	Достоинства	Недостатки	Примечания
Измерение термопарой					
ПП (платино-родий—платина), ВМ (вольфрам—молибден)	(—20)— (+1300)— в защитных колпачках; 1400—1800 — кратковременное погружение	0,5—1% от верхнего предела измерения	Возможность дистанционной передачи показаний, централизация и автоматизация записи показаний; включение в схемы сигнализации и регулирования	Влияние температуры свободных концов на измерения и необходимость ее компенсации. Недолговечность при погружении в жидкий металл	Работают в комплекте с потенциометром типа КСП-1, КСП-2, КСП-3, КСП-4. Милливольтметр МПП или МР-64
Фотоэлектронный метод					
ФЭП-4М; объективы с фокусным расстоянием 100, 125, 152, 200 мм	800—1300; 850—1400	$\pm 1\%$ от верхнего предела шкалы	Высокая точность измерения и высокая чувствительность, малая инерционность. Постоянный дистанционный замер температуры	Относительно большие габариты. Стационарность установки	—

наполнений, размера остатка чугуна в ковше перед наполнением, температуры металла при наполнении, времени транспортировки (выдержки), типа ковша. При выпуске чугуна из печи на желобе и при переливе из стенового ковша или миксера в заливочные ковши на струе теряется от 50 до 100° С в зависимости от длины струи. При определении величины снижения температуры металла при заполнении ковшей следует учитывать число наполнений. Так, при первом наборе чугуна в ковш теряется на 10—20° С больше, чем при третьем и четвертом наполнениях, и на 25—30° С больше, чем после шестого наполнения. При транспортировке (или выдержке) температура металла снижается в конических ковшах емкостью до 100 кг на 20—30° С в минуту, емкостью 250—400 кг на 10—20° С в минуту, емкостью 630—1000 кг до 10° С в минуту, емкостью 1—5 т до 5° С в минуту и емкостью 10 т и более — около 2—3° С в минуту. При транспортировании металла в барабанных ковшах температура снижается примерно в два раза меньше, чем в конических, где это происходит, главным образом, за счет теплоизлучения с зеркала металла. Поэтому для уменьшения теплопотерь зеркало металла рекомендуется покрывать слоем кокса, а также применять крышки с термоизоляцией.

Измерение температуры металла производят периодически при заполнении раздаточных ковшей. При постоянном режиме конвейера и ритмичной работе плавильных агрегатов нет необходимости в замерах температуры непосредственно перед заливкой. При нарушении же ритма работы замеры температуры необходимо производить как при заполнении ковша, так и при заливке форм. Методы ее измерения, характеристика и типы приборов приведены в табл. V.77.

В литейных цехах при заполнении ковшей металлом наиболее распространены замеры температуры с помощью оптических пирометров. Контроль ее при выпуске металла из дуговой и индукционной электропечей, канального и тигельного миксеров, раздаточного стенового ковша особых затруднений не вызывает, так как струя при этом достаточно мощная. Измерение температуры чугуна при выпуске из вагранки осложняется тем, что диаметр и положение струи зависят от работы вагранки, струя «блуждает» по желобу, зашлаковывается или совсем исчезает под «настылью», под парами и дымом; струя на желобе турбулентна. В этом случае рекомендуется измерять температуру свободно падающей струи с носка желоба в ковш, визируя снизу под край желоба, где нет дыма.

Технология заливки

Скорость заливки металла из ковшей зависит от пропускной способности и типа литниковых систем заливаемых форм. Для мелкого и среднего литья скорость заливки изменяется от 0,5 до 6 кг/с, для крупного литья она достигает 10—30 кг/с, а в отдельных случаях — 100 кг/с. Средняя скорость заливки определяется металлоемкостью формы и временем заливки (табл. V.78).

По этим данным таблицы и по средней пропускной способности литниковой системы выбирается тип разливочного ковша.

Масса металла, набираемая в ковш, определяется суммарной металлоемкостью форм, заливаемых из одного ковша, с учетом дополнительно набираемого (3—5% от объема ковша) излишка металла для компенсации возможных переливов и погрешностей формовки. Для массового производства количество металла уточняется опытным путем с целью уменьшения сливов и предотвращения недолива форм. Металлоемкость заливочного ковша (кг) рассчитывается по следующей формуле:

$$M = \frac{\Delta t}{\Delta t_i} P_f, \quad (V.11)$$

где Δt — допустимый интервал $t_{\text{зал}}$, °С; Δt_i — падение температуры металла в ковше за время заливки одной формы, °С; P_f — металлоемкость формы.

Полученное по формуле (V.11) значение емкости ковша является максимально допустимым. Фактически емкость ковша выбирается несколько меньшей, с учетом возможных перерывов и трудоемкости поворота ковшей, особенно при выливе последних доз.

Скорость заливки чугуна в формы

Тип ковша	Емкость ковша, кг	Скорость заливки, кг/с		
		Медленный поворот	Средняя скорость поворота	Быстрый поворот
Ручной	6—16	0,5—2	2—3	3—4
»	25—60	1—3	3—5	5—7
Монорельсовый	100—250	1—4	4—6	6—8
»	400—800	2—5	5—7,5	7,5—10
Крановый	1 000—5 000	5—10	10—20	20—30
»	5 000—20 000	10—25	25—45	45—100

Общее время, расходуемое при заливке, является суммой времени, непосредственно пошедшего на заливку, и времени, теряемого при транспортировке ковша от формы к форме и при подготовительно-заключительных операциях с ковшом. Для ковшей емкостью 100—800 кг подготовительно-заключительное время составляет 5—10 с (подвод и отвод носка ковша); время транспортировки ковша между формами (с) рассчитывается исходя из скорости транспортировки ковшей монорельсовыми подвесками, равной 25—30 м/мин, и расстояния между формами либо с учетом скорости литейного конвейера и шага тележек:

$$\tau_i = \tau_3 + \frac{60l}{v} + \tau_{п-з}, \quad (V.12)$$

где τ_i — суммарное время заливки одной формы, с; τ_3 — время, непосредственно пошедшее на заливку формы, с; l — расстояние между формами, м; v — скорость передвижения ковша, м/мин; $\tau_{п-з}$ — подготовительно-заключительное время, с.

Ковши с металлом транспортируются на заливочный участок из плавильного отделения либо от стандовых ковшей (миксеров) с помощью мостовых кранов, напольных приводных тележек, монорельсовых винтовых подъемников, тельферных тележек, электро- и автопогрузчиков. При заливке форм для транспортировки ковшей применяются, главным образом, винтовые подъемники (моно- и бирельсовые) грузоподъемностью 0,3; 0,5 и 1 т, реже электротельферы и тельферные тележки грузоподъемностью 1, 3 и 5 т. Заливка металла из ковшей в литейную чашу (воронку) формы производится непрерывной, направленной вдоль чаши, струей; носок ковша при этом должен быть не выше 200—300 мм от чаши, а чаша должна быть наполнена металлом не менее 1/2 высоты для предотвращения попадания шлака в форму. Вначале вылив металла из ковша производится медленно, равномерно и спокойно; после вылива примерно половины дозы постепенным наклоном и подъемом ковша увеличивается динамический напор струи, ускоряется поступление металла, уровень в чаше повышается. После появления металла в выпоре формы заливку замедляют, дополняя металл по мере понижения его уровня в чаше.

Механизация и автоматизация заливки

Механизация и автоматизация заливки повышает эффективность всего литейного комплекса (плавильного, формовочного, транспортного и заливочного оборудования) за счет следующих факторов:

применения ковшей и миксеров большой емкости, оборудованных устройствами для поддержания температуры; механизации и автоматизации выдачи дозы металла; увеличения точности дозирования;

Заливочные машины, их основные технические характеристики и область применения

Схема заливочной машины	Наименование, тип, основные данные	Рекомендуемая область применения, примеры использования	Преимущества и недостатки
Рис. V.22, а	Заливочная ковшевая установка двухпозиционная, поворотная. Емкость миксера — 2 т (обогрев газовый). Емкость ковшей — от 160 до 1000 кг. Максимальная производительность при дозе 5—8 кг — до 200 заливок в час. Изготовитель — Тираспольский завод литейных машин [24]	Для заливки чугуна в кокили и песчаные формы при мелком литье. Во время заливки форма неподвижна. Расстояние от оси литниковой чаши до наружного габарита опоки или кокиля — не более 200 мм	Преимущества: простота конструкции и эксплуатации; наличие обогреваемого миксера Недостатки: возможность попадания шлака в форму; наличие перелива в ковши
Рис. V.22, б	Заливочная ковшевая установка модели 4126А. Емкость ковша — 630 кг, тип — конический. Производительность — до 200 заливок в час при металлоемкости формы до 20 кг. Изготовитель — Тираспольский завод литейных машин	Для заливки чугуна на линиях безопочной формовки КЛ-2002 и других линиях типа «Дисаматик». Расстояние от оси литниковой чаши до наружного габарита формы не более 200 мм	Преимущества: простота конструкции; возможность изменения положения носка ковша как в продольном, так и в поперечном направлении Недостатки: отсутствие подогрева металла, возможность попадания шлака в форму

Схема заливочной машины	Наименование, тип, основные данные	Рекомендуемая область применения, примеры использования	Преимущества и недостатки
Рис. V.22, в	Заливочная установка порталного типа. Заливка через стопор; емкость — 2 т. Максимальная температура — 1500° С. Массовый расход — 15 т/ч [24]	Для заливки чугуна в безопочные формы на линиях типа «Дисаматик»	Преимущества: наличие обогреваемого миксера; исключается попадание шлака в форму Недостатки: недолговечность работы стопорного устройства, большой напор струи
Рис. V.22, г	Электропечь-миксер индукционный раздаточный ИЧКР-2,5С1; емкость — 2,5 т. Производительность: по перегреву на 100° С — 3,9 т/ч, по поддержанию t — 20 т/ч; температура ванны 1500° С. Выдача дозы — пневматическая. Изготовитель — Саратовский завод электротермического оборудования	Для заливки чугуна в формы на пульсирующих литейных конвейерах и формовочных рольганговых линиях, в кокили на карусельных машинах и т. д.	Преимущества: наличие индукционного подогрева; подача чистого металла в формы Недостатки: сложность съема шлака; длительность ремонта футеровки
Рис. V.22, д	Магнитодинамическая заливочная установка типа МДН-12. Емкость печи — 1000 кг. Время перегрева металла на 100° С — 1 ч [12]	Для заливки чугуна в формы на пульсирующих конвейерах, формовочных линиях, в кокили на карусельных машинах, на центробежных машинах	Преимущества: наличие индукционного нагрева; легкость съема шлака Недостатки: повышенный расход электроэнергии; сложность эксплуатации

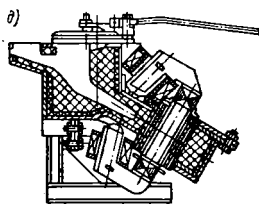
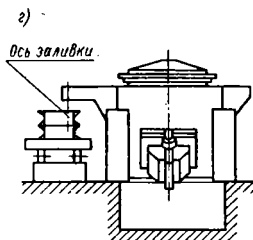
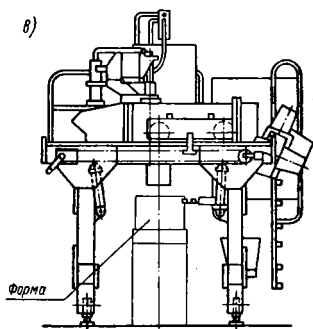
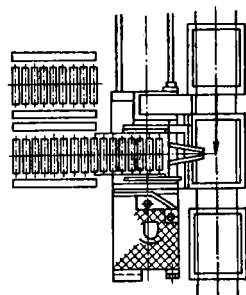
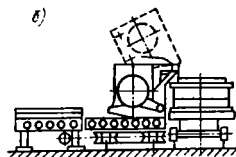
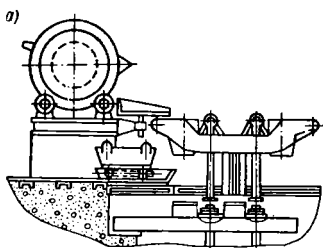


Рис. V.22. Схемы заливочных машин

возможности установки плавильных агрегатов большой емкости, устранения неравномерности подачи металла и простоев, уменьшения расхода электроэнергии, электродов, ферросплавов и футеровочных материалов, транспортировки металла в ковшах большой емкости с большими интервалами;

повышения качества отливок вследствие предотвращения попадания шлака в форму путем выдачи металла из нижних зон миксера; стабилизации температуры и химического состава металла; уменьшения выплесков, сливов остатков металла; сокращения брака, а также благодаря уменьшению массы отливок, повышению их размерной точности;

уменьшения брака по вине заливщиков вследствие стабилизации и автоматизации процесса; улучшения условий труда заливщиков, уменьшения травматизма.

В табл. V.79 и на рис. V.22 приведены схемы заливочных машин и установок, их краткая характеристика и рекомендации по применению*.

* Зарубежные заливочные установки описаны в работе [61].

ЛИТЬЕ В МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ФОРМЫ

1. ЛИТЬЕ В КОКИЛЬ

Особенности процесса

Теплофизическим признаком кокиля является пренебрежимо малая толщина покрытия δ_2 в сравнении с приведенной толщиной стенки отливки R_1 при толщине стенки кокиля δ_3 , соизмеримой либо большей R_1^* , что обуславливает его отличие от облицованного кокиля.

Литье в кокиль по сравнению с песчаной формой имеет ряд преимуществ: относительную долговечность формы и ускоренное охлаждение в ней отливки; резкое сокращение или практически полное исключение расхода формовочных материалов; увеличение съема с формовочной площади в 2—6 раз; повышение производительности труда в 1,5—6 раз; увеличение уровня возможной механизации; улучшение условий труда; уменьшение шероховатости поверхности; повышение точности отливок; увеличение плотности отливок; уменьшение размеров прибылей и часто даже их устранение, особенно при литье ВЧШГ. Сочетание кокиля и ВЧШГ дает поэтому наиболее значительный технический и экономический эффект.

К недостаткам процесса относятся: ограниченность по геометрической сложности и массе; требования к серийности отливок; увеличения продолжительность подготовки производства; повышенная чувствительность к изменению параметров процесса; неоднородность структуры чугуна и, в частности, поверхностный отбел на отливках; большая трудоемкость изготовления оснастки.

Литье в кокиль находит применение во многих отраслях промышленности; номенклатура отливок, получаемых этим способом, разнообразна, а объем производства приближается к 2 млн. т в год, так что литье это наряду с центробежным занимает ведущее место среди всех специальных способов литья чугуна.

Особенности процесса заключаются в следующем: форма неподатлива и газонепроницаема (исключение составляют кокили из нормализованных элементов — параллелепипедов, штырей и др.); отливка охлаждается с большой интенсивностью; кокиль сильно изнашивается в зонах течения расплава, тонких выступающих частей, острых переходов и больших скопленных расплава; подготовка кокиля к очередной заливке должна производиться за короткое время. Поэтому отливки должны быть простыми по конструкции: равностенными, без поднутрений, острых углов и выступающих частей, с уклонами в направлении к поверхности разъема формы, допускающими плоскую поверхность разъема, и должны соответствовать требованиям табл. VI.1 [5].

Критерием технологичности отливки при литье в кокиль может служить коэффициент габаритности отливки [13]

$$k_{\text{габ}} = \frac{m_1}{\gamma_1 W_{1\text{габ}}} \quad (\text{VI.1})$$

* Здесь и далее индексы 1, 2 и 3 относятся соответственно к отливке, покрытию (облицовке) и кокилю.

Основные правила конструирования кокильных отливок

Параметр	Отливки		
	мелкие	средние	крупные
Минимальная толщина необрабатываемой стенки отливки, мм:			
без песчаных стержней	3	8	15—20
с песчаными стержнями	2,5	5	10—15
Радиусы закруглений внутренних углов, мм	$r = \frac{\delta_1 + \delta'_1}{5}$	$r = \frac{\delta_1 + \delta'_1}{4}$	$r = \frac{\delta_1 + \delta'_1}{3}$
Уклон на внешних вертикальных стенках формы по периметру отливки, ...°	2	0,4	0,3
Уклон на стенках внутренних полостей отливки, образуемых металлическими стержнями или выступами кокиля, ...°	5	3	2

* δ_1 и δ'_1 — толщины сочетаемых стенок.

Здесь $W_{\text{габ}}$ — габаритный объем. Чем больше $k_{\text{габ}}$, тем больше отливка подходит для этого процесса. При тонкостенной отливке удовлетворение требованиям технологичности обеспечивает неравенство

$$\frac{R_1}{l_1} 100 \geq 0,5, \quad (\text{VI.1a})$$

где l_1 — наибольший размер отливки.

В зависимости от отношения глубины рабочего гнезда к среднему габаритному его размеру в поверхности разреза различаются кокили плоские и цилиндрические, а в зависимости от количества рабочих гнезд — одноместные и многоместные. По расположению в пространстве поверхности разреза кокили делятся на неразъемные (вытряхные) и с горизонтальной, вертикальной и комбинированной поверхностью разреза. При механизированном производстве наиболее удобны формы с вертикальной плоскостью разреза; в этом случае проще решаются задачи механизации заливки, извлечения отливки, очистки и окраски формы. Рабочие стенки кокилей бывают цельными и составными — из неунифицированных и унифицированных элементов. Составные формы рекомендуются для крупных отливок. Недостатком составных кокилей является повышенный износ стыков между элементами под воздействием движущегося металла. Особенно сильный износ наблюдается в зоне литниковой системы, что может быть устранено с помощью песчаного стержня (рис. VI.1).

Рабочие стенки кокилей могут охлаждаться естественным путем, обдувом сухим и увлажненным воздухом и различными жидкостями (водой, маслом и др.). Кокили с жидкостным охлаждением применяются как в однослойном, так и

двухслойном исполнении. Такие формы предназначаются для массового производства отливок, а при рабочей стенке из алюминия — преимущественно для мелких деталей. Рабочая стенка двухслойного кокиля представляет собой сменный вкладыш, который вставляется (рис. VI.1) либо приставляется (рис. VI.2) к водоохлаждаемому корпусу. Интенсивность охлаждения вкладыша занимает промежуточное положение между естественным воздушным и прямым водяным охлаждением. Поэтому двухслойный кокиль допускает повышенную частоту заливки в сравнении с кокилем при воздушном охлаждении, но менее склонен к переохлаждению, чем при водяном. Последнее является преимуществом при производстве

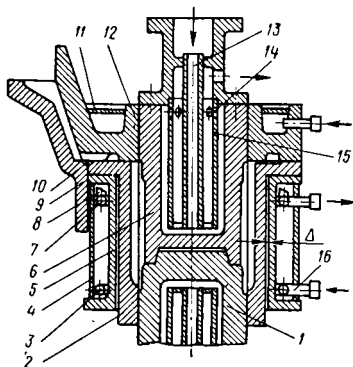


Рис. VI.1. Цилиндрический двухслойный водоохлаждаемый кокиль для отливки из С4 станины электромотора:

1 — нижний водоохлаждаемый стержень; 2 — вкладыш; 3 — кольцевой коллектор для подвода воды; 4 — водоохлаждаемый корпус; 5 — внутренняя стенка водоохлаждаемого корпуса; 6 — верхний водоохлаждаемый стержень; 7 — кольцевой коллектор для отвода воды; 8 — патрубок; 9 — съемная литниковая чаша; 10 — песчаный стержень для защиты стыка между чашей и вкладышем; 11 — крышка кокиля; 12 — рабочая стенка крышки кокиля; 13 — трубка подвода воды в стержень; 14 — отверстие в рубашке для отвода воды из стержня; 15 — рубашка для направления потока воды вдоль стенок стержня; 16 — патрубок

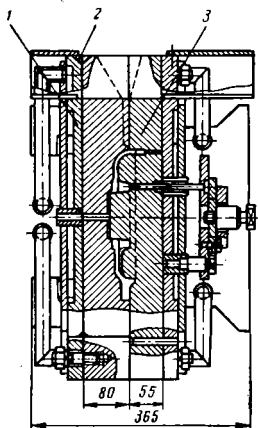


Рис. VI.2. Плоский двухслойный водоохлаждаемый кокиль для отливки из С4 шита электродвигателя:

1 — корпус водоохлаждаемый; 2 — V-образная канавка для заполнения зазора между корпусом и рабочей стенкой теплопроводной смазкой; 3 — рабочая стенка

тонкостенных отливок. В цилиндрическом двухслойном кокиле осуществляется саморегулирование начальной (перед заливкой) температуры вкладыша, которая зависит от зазора (Δ на рис. VI.1) между вкладышем и корпусом. При перегреве вкладыша зазор уменьшается и интенсивность теплообмена возрастает, а при переохлаждении происходит обратное.

Толщина рабочей стенки δ_3 определяет долговечность кокиля — его стойкость против трещин и корrobления — и может быть определена разными способами: по графикам рис. VI.3 (ГОСТ 16237—70) и рис. VI.4 [14], а также по формулам (VI.2) [7] и (VI.3) [13]:

$$\delta_3 = 11 \sqrt{\bar{\epsilon}_1}; \quad (VI.2)$$

$$\delta_3 = \frac{3}{4} BR_1 \left[k_b + \frac{1 + k_b}{t_1 - t_3} \frac{Q_1}{c_1} \right], \quad (VI.3)$$

где B — коэффициент, зависящий от склонности стенки кокиля к короблению и окислению ($B = 1,25 \div 2,0$); $k_b = b_3/b_1$ — безразмерный коэффициент аккумуляции теплоты; Q_1 — удельная теплота затвердевания; c — удельная теплоемкость чугуна; t_1 и t_3 — температура металла и кокиля в момент заливки. Формула (VI.3) основана на обеспечении равенства температуры контакта металла с формой и средней калориметрической в общей системе отливка—кокиль. При использовании рис. VI.3 толщина стенки кокиля из серого чугуна выбирается ближе к верхнему пределу, а из ВЧШГ и стали — к нижнему. Значение δ_3 для плоского кокиля по рис. VI.4, а тоже выбирается ближе к верхнему пределу, но при отливках сложной конфигурации, имеющих близко расположенные выступы, допускается принимать δ_3 по нижнему пределу для получения равномерной толщины кокиля. Для стенок отливок, оформленных с одной стороны песчаным стержнем, δ_3 определяется по удвоенной толщине стенки отливки. Если конструкция цилиндрического кокиля исключает возможность его термического расширения вдоль продольной оси, то δ_3 принимается по рис. VI.4, а, в других случаях — по рис. VI.4, б, причем для сплошной отливки в этом случае $\delta_3 = 0,7D_1$, где D_1 — диаметр отливки.

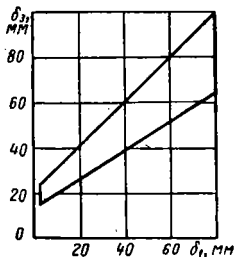


Рис. VI.3. График для выбора толщины стенок кокилей δ_3 (по ГОСТ 16237—70) в зависимости от толщины стенок отливок δ_1

Коробление плоского кокиля существенно снижается при уменьшении габаритных размеров рабочей стенки; поэтому меньше подвержены короблению составные кокили. Последние имеют также повышенную стойкость против

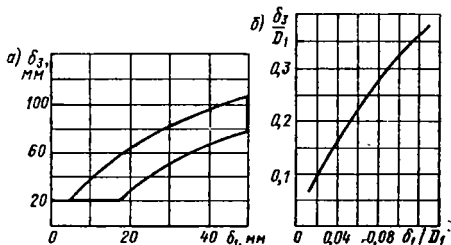


Рис. VI.4. Графики для выбора толщин стенок δ_3 плоских (а) и цилиндрических (б) кокилей [14] в зависимости от толщины отливок δ_1

поверхностных и сквозных трещин. Массивное обрамление кокиля и ребра жесткости повышают стойкость его против коробления, но способствуют образованию и развитию трещин на его внутренней поверхности.

Основные размеры немеханизированных вытряхных и створчатых (с «книжным» вертикальным разъемом) кокилей определены ГОСТ 16234—70 и ГОСТ 16235—70; механизированных с воздушным охлаждением — ГОСТ 16236—70. Вспомогательные конструктивные элементы кокилей — ребра жесткости, штыри охлаждающие, зазоры между направляющими металлических стержней и кокилей, шероховатость поверхности, ручки, колонки, рукоятки, выталкиватели, приспособления для выталкивания отливок и стержней, штыри

направляющие, фиксаторы, каналы и пробки вентиляционные — регламентированы ГОСТ 16237—70—ГОСТ 16261—70. Технические требования к кокилям оговорены ГОСТ 16262—70.

Стальные рабочие стенки кокилей с жидкостным охлаждением соединяют с коробкой для циркуляции охладителя электросваркой. Таким же способом изготавливают коробки водяного охлаждения двухслойных кокилей (см. рис. VI.1, VI.2). Алюминиевые рабочие стенки крепят винтами или болтами (рис. VI.5). В качестве охлаждающей жидкости обычно применяется вода. При водяном охлаждении однослойной рабочей стенки температура ее внешней поверхности не превышает 100° С. Для того чтобы предотвратить дальнейшее переохлаждение рабочей стенки, температура воды в полости охлаждения должна

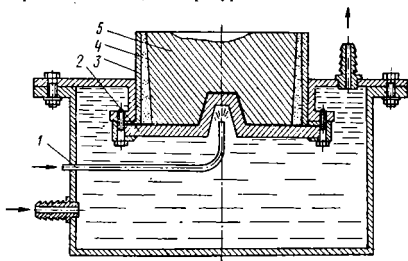


Рис. VI.5. Алюминиевый водоохлаждаемый кокиль с анодированной поверхностью:

1 — трубка подвода воды; 2 — алюминиевый кокиль; 3 — стальная гильза; 4 — стержень; 5 — отливка

быть близка к температуре кипения, а подача охладителя в полость должна прекращаться сразу же после отвода теплоты, отдаваемой отливкой. Поддержание температуры воды на необходимом уровне достигается подводом и отводом воды в верхней части коробки охлаждения. Для отливок массой до 30 кг вода в однослойные формы подводится трубкой диаметром 1/2", а отводится трубкой диаметром 3/4". Вода для охлаждения стальных кокилей подается обычно столько времени, сколько отливка находится в форме. Начинать подачу воды следует в момент, когда фронт нагрева достигает охлаждаемой поверхности кокиля.

Высокое термическое сопротивление контакта между рабочей стенкой и водоохлаждаемой коробкой двухслойного кокиля приводит к необходимости непрерывной подачи воды; при этом вода в коробку подается снизу, а отводится сверху (см. рис. VI.1, VI.2). Водяное охлаждение алюминиевой стенки в сочетании с теплозащитным покрытием пленкой оксидов обеспечивает температуру ее внутренней поверхности не выше 300—350° С, что является необходимым условием ее нормальной эксплуатации. При этом должен быть использован наиболее интенсивный режим теплообмена, который возникает при ядерном режиме кипения воды [1]. Если рабочая стенка имеет выступающие части, то в ней со стороны полости охлаждения могут образовываться глубокие карманы. Чтобы предотвратить образование паровых подушек, вода подводится непосредственно к этим карманам (рис. VI.5). Сравнительную пригодность чугуна для рабочих стенок кокилей при наличии защитного покрытия можно определить [15] по формуле (VI.4), а при отсутствии покрытия — по (VI.5):

$$Z_v = \frac{\sigma_v \lambda}{\alpha'_0 E}; \quad (VI.4)$$

$$Z'_v = \frac{\sigma_v}{\alpha'_0 E}. \quad (VI.5)$$

Для пластичных материалов (сталь и др.)

$$Z_{ст} = \frac{a_n}{\sigma_T [\alpha'_0 \theta_{зал} b_1 / (b_1 + b_3) - 2\sigma_T / E]}, \quad (VI.6)$$

где $\theta_{зал}$ — избыточная температура заливки, отсчитанная от начальной температуры кокиля как от нуля; b_1 и b_3 — коэффициенты аккумуляции теплоты материалов отливки и кокиля. Значения a_n и абсолютного предела текучести σ_T при оценке сталей следует принимать для температуры 500—550° С. Чем выше значения приведенных выше критериев, тем выше стойкость кокилей.

Для рабочих стенок кокилей рекомендуются следующие материалы: для чугуновых кокилей с воздушным, водовоздушным охлаждением и вкладышей двухслойных кокилей СЧ 18-36, СЧ 21-40, ВЧ 42-12 и ВЧ 45-5 *; для стальных кокилей с водяным охлаждением и вкладышей двухслойных кокилей стали марок 15Л-11, 15ХМЛ, 20, ВСтЗ; для алюминиевых анодированных кокилей с водяным охлаждением АЛ11; для металлических стержней стали и чугуны, марки которых указаны выше.

Наиболее высокую стойкость имеют стальные водоохлаждаемые кокили (до 10—20 тыс. заливок). Кокили из ВЧШГ имеют обычно более высокую стойкость, чем из СЧ.

Изготовление рабочих стенок кокилей

Рабочие стенки кокилей изготавливают литьем, механической и электрофизической обработкой, сваркой, штамповкой и комбинацией этих способов. Широкое распространение получил метод литья с последующей доводкой путем механической и слесарной обработки, причем стремятся к минимальному объему доводочных операций.

Обычно для заготовок кокилей изготавливают модели и стержневые ящики для получения по стержням рабочих гнезд. Для удешевления кокилей и сокращения подготовки производства (в случае проверки многих вариантов) применяют способы литья кокилей по гипсовым моделям и наливом на деталь [5, 13]. Оба данных способа не дают возможность получать рабочие гнезда с точными размерами.

Для получения чугуновых рабочих стенок кокиля могут применяться различные формовочные и стержневые твердеющие смеси. Заготовки оказываются более точными, если твердение формы и стержня происходит в контакте с оснасткой. Формы и стержни должны тщательно окрашиваться или натираться противопригарными пастами.

Без поверхностной обработки могут применяться стержни на мелком кварцевом (зернистостью не более 016) песке и фенолоформальдегидном связующем ПК-104. Наиболее-высокий класс шероховатости поверхности отливок дают стержни на цирконовом концентрате.

Для получения стальных рабочих стенок методом литья хорошо зарекомендовал себя CO_2 -процесс, при котором могут быть изготовлены отливки, не требующие последующей механической обработки формообразующей поверхности.

Применяется смесь следующего состава: кварцевый песок К020Б — 100%; 15%-ный раствор едкого натра — 0,5%; жидкое стекло (плотность 1,4—1,51, модуль 2,4—2,7) — 5,5%. Приготовление смеси: в бегуны загружается песок и раствор едкого натра, после 3—4 мин перемешивания вливается жидкое стекло, и перемешивание продолжается еще 7—8 мин. Газопроницаемость сырых образцов смеси не менее 190 ед.; σ_B после продувки углекислым газом в течение 1 мин

* Эти чугуны должны иметь феррито-перлитную матрицу. Графит в СЧ должен быть в виде мелких изолированных включений. Согласно последним исследованиям оптимальным составом чугуна для кокилей из СЧ с повышенной тепловой нагруженностью является состав: 3,0—3,2% С; 1,3—1,5% Si; 0,65—0,8% Mn; до 0,12% S; до 0,1% P; 0,7—0,9% Si; 0,3—0,7% Ni; 0,08—0,1% Ti (Скобло Ю. С. Исследование механизма разрушения кокилей разной тепловой нагруженности и выбор для них материала повышенной термической выносливости. Автореф. канд. дис. Донецк, 1977).

не менее $1,8 \text{ кгс/см}^2$ ($1,8 \cdot 10^5 \text{ Па}$), влажность 2,5—2,8%. Кроме CO_2 -процесса для отливки стальных кокилей применяется Шоу-процесс. Керамические формы позволяют снизить объем механической обработки рабочих стенок кокилей на 50—60%.

Изготовление алюминиевых рабочих стенок кокилей также осуществляется, как правило, литьем. При этом используют стальные или чугунные мастер-кокили. Литые заготовки кокилей из стали марок 15Л-II и 15ХМЛ термически обрабатываются по следующим режимам.

Сталь марки 15Л-II подвергается нагреву до $920\text{--}930^\circ\text{C}$, выдержке в течение 3—4 ч, охлаждению на воздухе, отпуску при $550\text{--}600^\circ\text{C}$ в течение 2—3 ч. После указанной выдержки отливки охлаждаются в печи до 250°C и далее на воздухе. Механические свойства отливок: $\sigma_b \geq 40 \text{ кгс/мм}^2$ ($40 \cdot 10^7 \text{ Па}$), $a_H \geq 7 \text{ (кгс}\cdot\text{м)/см}^2$ ($7 \cdot 10^5 \text{ Па}\cdot\text{м}$) и $\delta \geq 24\%$.

Сталь марки 15ХМЛ загружается в печь при температуре не выше 300°C . Затем подвергается нагреву до $650\text{--}670^\circ\text{C}$ в течение 7—10 ч, выдержке в течение 2 ч, дальнейшему нагреву со скоростью не более 100°C в час до $880\text{--}900^\circ\text{C}$, выдержке в течение 2 ч, охлаждению на воздухе до 450°C , посадке в печь при $t = 450^\circ\text{C}$, нагреву до $620\text{--}650^\circ\text{C}$, выдержке в течение 8—10 ч, охлаждению с печью до 300°C и далее на воздухе. Механические свойства отливок после термообработки: $\sigma_T \geq 25 \text{ кгс/мм}^2$ ($25 \cdot 10^7 \text{ Па}$); $\sigma_b \geq 45 \text{ кгс/мм}^2$ ($45 \cdot 10^7 \text{ Па}$); $\delta \geq 18\%$; $a_H \geq 5 \text{ (кгс}\cdot\text{м)/см}^2$ ($5 \cdot 10^5 \text{ Па}\cdot\text{м}$); $\psi \geq 30\%$. Термическая обработка стальных рабочих стенок кокилей с жидкостным охлаждением должна производиться после приварки к ним коробов охлаждения.

С целью стабилизации размеров и геометрической формы стальные кокили перед окончательной механической обработкой и другими доводочными операциями целесообразно подвергать искусственному старению либо циклической термообработке. Режим старения: нагрев до $500\text{--}600^\circ\text{C}$, выдержка 2 ч на каждые 25 мм толщины стенки, охлаждение с печью до $200\text{--}300^\circ\text{C}$ и далее — на воздухе. Режим циклической обработки: нагрев до 300°C в печи, предварительно разогретой до 900°C , охлаждение — обдувкой воздухом (3—4 цикла). Перспективным методом изготовления рабочих стенок кокилей является спецэлектрометаллургия. В НИИСЛе разработан процесс наплавки стальных кокилей жаропрочными электродами типа ОЗЛ-25Б, изготавливаемыми из сплава ХН78Т (ЭИ435). Наплавка кокилей в местах интенсивного разгара повышает их стойкость в 3—4 раза.

Разработанный в Институте электросварки им. Е. О. Патона метод ЭШЛ позволяет получать плотные, изотропные заготовки, имеющие повышенную ударную вязкость, что является основным показателем стойкости стальных кокилей; но этот метод значительно дороже обычного.

Теплозащитные покрытия кокилей

Теплозащитные покрытия кокилей подразделяются на собственно покрытия и краски (табл. VI.2). Покрытия наносятся 1—2 раза в смену, а краски — после каждой заливки (№ 1) или через несколько заливок. Для увеличения срока службы стальных и чугунных кокилей и повышения их стойкости против разгара применяют плазменное покрытие из окиси алюминия. Стойкость кокилей при этом увеличивается в 2—2,5 раза. Низкая теплопроводность плазменного покрытия позволяет получать в кокиле отливки из модифицированного СЧ без отбела. Поверхности кокиля, подлежащие плазменному напылению, предварительно очищаются и металлизуются. Плазменное напыление осуществляют с помощью установок УМП-5-68 конструкции ВНИИавтогенмаша. При эксплуатации поверхность кокиля окрашивается сажевой краской. Стойкость плазменного покрытия — сотни и даже тысячи заливок.

Использование алюминиевого сплава в качестве материала рабочей стенки при литье чугуна и даже стали оказалось возможным благодаря анодированию. Окисная пленка, наносимая на рабочую поверхность алюминиевого кокиля, защищает его от термических и механических воздействий. Это объясняется высокими значениями температуры плавления ($t_{пл} = 2050^\circ\text{C}$), малой теплопроводностью [$\lambda_2 = 0,3 \pm 0,43 \text{ ккал/(м}\cdot\text{ч}\cdot^\circ\text{C)}$ или $\lambda_2 = 0,35 \pm 0,5 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$] и микротвер-

Состав покрытий и красок для кокилей (массовые доли, %)

Материал	ГОСТ или ТУ	Номер состава							
		покрытия				краски			
		1	2	3	4	1	2	3	4
Сажа ТМ-15	ГОСТ 7885—68	15	—	—	—	10	4	—	—
Огнеупорная глина	ГОСТ 3226—65	15 *	2	—	—	—	4	—	—
Тальк молотый	ГОСТ 879—52	—	23	—	—	—	—	—	—
Кварц молотый пылевидный	ГОСТ 9077—59	—	—	—	10—15	—	—	—	—
Шамот молотый	—	—	—	40	—	—	—	—	—
Крепитель 4ГУ	ТУ МХП 1050—51	—	—	—	—	—	—	100	—
Копоть ацетиленовая	—	—	—	—	—	—	—	—	100
Калий марганцевокислый (сверх 100%)	ГОСТ 5777—71	—	—	0,05	—	—	0,05	—	—
Бура (сверх 100%)	ГОСТ 8429—69	—	1,2	—	—	—	—	—	—
Жидкое стекло, плотность 1,43—1,52, модуль 2,4—3,0	ГОСТ 8264—56	7	4	6	3—5	—	8	—	—
Смачиватель ОП-7 или ОП-10	ГОСТ 8433—57	0,5	—	—	—	0,5	—	—	—
Вода		92,5	71	54	87—80	89,5	84	—	—

* В виде 20%-ного раствора в воде.

достью покрытия (400—500). Для анодирования рекомендуются серноокислый электролит (1 дм³ 5%-ного раствора серной кислоты; 0,003 кг Cr_2O_3) и следующие режимные параметры: температура электролита от 0 до +5° С; плотность тока 3—5 А/дм² при напряжении 20—120 В. Продолжительность процесса определяется из условия: 10 ампер-ч должно приходиться на 1 дм² поверхности. Перед анодированием кокиль обезжиривается в растворе углекислой соды и промывается холодной водой.

Эксплуатация кокилей и их стойкость

При ритмичной заливке в кокиль его стойкость повышается. Частота заливки должна обеспечить заданную начальную (перед заливкой) температуру формы. В случае перегрева рабочей стенки двухслойного кокиля рекомендуется зазор между стенкой и коробкой охлаждения заполнять смесью машинного масла и графита.

Для удобства заполнения зазора теплопроводной смазкой выполняют V-образную канавку (см. рис. VI.2). При двухсменной эксплуатации стойкость выше, чем при односменной. Благоприятное влияние на долговечность кокиля оказывают его предварительный нагрев, осуществляемый с помощью газовых горелок либо электронагревателей. Нагрев необходимо производить медленно. Следует избегать нагрева заливкой металла. Первую заливку в новый свежескрашенный кокиль производят замедленно с минимальной для разлива температурой. В случае, когда отсутствуют условия для нагрева нового кокиля, его следует смазать смесью графита и машинного масла. При этом металл заполняет форму спокойно, без выбросов. Продукты сгорающего масла оседают на поверхность формы, создавая защитную пленку.

Теплозащитные покрытия кокилей должны своевременно восстанавливаться. На стойкость покрытия заметно влияют шлаки. Химически активные шлаки вступают во взаимодействие с компонентами краски и разрушают ее. Быстрое разрушение наблюдается при модифицировании чугуна криолитом. Перед заливкой необходимо тщательно снимать с ковша шлак. Кокили перед окончанием смены должны окрашиваться с таким расчетом, чтобы первые заливки последующей смены производились в свежескрашенную форму. Заливка чугуна в неокрашенный кокиль приводит к преждевременному его износу. Особенно вредна заливка в неокрашенный новый кокиль. Новый кокиль перед началом эксплуатации должен быть нагрет и тщательно окрашен.

Одним из существенных факторов, влияющих на стойкость кокиля, является также внешнее противодействие его термической деформации. Стойкость оказывается выше при раннем раскреплении разъемных форм. Водоохлаждаемые кокили для мелких и средних отливок могут быть раскреплены сразу же после окончания заливки. Своевременное и окончательное проведение ремонта обеспечивает высокую долговечность кокилей. Повышенную ремонтную способность имеют стальные рабочие стенки. Основа их восстановления — электросварка и электроплавка в сочетании с термической обработкой для снятия остаточных напряжений.

Чугун для литья в кокиль и формирование его структуры

Примерные составы чугуна для литья в кокиль приведены в табл. VI.3. Для уменьшения отбела и склонности к трещинам, кроме модификаторов, указанных в табл. VI.3, применяются силикобарий, силикокальций и графит. Ферроцерий рекомендуется при высоком содержании углерода (другие модификаторы в этом случае приводят к появлению графитной спели). Количество модификатора находится обычно в пределах 0,4—0,8%.

Скорость охлаждения отливок в кокилях в процессе кристаллизации определяется, как и в песчаных формах, главным образом, скоростью затвердевания v_k , которая в первом приближении может быть рассчитана по формуле [2]

$$v_k = \frac{\alpha_1 \theta_n}{Q_{11} k_k}, \quad (\text{VI.7})$$

Состав чугуна, применяемого для литья в кокиль

Характеристика отливок	Массовые доли элементов, %						Модификаторы	Источник
	C	Si	Mn	P	S	Mg		
Чугун с пластинчатым графитом								
Тонкостенные отливки электродвигателей, отжигаемые на феррит	3,6—3,7	2,1—2,3	0,4—0,5	До 0,1	До 0,05	—	0,1% коксика в плавильную печь перед выдачей металла; 0,05% ФЦМ-5 в разливочный ковш	Данные НИИСЛа
Тонкостенные арматурные отливки неотвественного назначения (без отбела)	3,2—3,8	2,5—3,2	До 0,8	0,4—0,6	» 0,1	—	—	[13]
Машиностроительные отливки (без отбела)	3,5—3,7	2,5—2,7	0,5—0,9	До 0,6	» 0,12	—	—	[8]
	3,5—3,7	2,0—2,2	0,5—0,9	» 0,6	» 0,12	—	0,2% Al	
	3,2—3,4	2,0—2,2	0,5—0,9	» 0,6	» 0,12	—	0,2% Al, 0,3% ФС75	
Чугун с шаровидным графитом								
Машиностроительные отливки, подвергаемые термической обработке	3,2—3,5	2,5—2,8	0,6—0,9	До 0,12	До 0,03	0,04—0,07	0,3—0,8% ФС75	Данные НИИСЛа

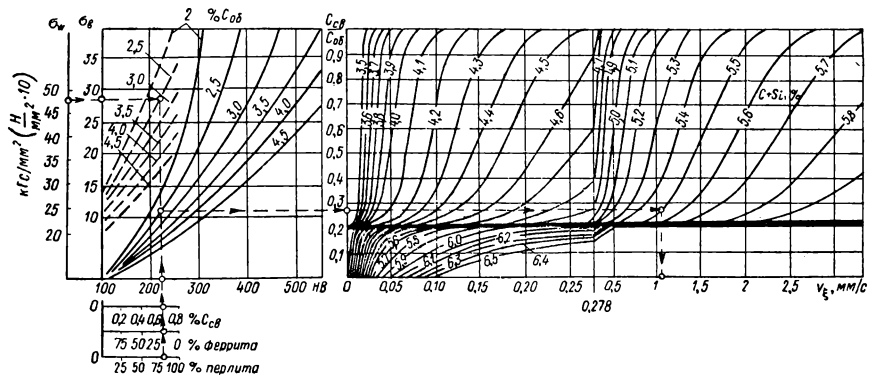


Рис. VI. 6. Структурная диаграмма Г. Ф. Баландина — А. И. Вейника для немодифицированных БЧ и СЧ [2]

где $\theta_n = t_n - t_{\text{зат}}$ — избыточная температура поверхности; Q_1 — удельная теплота затвердевания; α_1 для обычных толстостенных кокилей равна $\sim \lambda_2/\delta_2$; k_ξ — коэффициент, зависящий от конфигурации отливки и толщины затвердевшей корочки ξ : $k_\xi = 1$ для плоской конфигурации отливки; $k_\xi = 1 - 2\xi/\delta_1$ — при цилиндрической; $k_\xi = 1 - 4\xi/\delta_1 + (2\xi/\delta_1)^2$ — для сферической.

С помощью диаграммы (рис. VI.6) [2] возможно: 1) по заданным σ_n (или σ_v), HV (или по структуре) и сумме $C + Si$ определить v_ξ , а по формуле (VI.7) — тепловые параметры процесса, например толщину и свойства теплозащитного покрытия или начальную температуру кокиля; 2) по заданным v_ξ и $C + Si$ найти механические свойства и структуру отливки; 3) по заданным σ_n или σ_v , HV (или по структуре) и тепловым параметрам, определяющим v_ξ , определить сумму $C + Si$. Пример решения первой задачи показан стрелками. Из точек, соответствующих заданным значениям σ_n и HV , проводятся горизонтальная и вертикальная линии; точка пересечения этих линий и пунктирные кривые на левом графике определяют $C_{\text{общ}}$ в чугуне. Из точки пересечения вертикальной линии со сплошной кривой, соответствующей найденному значению $C_{\text{общ}}$, проводится горизонтальная линия до пересечения с кривой $C + Si$ правой части диаграммы, а из точки их пересечения опускается перпендикуляр на ось абсцисс правого графика и определяется v_ξ ; пересечение же этой горизонтальной линии с осью ординат дает отношение $C_{\text{св}} : C_{\text{общ}}$. Вторая задача является обратной по отношению к первой. При решении третьей задачи положение точки на правом графике определяется пересечением горизонтальной пунктирной прямой и перпендикуляра, восстановленного из точки с заданным значением v_ξ , что указывает на сумму $C + Si$, которая должна быть в чугуне для обеспечения заданных механических свойств. В остальном решение третьей задачи аналогично второй.

Сочетание в кокильных отливках из ВЧШГ стабилизирующего действия глобулизаторов и ускоренного охлаждения металла приводит к образованию структурно свободного цементита. Поэтому кокильные отливки из ВЧШГ подвергают термической обработке, кроме случаев, когда отбел является необходимым по условиям эксплуатации детали.

Литниковые системы

Температура заливки $t_{\text{зал}}$ СЧ и ВЧШГ находится обычно в пределах 1280—1330° С. При $t_{\text{зал}}$ на верхнем пределе стойкость кокилей снижается, и увеличивается длительность выдержки отливки в форме. В исключительных случаях — получение отливок сложной геометрической формы — повышают $t_{\text{зал}}$ до 1360° С. При $t_{\text{зал}}$ ниже 1300° С резко увеличивается пленообразование в ВЧШГ.

Различные типы литниковых систем чугуниных отливок приведены на рис. VI.7. В практике наибольшее распространение получил верхний подвод металла. При этом стойкость кокилей в 2—3 раза выше, чем при сифонном подводе; кроме того, обеспечивается направленное затвердевание отливок и сокращается расход металла на литники.

Примеры конструкций кокилей с верхним подводом металла показаны на рис. VI.1 и VI.9, а с нижним — на рис. VI.8. Для уменьшения разбрызгивания падающего с большой высоты металла кокиль иногда наклоняют на несколько градусов.

В кокиле более всего изнашиваются зоны, образующие литниковую систему, в часть формы, на которую попадает первая порция металла. В связи с этим рекомендуются рассредоточенный подвод металла и плавное, безударное заполнение формы. Целесообразно в форме выполнять две литниковые системы для поочередного пользования каждой из них.

Отливки из СЧ и тонкостенные отливки из ВЧШГ получают в кокилях обычно без прибылей. Для толстостенных отливок применяют, как правило, утепление прибыли песчаными вставками (рис. VI.8, VI.9), что особенно эффективно при заливке сверху (рис. VI.9). Рассчитываются прибыли обычными методами. При этом учитывают различные условия затвердевания утепленной прибыли и отливки, а также то, что ВЧШГ эвтектического состава дает более сосре-

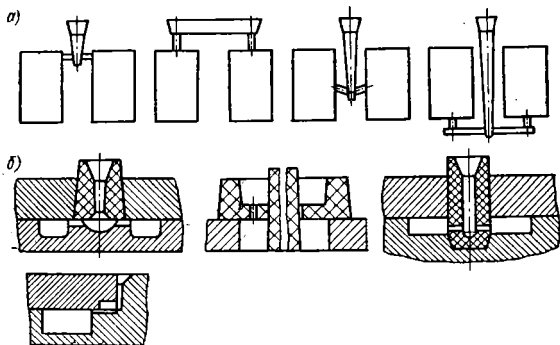


Рис. VI.7. Типы литниковых систем в кокилях с плоскостью разъема:
а — вертикальной; б — горизонтальной

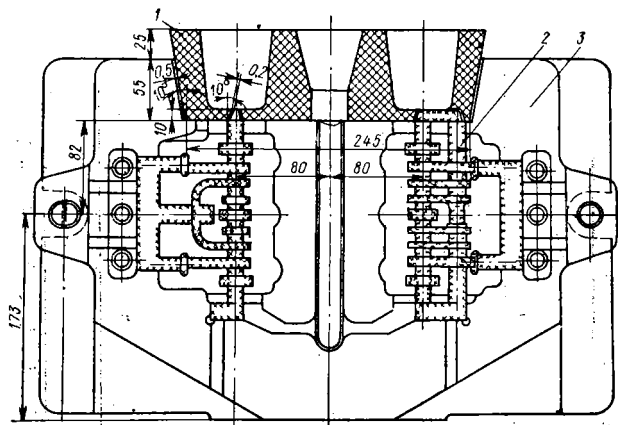


Рис. VI.8. Конструкция кокиля с сифонной литниковой системой и прибылью в песчаном стержне:

1 — стержень, оформляющий прибыль; 2 — стержень для получения внутренних каналов; 3 — кокиль

доточенную усадочную раковину. Расчет площади сечения питателей отливок из СЧ следует производить по номограмме (рис. VI.10) [5], причем коэффициент n определяется по уравнению

$$n = 0,0022 \Delta t_{\text{зал}} + 0,0009 t_3 + 0,033C + 0,02Si + 0,056P - 0,016Mn - 0,15S, \quad (\text{VI.8})$$

где $\Delta t_{\text{зал}}$ — перегрев металла при заливке.

Для определения площади других элементов литниковой системы рекомендуется соотношение

$$S_{\text{п}} : S_{\text{л. х}} : S_{\text{ст}} = 1 : 1,15 : 1,25. \quad (\text{VI.9})$$

Здесь $S_{\text{п}}$, $S_{\text{л. х}}$ и $S_{\text{ст}}$ — суммарные площади сечения питателей, литникового хода и стояка соответственно.

Продолжительность заливки СЧ определяется по формуле

$$\tau = A \sqrt[3]{m_1 \delta_1}, \quad (\text{VI.10})$$

где A — коэффициент; при заливке снизу $A = 3,0$, при заливке сбоку $A = 3,4$ и $A = 3,9$ при заливке сверху. Для отливок из СЧ при δ_1 до 10 мм скорость подъема металла в форме должна быть не менее 20 мм/с, при $\delta_1 = 10 \div 30$ мм — не менее 15 мм/с и при $\delta_1 > 30$ мм — не менее 10 мм/с.

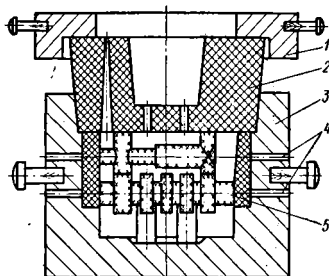


Рис. VI.9. Конструкция кокиля с заливкой сверху и песчаным стержнем для прибыли:

1 — груз; 2 — стержень, оформляющий прибыль; 3 — кокиль; 4 — вентиляционные каналы; 5 — стержень для получения внутренних каналов

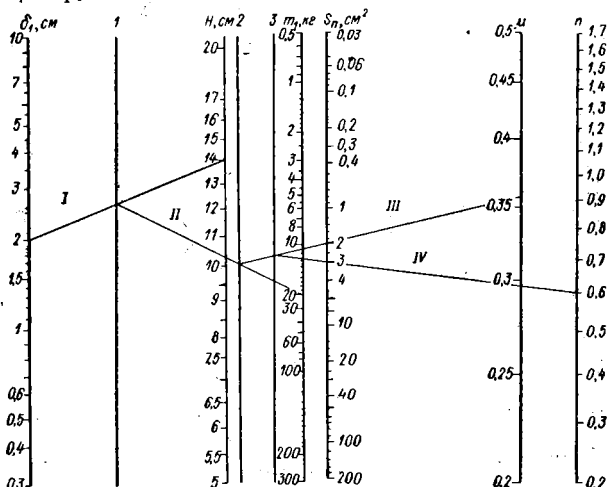


Рис. VI.10. Номограмма Н. П. Дубинина для определения площади сечения питателей при заливке СЧ [5]

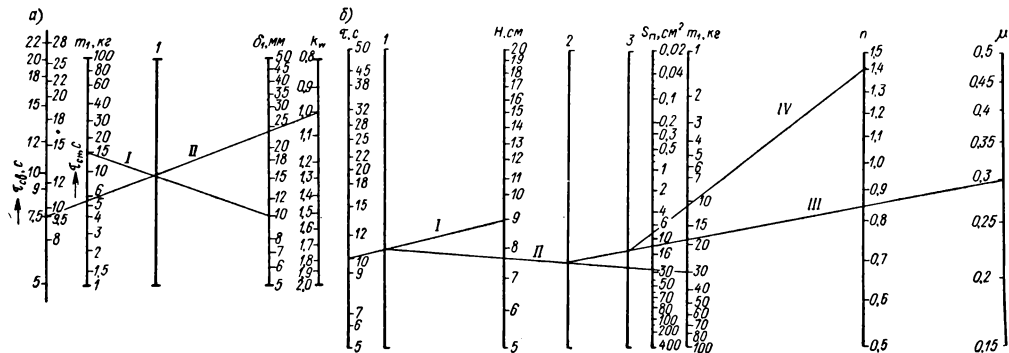


Рис. VI.11. Номограммы Ю. С. Лернера и Е. Б. Шицмана для отливок из ВЧШГ [19]: а — для определения продолжительности заливки; б — для определения площади сечения питателей

По номограмме (см. рис. VI.10) площадь сечения питателей S_n определяется следующим образом: линией I соединяются точки, соответствующие значениям δ_1 и H ; точка пересечения линии I с вспомогательной прямой I соединяется с точкой на шкале m_1 (линия II); точка пересечения линии II с вспомогательной прямой 2 соединяется с точкой на шкале μ (линия III) (μ — коэффициент расхода, учитывающий сжатие и потерю напора струи металла при истечении из питателя); точка пересечения линии III с вспомогательной прямой 3 соединяется с точкой на шкале n (линия IV); точка пересечения линии IV со шкалой S_n дает искомое значение. Линиями I—IV показан пример определения площади сечения питателей для отливки с толщиной стенки $\delta_1 = 2$ см, массой $m_1 = 20$ кг при напоре $H = 14$ см, $\mu = 0,36$, $n = 0,6$.

Расчет продолжительности заливки кокиля и площади сечения питателей отливок из ВЧШГ производят по номограмме (рис. VI.11) [19], причем коэффициент k_w является функцией относительной плотности $\gamma_w = m_1 : W_1$ (W_1 — габаритный объем отливки):

γ_w	До 0,5	0,5—1,0	1,0—1,5	1,5—2,0	2,0—2,5	2,5—3,0	3,0—3,5
k_w	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4

Коэффициент n при заливке ВЧШГ вычисляется по уравнению

$$n = 0,0028 \Delta t_{\text{зал}} + 0,0013 t_3 + 0,036 (C + 0,31Si). \quad (VI.11)$$

Соотношение площадей сечения элементов литниковой системы вследствие повышенного количества неметаллических включений в ВЧШГ должно быть

$$S_n : S_{\text{л. х}} : S_{\text{ст}} = 1 : (1,2 \div 1,4) : 1,1. \quad (VI.12)$$

Продолжительность заливки и площадь сечений питателей ВЧШГ в кокиль определяются по рис. VI.11, а, б в последовательности: линией I соединяются точки на шкалах m_1 и δ_1 (рис. VI.11, а); точка пересечения линии I вертикалью I соединяется с точкой на шкале k_w (линия II); точка пересечения продолжения прямой II со шкалой $\tau_{\text{св}}$ или $\tau_{\text{сн}}$ (в зависимости от того, подводится ли металл сверху или снизу) дает искомую продолжительность заливки. Линиями I—II показан пример определения t для отливки массой $m_1 = 10$ кг при $\delta_1 = 10$ мм и $k_w = 1,0$. Величину S_n находят по рис. VI.11, б аналогично изложенному для СЧ. На рис. VI.11, б показан пример определения S_n для отливки массой $m_1 = 30$ кг при $\tau = 10$ с, напоре $H = 9$ см, $\mu = 0,3$, $n = 1,4$.

Вентиляция кокилей, виды брака и меры борьбы с ним

Полости, наиболее удаленные от места подвода металла, и глубокие полости необходимо сообщать с атмосферой. Суммарная площадь сечения вентиляционных каналов определяется эмпирическим соотношением $S_{\text{вент}} = 1,25 S_n$. Для расчетов площади сечения различных вставок $S_{\text{вст}}$ в кокиль, через которые удаляются газы из полости формы (например, для пакета иголок), рекомендуется формула [1]

$$S_{\text{вст}} = \frac{W_1 l}{k_r \gamma_1 (h_1 + h_2) \tau_{\text{зал}}}, \quad (VI.13)$$

где W_1 — объем металла отливки; l — длина вставки, м; k_r — коэффициент газопроницаемости вставки (определяется с помощью стандартного прибора); γ_1 — плотность металла отливки; h_1 — высота формы от нижней части отливки до верха литниковой чаши; h_2 — расстояние от носика ковша до литниковой чаши, м; $\tau_{\text{зал}}$ — продолжительность заливки, с. При кокильном литье допускаются меньшие отклонения технологических параметров, чем при литье в песчаные формы. Нарушение режимов литья в кокиль может стать причиной брака. Особые виды брака при этой технологии и меры борьбы представлены в табл. VI.4. Кроме них встречаются и другие, общие для всех способов литья.

Причины брака	Меры по устранению
Несоответствие структуры Отклонение состава металла от требуемого; нарушение температурного режима плавки, модифицирования и заливки; несоответствие начальной температуры кокиля; нарушение режима нанесения на кокиль теплозащитного покрытия Соблюдение установленных технологическим процессом: состава металла; режима плавки; состава, количества и режима ввода модификатора; режима заливки; начальной температуры кокиля; состава и толщины теплозащитного покрытия	
Газовые раковины Подсос воздуха при заливке Повышенное газосодержание в заливаемом металле Недостаточная вентиляция полости кокиля Низкая $t_{\text{зал}}$ Холодный кокиль и непросушенное теплозащитное покрытие Перегретый кокиль Сильно окисленная поверхность кокиля при значительном разгаре Повышенная газотворность песчаного стержня Изменение конструкции литниковой системы с целью исключения возможности отрыва струи от поверхности формы и разбрызгивания потока при входе в рабочую полость Изменение состава шихты и повышение $\Delta t_{\text{зал}}$ Увеличение сечения вентиляционных отверстий и устройство дополнительных Повышение температуры заливаемого металла Подогрев кокиля, тщательное просушивание покрытия Охлаждение кокиля и в дальнейшем поддержание оптимальной частоты заливки и режима охлаждения формы Очистка кокиля, ликвидация сетки трещин (обычно путем механической обработки), нанесение на кокиль при консервации антикоррозийного покрытия Снижение газотворности связующего, тщательное высушивание стержня, снижение скорости заливки металла	
Недоливы и неспан Недостаточная жидкотекучесть расплава Большая протяженность литниковой системы Ускоренное охлаждение потока расплава Повышение $t_{\text{зал}}$, снижение содержания S и повышение содержания Si (не более 3%) и P Устройство коротких литников, заливка сверху Повышение начальной температуры кокиля; тщательное нанесение теплозащитного покрытия на кокиль в зоне литниковой системы	

Причины брака	Меры по устранению
Т р е щ и н ы	
Нетехнологичность конструкции отливки	Упрощение конструкции отливки: выполняются плавные переходы, вводятся галтели, уклоны и др.
Разъем кокиля по кромке отливки	Перенос разъема формы на расстоянии не менее 2—3 мм от кромки отливки
Местный перегрев отливки Недостаточная податливость формы	Рассредотачивание подвода металла Применение податливых песчаных стержней; раннее извлечение металлических стержней, раскрепление кокиля и извлечение отливки из формы Тщательная сборка формы, подгонка частей кокиля
Заливы по поверхностям сопряжения частей кокиля Ускоренное и неравномерное охлаждение отливки после извлечения из кокиля	Замедленные охлаждения отливки, например путем помещения ее в термостат

Механизация литья в кокиль

В табл. VI.5 приведена техническая характеристика кокильных машин, которые входят в состав гаммы, разработанной НИИСЛом. Гамма включает кокильные машины с гидравлическим приводом: с вертикальным разъемом кокиля и одной подвижной подкокильной плитой; с таким же разъемом кокиля, двумя подвижными плитами и с поддоном; с горизонтальным разъемом кокиля и с верхней подъемно-поворотной плитой. Машины второго типа оснащаются также механизмом перемещения верхних стержней. Для небольших машин предусмотрено исполнение с пневматическим приводом. Все машины работают в полуавтоматическом и наладочном (пооперационных) режимах.

В качестве примера следует указать на созданную НИИСЛом и действующую на заводе сельхозмашин им. Октябрьской революции в Одессе комплексно-механизированную линию для получения в кокилях отливок из ВЧШГ. Линия предназначена для отливки машиностроительных деталей различной конфигурации массой до 50 кг в кокилях с вертикальной плоскостью разъема. В состав линии входят: две вагранки; три камеры-автоклава (одна из них резервная) для модифицирования чугуна; две двухпозиционные заливочные машины; две карусельные кокильные машины (восьми- и шестипозиционная) с механизмами для извлечения отливок из кокиля и отбивки литников; механизм для укладки отливок на поддон; двухрядный термоагрегат; водяная ванна; дробеметный барабан непрерывного действия; транспортные и вспомогательные устройства.

При помощи заливочных машин чугун заливается в кокили двух карусельных машин, работающих поочередно. Полученные на карусельных машинах отливки извлекаются из кокилей специальным манипулятором и подаются в устройство для автоматического отделения литников, а затем по транспортеру поступают на приемный стол и при помощи манипулятора укладываются на поддоны. Отливки проходят двухстадийный отжиг в двухрядном термоагрегате, охлаждаются в водяной ванне и подаются в дробеметный барабан. Автоматически выполняются следующие операции: поворот карусельной машины с позиции на позицию; прекращение заливки металла в кокиль; раскрытие и смыкание кокилей; извлечение отливок из кокиля; отбивка литников и передача отливок для укладки на поддон; регулирование теплового режима кокилей; перемещение

Техническая характеристика универсальных кокильных машин

Показатель	Машины с вертикальным разъемом кокиля, с одной подвижной плитой			Машины с вертикальным разъемом кокиля, с двумя подвижными плитами и поддоном			Машины с горизонталь- ным разъ- емом кокиля, с верхней подъемно- поворотной плитой
	5912	5913	5915	5922	5924	5926А	5966
Размеры рабочего места для крепления частей кокиля (ши- рина×высота), мм:							
на плитах	400×320	500×400	800×630	400×320	630×500	630×1 250	1 000×800
на поддоне	—	—	—	500×400	630×500	800×1 250	—
Наименьшее расстояние ме- жду плитами, мм	400	500	630	400	500	630	500
Ход плиты, мм	320	400	500	200	250	320	200
Ход плиты толкателей, мм	—	—	50	50	100	100	—
Угол поворота плиты, ...°	—	—	—	—	—	—	55
Усилие раскрытия кокиля, кгс	3500	5000	12 500	3500	10 000	25 000	18 000

Показатель	Машины с вертикальным разъемом кокиля, с одной подвижной плитой			Машины с вертикальным разъемом кокиля, с двумя подвижными плитами и поддоном			Машины с горизонталь- ным разъемом кокиля, с верхней подъемно- поворотной плитой
	5912	5913	5915	5922	5924	5926А	5966
Машинное время холостого цикла, с	7	10	20	10	15	45	25
Металлоемкость кокиля при литье чугуна (не более), кг	25	40	100	25	70	120	100
Мощность гидроагрегатов, кВт	7,5	7,5	10	7,5	13	13	13
Габаритные размеры, мм	2230× ×850× ×1500	2520× ×1095× ×1500	2600× ×1400× ×1250	2800× ×850× ×1500	3200× ×1850× ×2400	3560× ×1540× ×2675	2450× ×2000× ×2400
Масса с комплектующими узлами, кг	2300	2600	4000	3500	5000	7320	6740

Примечание.
Машины моделей 5915, 5924, 5926А и 5966 изготавливает Тираспольский завод литейных машин им. Кирова, остальные — предприятия Минстройдормаша.

поддонов с отливками в печах, разгрузка и возврат поддонов в исходное положение.

Техническая характеристика линии

Производительность, т/год	12 000
Съем с 1 м ² , т/год	6,94
Выход годного литья, %	67

Подробное описание конструкций кокильных машин, вспомогательных устройств и комплексно-механизированных линий приведено в работе [11].

2. ЛИТЬЕ В ОБЛИЦОВАННЫЙ КОКИЛЬ

Особенности процесса и оснастки

Облицованный кокиль состоит из внутреннего (рабочего) песчаного слоя разового использования — облицовки — и наружного металлического слоя многократного использования — собственно кокиля. Облицовка на кокиль наносится по модели путем заполнения песчаной смесью зазора, образованного рабо-

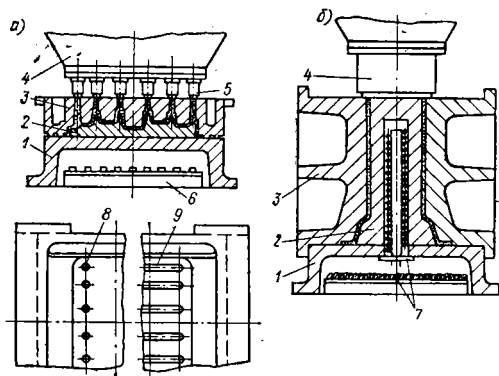


Рис. VI.12. Схемы нанесения облицовки пескодувным способом: а — через отверстия в теле кокиля; б — через щелевой зазор между моделью и кокилем;

1 — модельная плита; 2 — модель; 3 — кокиль; 4 — пескодувная головка; 5 — сопло; 6 — газовый нагреватель; 7 — электрический нагреватель; 8 — вдувное отверстие; 9 — вдувная щель

чими поверхностями модели и кокиля (рис. VI.12). В качестве облицовочных смесей применяются формовочные твердеющие смеси повышенной текучести. Применяются главным образом смеси на термореактивном фенолоформальдегидном связующем, а также частично наливные и другие смеси. Близкая к нулю прочность песчано-смоляной смеси в исходном состоянии в сочетании с пескодувным процессом позволяет стабильно получать относительно тонкую облицовку на кокилях практически любой конфигурации. Твердеет такая смесь за счет теплоты нагретых модели и кокиля.

Процесс начинается с нагрева модели и кокиля и нанесения на модель разделительного состава, предотвращающего прилипание облицовки к модели.

Затем следует установка кокиля на модельную плиту с моделью, вдвигание смеси, ее отвердевание, съем облицованного кокиля с модели, сборка и заливка кокиля, охлаждение отливки в форме, разборка кокиля и извлечение из него отливки, очистка кокиля от остатков частично выгоревшей облицовки и, наконец, охлаждение кокиля до температуры, необходимой для очередного нанесения облицовки.

Литье в облицованные кокили сочетает в себе особенности процессов литья в обычные кокили и оболочковые формы, но имеет в сравнении с ними такие преимущества, как возможность получения относительно более крупных и сложных отливок и отливок с дифференцированной структурой, повышение размерной точности (примерно на 1—2 квалитета по стандарту СЭВ 145—75) и плотности отливок, сокращение расхода металла на припуски и напуски, снижение затрат на форму (повышение стойкости кокилей, сокращение расхода смоляного связующего, песка и опорного материала) и повышение производительности. Преимущества этого процесса полнее проявляются, когда толщина облицовки δ_2

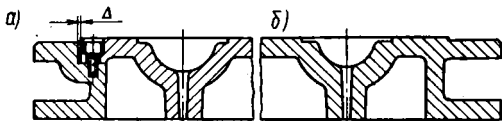


Рис. VI.13. Схемы плоских кокилей: а — составной; б — цельный

меньше, а кокиля δ_3 больше приведенной толщины стенки отливки $R_{пр. i}$. При таких соотношениях, варьируя толщиной облицовки δ_2 , можно локально изменять условия охлаждения и, следовательно, структуру отливок. К недостаткам процесса относятся: повышенные сложность и стоимость оснастки; затрудненная переналаживаемость специального технологического оборудования и оснастки; ограниченность номенклатуры одновременно отливаемых деталей в одном технологическом потоке.

Литье в облицованные кокили применяется, в основном, при массовом производстве отливок из любых чугунов. Номенклатура отливок разнообразна, а именно: коленчатые и распределительные валы; ребристые станины электродвигателей; блоки; головки блоков и гильзы цилиндров; патрубки; корпуса водяных насосов, гидрораспределителей и подшипников; ступицы колес; башмаки; тормозные барабаны; корпуса и крышки корпусов редукторов и др.

Основными элементами оснастки для литья в облицованные кокили являются: модельная плита с моделями; нагреватель моделей; кокиль, надувная плита (с соплами или без них, в зависимости от вида пескоудвигного процесса). К вспомогательным элементам оснастки относятся спаривающие устройства — штыри и втулки.

Толщина модельной плиты зависит от ее габаритных размеров:

Габаритные размеры плит, мм	300×400	400×600	900×1100	1100×1300
Толщина плит, мм	15	20	30	40

Чаще всего применяются разъемные кокили, длина и ширина которых значительно больше, чем высота. Они могут быть составными и цельными (рис. VI.13). Составная конструкция характеризуется меньшими напряжениями и большей жесткостью и представляет собой раму, в которую с компенсационным зазором Δ вставляется вкладыш, оформляющий рабочее гнездо. В отечественной практике и за рубежом используются обычно толстостенные (40 мм и более), а в отдельных случаях тонкостенные кокили.

Материалы, применяемые для изготовления деталей оснастки, представлены в табл. VI.6. Заготовки кокилей, моделей и плит с целью стабилизации размеров и конфигурации следует подвергать термической обработке. Для чугунных и

Материалы для изготовления оснастки

Деталь оснастки	Материал	Область применения
Модельная плита	СЧ 15-32; СЧ 18-36 (ГОСТ 1412—70) Специальный чугу́н: 3,2—3,4% С; 2,2—2,6% Si; 0,77—0,88% Mn; 0,40—0,47% P; 0,01—0,02% S; 2,5—3,5% Ni; 0,5—0,6% Cr [21] Обычный чугу́н: 3,1% С; 1,9% Si; 0,8% Mn; 0,1% S; 0,01% P [16]	Для плит размером более 400×600 мм
	Ст3 (ГОСТ 380—71)	Для плит размером не более 400×600 мм
Модель	Специальный чугу́н (см. выше) СЧ 15-32; СЧ 18-36 (ГОСТ 1412—70) Бронзы (ГОСТ 613—65) Бериллиевая медь: 2,0—2,5% Be; 0,25—0,5% Ni; 0,1% Fe; остальное Cu Ст3 (ГОСТ 380—71) Сталь 15Л—25Л (ГОСТ 977—69) АЛ24, АЛ26, АЛ27, АЛ28 (ГОСТ 2685—75) [16] Специальные алюминиевые сплавы: 1) 3,5—4,5% Cu; 0,7% Si; 1,2—1,8% Mg; 1,7—2,3% Ni; 1,0% Fe; остальное Al; 2) 0,5—1,5% Cu; 11,0—13,0% Si; 0,7—1,3% Mg; 2,0—3,0% Ni; 1,3% Fe; 0,05% Mn; 0,1% Zn; остальное Al [21]	Для эксплуатации в условиях крупносерийного и массового производства Для эксплуатации на высокоскоростном оборудовании Для небольших моделей и отдельных вставок Для изготовления опытных моделей при отладке технологии и производстве небольших партий отливок
Кокиль Рама составного кокиля	СЧ 15-32; СЧ 18-36 (ГОСТ 1412—70) ВЧ 42-12; ВЧ 45-5 (ГОСТ 7293—70) Сталь 15Л—25Л (ГОСТ 977—69) Сталь 15Л—25Л (ГОСТ 977—69) ВЧ 42-12; ВЧ 45-5 (ГОСТ 7293—70)	Для эксплуатации в условиях крупносерийного и массового производства То же

стальных заготовок рекомендуется старение или циклическая термическая обработка по режимам, указанным выше в п. 1 гл. VI. Нагреватели модельных плит могут быть газовые и электрические. Конструктивно они выполняются встроенными в модельную плиту (см. рис. VI.12) или в виде печей.

Количество отверстий в кокиле для вдувания сыпучей песчано-смоляной смеси определяется подетальной технологией отливки. Вдувные отверстия располагают над выступающими частями модели, при небольших перепадах высот между различными частями модели — с шагом 150—250 мм. Размеры вдувных отверстий определены ГОСТ 19507—74. Облицовочная смесь может наноситься также через вдувные щели (см. рис. VI.12).

Конструкция и размеры элементов спаривающих устройств для установки кокилей на модельные плиты и соединения между собой частей разъёмных кокилей регламентированы ГОСТ 19509—74—ГОСТ 19516—74.

Кокили, на которые наносится облицовка, могут быть изготовлены из катаных, кованных, штампованных и литых заготовок (последние наиболее экономичны). Шероховатость литого рабочего гнезда является полезной, так как способствует удержанию облицовки на кокиле, для чего следует также наносить на поверхности рабочего гнезда насечки и канавки. Этой же цели служит обратный уклон на ленточке смыкания, которая представляет собой продолжение облицовки, выходящее на поверхность соприкосновения кокиля и модельной плиты. Основное назначение ленточки смыкания — ликвидация неплотности облицовки по контуру рабочего гнезда формы. Ее продолжение (обрамление) определяет поверхность, по которой кокиль контактирует с модельной плитой по периферии кокиля. Размеры ленточки смыкания и минимальная ширина обрамления регламентированы ГОСТ 19508—74.

Облицовка из песчано-смоляной смеси на кокиль наносится пескодувной головкой, снабженной механическими или пневматическими управляемыми соплами [12]. Сопла позволяют запереть полость головки до истечения смеси и поднять в ней давление до определенного значения, чем обеспечивается начало истечения смеси из головки при максимальном для данного цикла давлении. При достаточном сечении воздухопроводов, подводящих воздух к пескодувной головке, процесс истечения заканчивается при давлении, близком к начальному. Управляемые сопла позволяют осуществить вдувание смеси без сброса давления в головке.

Для нанесения облицовки кроме пескодувных головок с управляемыми соплами могут применяться и обычные пескодувные (пескострульные) головки. Оптимальная плотность облицовки из сыпучей смеси на фенолоформальдегидном связующем достигается при толщине 4—6 мм. Для этого давление воздуха в пескодувной головке с соплами должно быть 2—4 кгс/см² [(2÷4) 10⁵ Па].

Большое влияние на плотность облицовки оказывает система вентиляции полости, заполняемой смесью. Для вывода воздуха из полости в кокиле выполняются вентиляционные щелевые каналы (размеры по ГОСТ 16250—70, исполнение 2), расположенные вокруг рабочего гнезда в поверхности разъема кокиля и объединенные в вентиляционные коллекторы (по ГОСТ 19508—74). Если щели нельзя вывести к краю кокиля, то их подводят к специальному сквозному отверстию. Для вентилирования глубоких полостей применяют вентиляционные пробки. Размеры отверстий для пробок установлены ГОСТ 16250—70, а конструкция и размеры пробок — ГОСТ 16251—70 и ГОСТ 16252—70.

Продолжительность отверждения облицовки толщиной 5 мм можно определить по графику (рис. VI.14). Кокиль должен иметь $t < 220^\circ\text{C}$, иначе

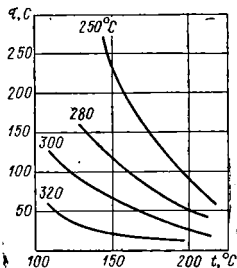


Рис. VI.14. График для определения продолжительности отверждения облицовки толщиной 5 мм из песчано-смоляной смеси (цифры у кривых — температуры модели, а по горизонтальной оси — кокиля)

Составы облицовочных смесей (массовые доли, %)

Вид отливки	Песок кварцевый			Цирконо- вый кон- центрат	Смоляное связующее (сверх 100%)
	1К020	1К016	1К010		
Мелкие отливки из СЧ	70	—	30	—	2,2—2,6
То же с повышенными требованиями к шероховатости поверхности	—	70	30	—	2,2—2,6
Средние отливки из СЧ	50	—	50	—	2,0—2,6
То же с повышенными требованиями к шероховатости поверхности и отливки из ВЧ	—	100	—	—	2,0—2,6
Отливки с особыми требованиями к шероховатости поверхности	—	70	30	—	2,0—2,6
Отливки с особыми требованиями к шероховатости поверхности	—	—	—	100	1,25—1,5

Примечания:

1. Для облегчения съема облицованного кокиля с модели и повышения прочности отвердевшей облицовки в смесь рекомендуется вводить 0,05—0,2% стеарата кальция.

2. Очистка кокиля от остатков выгоревшей облицовки облегчается при вводе в смесь 0,3—0,5% скрытокристаллического графита (ГОСТ 5420—74) и 0,1—0,5% борной кислоты (ГОСТ 18704—73).

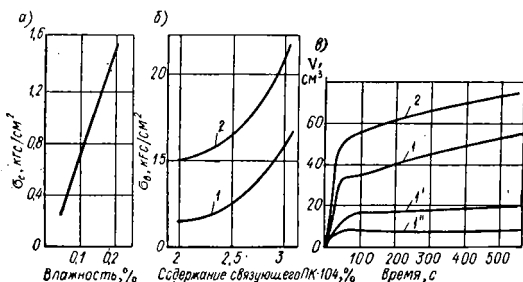


Рис. VI.15. Свойства облицовочной смеси и облицовки: а — зависимость σ_0 неотвержденного плакированного кварцевого песка от содержания влаги; б — влияние термической обработки кварцевого песка на σ_0 песчано-смоляной смеси в отвердевшем состоянии (1 — исходный песок; 2 — прокаленный песок); в — выделение газов из 2-граммовой навески при нагреве облицовочной смеси, содержащей 3% связующего ПК-104 (кривые 1, 1' и 1'' при 1200, 900 и 700°С соответственно), и смеси для оболочковых форм, содержащей 6% ПК-104 (кривая 2 при 1200°С)

облицовка разупрочняется в период ожидания заливки. Продолжительность отверждения облицовки резко сокращается с повышением температуры оснастки, но при этом термостойкость облицовки падает. Оптимальное сочетание свойств

имеет облицовка светло-коричневого цвета. С целью повышения оборачиваемости модели следует кокиль выдерживать на модели только до тех пор, пока облицовка не приобретет прочности, достаточной для снятия кокиля с модели. Последующее доотверждение облицовки осуществляется в этом случае путем кратковременного подвода теплоты непосредственно к ее рабочей поверхности.

Песчано-смоляные облицовочные смеси (табл. VI.7) склонны к сегрегации при пескоструйном процессе и поэтому должны быть в лакированном состоянии. При «холодном» лакировании применяют связующее ПК-104 по ГОСТ 13507—68, а в качестве его растворителя — этиловый технический (гидролизный) спирт по ГОСТ 17299—71 в количестве 0,9—1,2% от массы смеси; при «горячем» лакировании — смола 104*, а в качестве отвердителя — уротропин (гексаметилен-тетрамин) по ГОСТ 1381—73 [16, 21].

Увлажненный лакированный песок имеет склонность к комкованию. Такая смесь приобретает некоторую сырую прочность на сжатие, пропорциональную влажности (рис. VI.15, а). Смесь не комкуется, если в исходном состоянии $\sigma_c \leq 0,2$ кгс/см² ($0,2 \cdot 10^5$ Па), что соответствует влажности до 0,04%. Влага снижает прочность смеси в отвержденном состоянии. Отвержденная смесь должна иметь $\sigma_c = 10 \div 15$ кгс/см² [$(10 \div 15) 10^5$ Па]. Для отвержденной облицовки на кварцевом песке в интервале 20—300° С $\alpha = (14,1 \div 14,7) 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$. Термофизические свойства облицовок приведены в табл. VI.8.

Таблица VI.8

Состав и свойства облицовок

Содержание компонентов облицовки, %			γ , кг/м ³	c , ккал/(кг·°С) [$\frac{4,2 \text{ кДж}}{(\text{кг} \cdot \text{К})}$]	λ , ккал (м·ч·°С)	$\alpha \cdot 10^6$, м ² /с
Песок K016	Цирконовый концентрат	Связующее ПК-104				
97	—	3	1400	0,250	0,514	0,409
—	98	2	2350	0,158	0,535	0,400

Примечание.
 α — температуропроводность, $\alpha = \lambda/(\gamma c)$.

Обработанная песчано-смоляная смесь поддается регенерации путем прокаливания при 850—900° С в окислительной атмосфере. Перед прокаливанием облицовка должна измельчаться, а потом сепарироваться и просеиваться. При применении прокаленного песка прочность смеси повышается (рис. VI.15, б). Регенерация позволяет сократить расход свежих песков и связующего.

Сборка и заливка облицованного кокиля

Сборка облицованных кокилей осуществляется аналогично обычным формам, и заливаются они в горизонтальном (преимущественно) или вертикальном положении. Толстостенные кокили в горизонтальном положении не скрепляются перед заливкой, если в них заливают до 200 кг чугуна. Для скрепления кокилей в вертикальном положении применяют скобы, струбцины и специальные механизированные зажимы. С целью уменьшения термических напряжений в кокиле, а также термических и усадочных напряжений в отливке, кокили должны быть раскреплены сразу же после окончания заливки.

Количество выделяемых газов при нагреве отвержденной смеси зависит от температуры и состава связующего (рис. VI.15, в). Газотворность смеси для кокилей примерно в 1,5 раза меньше, чем для оболочковых форм (с 6% ПК-104).

* Либэ смолы СФ по ГОСТ 18694—73.

Состав газов, выделяющихся при термодеструкции оболочковой смеси, %

Температура нагрева, °С	CO ₂	C _n H _{2n}	O ₂	CO	H ₂	C _n H _{2n+2}	N ₂
700	1,7	—	18,9	8,6	22,9	—	48,0
900	6,0	—	6,2	11,0	22,8	3,6	48,9
1200	2,3	0,2	1,0	22,6	40,0	3,3	30,9

Примерный состав газов (объемные доли, %), выделяющихся при термодеструкции облицовочной смеси в «собственной» атмосфере, приведен в табл. VI.9. Чем выше температура деструкции, тем более восстановительный (по отношению к железу) характер имеет атмосфера.

Подготовка модели к нанесению облицовки заключается в ее нагреве и периодическом нанесении (через 10—15 циклов) разделительного состава (4%-ный

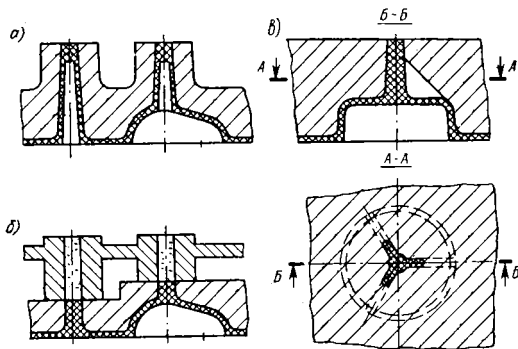


Рис. VI.16. Конструкции вдувных пробок: а — полая; б — укороченная с помощью промежуточной плиты; в — оребренная

раствор СКТ, т. е. синтетического термостойкого каучука по ВТУ 51—57, в уайт-спирите по ГОСТ 3134—52). Подготовка кокиля включает операции по прочистке вдувных отверстий, очистке кокиля от остатков частично выгоревшей облицовки и по охлаждению (нагреву) кокиля до температуры, необходимой для нанесения на него облицовки.

Прочистку вдувных отверстий проводят с помощью системы соответствующим образом расположенных штырей-толкателей. Эта операция совмещается с выталкиванием отливки из кокиля. Для уменьшения усилий выталкивания отвердевшей смеси (пробок) из вдувных отверстий последние окрашиваются (например, раствором СКТ в уайт-спирите или водным раствором талька, мела или маршалита). Эта работа облегчается, если пробки выполнены полыми (рис. VI.16, а) либо если часть вдувного отверстия образуется промежуточной плитой (рис. VI.16, б). При выталкивании пробки частично удаляется облицовка; поэтому следует располагать вдувные отверстия в зонах выступающих и углубленных частей кокиля, не соприкасающихся с расплавом (например, на стержне-

вых знаках). Если вдувные отверстия дополнительно снабдить пазами, то можно при выталкивании пробки удалить из углубления (выступа) большую часть облицовки (рис. VI.16, в). С ленточки смыкания облицовка скалывается специальным устройством, а с участков кокиля, оформляющих отливку, — обдувом сжатым воздухом.

Эффективная очистка кокиля достигается при пульсирующей подаче воздуха через сопла, расположенные над очищаемой поверхностью.

Важным условием стабилизации технологического процесса является поддержание температуры кокиля в определенных пределах. За один оборот кокиль проходит ряд последовательных изменений температуры: охлаждение в период сборки и ожидания заливки; нагрев в период охлаждения отливки в форме; охлаждение при очистке кокиля и, наконец, охлаждение до температуры, необходимой для нанесения облицовки. Наиболее существенная возможность изменения температуры кокиля сосредоточена на последней стадии. На ней кокиль охлаждается частично или полностью принудительно (особенно эффективно — путем подачи водовоздушной смеси на рабочую поверхность кокиля). Последующее охлаждение естественным путем служит выравниванию температуры кокиля по всей поверхности рабочего гнезда. Методика расчета этого режима приведена в работе [17].

Технология процесса и его механизация

Преимущества по точности и качеству поверхности при литье в облицованные кокили проявляются тем полнее, чем больше масса и габаритные размеры отливки.

Отливки, изготовленные в облицованных кокилях, по размерной точности превосходят отливки, полученные в оболочковых формах, на 2—3 качества, а полученные в прессованных песчаных формах — на 1—2 качества. Повышение точности позволяет уменьшить припуски на обработку отливок в 1,5—2 раза и в ряде случаев утонить стенки отливок на 25%.

Высокая термомеханическая прочность облицовочной смеси и общая прочность облицованного кокиля позволяют применять наиболее сложные литниковые системы и сохранять их стабильность. Проектирование и расчет литниковых систем производится так же, как для оболочковых форм или при формовке по-сырому: при заливке кокиль практически не влияет на охлаждение потока расплава.

Прибыли, как правило, применяются закрытые (верхние и боковые). Наиболее эффективны прибыли с плоским верхом и снабженные болванчиками из облицовочной смеси, которые сообщают жидкую фазу прибылей с атмосферой. Болванчик оформляется по модели прибыли при нанесении на кокиль облицовки. Расчет прибылей производится обычными методами; при этом учитываются особенности затвердевания питаемых узлов отливки. В облицованных кокилях прибыли, как правило, меньше, чем в песчаных объемных и оболочковых формах, что является следствием различных условий охлаждения прибылей и элементов отливки при локальном изменении толщины облицовки, а также повышенного противодействия предсудачному расширению чугуна со стороны облицованного кокиля как более жесткой формы.

В табл. VI.10 представлены особые виды брака отливок и меры борьбы с ними (другие виды брака и меры по их предупреждению не отличаются от обычных).

Процесс литья в облицованные кокили при крупносерийном и массовом производстве достаточно хорошо поддается комплексной механизации и автоматизации. НИИСЛом разработаны линии для вертикальной и горизонтальной заливки форм (табл. VI.11). Линии имеют аналогичные по конструкции 4-позиционные агрегаты для нанесения облицовки. Агрегаты оборудованы пескодувными головками с механическими соплами. Облицовку наносят на кокиль, горизонтально расположенный. Подробное описание линий и их отдельных механизмов приведено в работах [10; 12].

Особые виды брака отливок

Причины брака	Меры по устранению
Местный пригар	
Рыхлоты и неплотности в облицовке	Выполнение в кокиле дополнительных вентиляционных каналов преимущественно в местах встречи потоков вдуваемой смеси Ремонт оснастки Снижение температуры оснастки; проверка и отладка термостабилизирующих устройств и КИП Прочистка вдувных отверстий и сопел; замена неисправных сопел Ревизия и ремонт устройств для обезвоживания сжатого воздуха; при необходимости установка дополнительных влагоотделителей Замена облицовочной смеси в пескодувной головке Устранение нагрева стенок головки (не выше 35° С)
Повышенная осыпаемость и пониженная термостойкость облицовки	Снижение температуры оснастки; проверка и отладка термостабилизирующих устройств и КИП Сокращение продолжительности отверждения
Крупнозернистость песка облицовочной смеси	Замена смеси новой с пониженной концентрацией уротропина Переход на более мелкий песок
Песчаные раковины и засоры	
Повышенная осыпаемость и пониженная термостойкость облицовки	См. выше
Механическое повреждение облицовки при сборке формы	Регулировка плавности работы механизма сборки формы
Трещины	
Термические напряжения	Уменьшение перепадов температур между элементами отливки путем дифференцированного выбора толщины облицовки
Торможение усадки	Уменьшение продолжительности охлаждения отливки в форме; утолщение облицовки на участках торможения усадки

Автоматизированные линии литья в облицованные кокили конструкции НИИСЛА

Параметр	Модель		
	A75; A82; A83	A82M	A87
Производительность цикловая, цикл/ч	45	45	50
Габаритные размеры кокиля, мм	1000×1000× ×200/200	1000×1000× ×200/200	1300×700× ×250/250
Положение кокиля при заливке	Горизонтальное		Вертикальное
Количество кокилей на линии, шт.	15—17	24—26	28
Количество позиций агрегата для нанесения облицовки, шт.	4	4	4
Емкость ковша заливочной машины, кг	350	350	600
Количество позиций заливочной машины, шт.	2	2	2
Продолжительность охлаждения обычно изготовляемых отливок в форме, с	100—150	500—600	360—380
Количество обслуживающих рабочих, чел.	8	8	9

3. ЦЕНТРОБЕЖНОЕ ЛИТЬЕ

Центробежным методом получают фасонные отливки произвольной конфигурации и отливки полых тел вращения (втулки, маслоот, кольца, фланцы, трубы * и т. д.).

Центробежное литье обладает следующими преимуществами: плотная структура и высокие механические свойства отливок; рафинирование жидкого металла от газовых и неметаллических включений; повышенная заполняемость форм и возможность получения отливок из сплавов с пониженной жидкотекучестью; возможность получения полых отливок без применения стержней; повышенный выход годного металла ввиду отсутствия литников и прибылей или, при получении фасонных отливок, снижения массы литниковой системы и прибылей. К недостаткам способа относятся: ограничение габаритных размеров и массы получаемых фасонных отливок; малая точность диаметра полости, образуемой свободной поверхностью отливки; низкая чистота свободной поверхности отливок; трудность получения качественных отливок из ликвирующих сплавов.

Изготовление фасонных отливок

Для получения фасонных изделий применяют центробежные машины с вертикальной и значительно реже с горизонтальной осью вращения. Формы могут быть металлическими, песчано-глинистыми, стержневыми, керамическими и др. Конструкции форм могут быть различны. В простейшем случае форма имеет горизонтальную плоскость разъема (рис. VI.17) и центральное заливочное отверстие, под которым находится полость — металлоприемник. Рабочие гнезда

* Литье напорных труб рассматривается отдельно в гл. VII.

формы (не менее двух) располагаются по периферии и соединяются с металлоприемником литниковыми каналами. При получении мелких (до 0,2—0,3 кг) отливок на вращающемся столе может устанавливаться соосно со шпинделем машины одна многогнездная стопочная форма (рис. VI.18). В других вариантах вокруг общего металлоприемника с равномерным шагом по окружности устанавливают несколько форм, каждая из которых может быть одно- или многогнездной. Заливка самых мелких, сложнопрофильных отливок производится на специальных машинах, где плавильно-заливочный агрегат и литейная форма образуют единую систему. На каждом плече коромысла 1, имеющего вертикальную ось вращения $O-O$, в положении, показанном на рис. VI.19, фиксируется высокочастотная печь 2 с тиглем 3 емкостью 2 кг чугуна или стали. В тигель загружают шихту, после чего на печь устанавливают и прочно с ней стягивают подготовленную к заливке форму 4, изготовленную по выплавляемым моделям. Затем включают индуктор и приводят коромысло во вращение вокруг оси $O-O$. После достижения требуемого числа оборотов система печь—форма поворачивается вокруг оси 5 по часовой стрелке и занимает положение, показанное на рисунке штриховой линией. Расплавленный к этому времени металл под действием центробежных сил заполняет литейную форму. Заполнение вращающейся

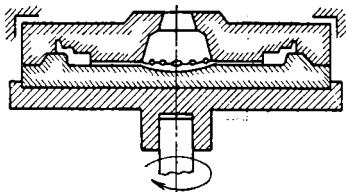


Рис. VI.17. Схема стержневой формы для центробежного литья вокруг вертикальной оси вращения

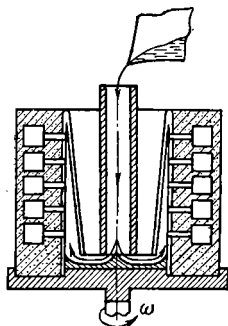


Рис. VI.18. Схема многогнездной стопочной формы для литья мелких фасонных отливок на вращающемся столе

формы сопровождается некоторыми явлениями, затрудняющими получение качественных отливок. Первое из них состоит в том, что, попадая в металлоприемник (рис. VI.20), металл вначале обладает нулевой угловой скоростью и лишь постепенно вовлекается во вращательное движение. При этом он движется относительно стенок металлоприемника в сторону, противоположную вращению, и, проскальзывая мимо отверстий литниковых каналов, не попадает или почти не попадает в литники. Второе явление обусловлено действием на частицу металла, попавшего в литниковый канал, двух сил — Кориолиса и центробежной. Поступая в литник в ограниченном количестве, металл под действием этих сил движется в радиальном направлении ускоренно, струя его утончается и при значительной длине канала распадается на отдельные капли. Заполнение рабочих гнезд охлажденным и сильно окисленным металлом при этом протекает замедленно, что не обеспечивает получения качественных отливок даже в песчаных формах. Заполняемость же металлических форм в силу указанных причин оказывается настолько плохой, что рабочие гнезда, как правило, заливаются металлом лишь частично. Отмеченные явления служат причинами многочисленных неудач в попытках перевода фасонных отливок на центробежное литье.

Эти явления устраняются или существенно ослабляются соответствующим конструированием формы. Необходимым условием для нормального поступления металла в литниковые каналы должно быть его предварительное раскручивание в центральной части формы, что достигается различными путями. В схеме

(рис. VI.18) металл вначале скапливается в донной части формы, где и приводится во вращение. Только во вращающемся металле возникают центробежные силы, под действием которых он поднимается по вертикальной стенке формы и заполняет ее рабочие полости. Этот прием оказывается эффективным для стержневых и керамических форм. Другой прием практически полностью устраняет относительное скольжение металла, причем входные отверстия литниковых каналов заполняются целиком, что обеспечивает получение качественных отливок и в металлических формах. В этом случае боковая стенка металлоприемника описывается несколькими (по числу литников) дугами переменной кривизны (см. рис. VI.21). Каждая из дуг сопрягается с передней (по вращению) стенкой

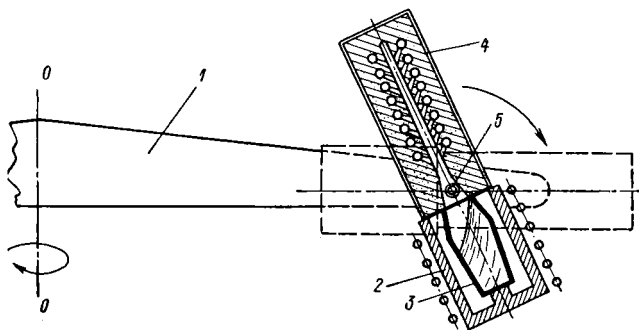


Рис. VI.19. Схема центробежной установки для литья мелких фасонных сложно-профильных отливок

литникового канала и образует некое подобие ковша. Заливаемый в центральную полость металл непрерывно захватывается «ковшом» и принудительно вовлекается в литниковый канал.

Литниковые каналы должны выполняться криволинейными, изогнутыми в сторону, противоположную вращению (см. рис. VI.21). Теоретическая форма канала должна соответствовать траекторин относительного движения капли, свободно скользящей по вращающейся горизонтальной плоскости. При правильно подобранной кривизне металл по каналам движется, не испытывая ускорения Кориолиса. Его окружная скорость остается неизменной, что предопределяет и постоянную скорость течения вдоль канала, равную скорости поступления металла из металлоприемника. При таком течении предотвращаются разрывы струи, окисление металла и захват газов.

Иногда, например при получении форм по выплавляемым моделям, изготовление криволинейного канала оказывается затруднительным. Тогда канал может быть прямолинейным, но должен отклоняться в сторону, противоположную вращению, как показано на рис. VI.22 штриховой линией. Если ось прямолинейного канала по отношению к криволинейному оказывается спрямляющей линией, то действующие на металл силы Кориолиса создаются небольшими по значению и переменными по направлению (окружная скорость движущейся по каналу жидкости попеременно возрастает и убывает). Такие возмущающие силы, благодаря инерционным свойствам тяжелой жидкости, мало влияют на механизм ее течения и заметно не снижают качества получаемых отливок.

При центробежном литье к прочности и плотности форм предъявляются повышенные требования, поскольку форма подвергается собственной центробежной силе, ударному действию струй металла, центробежному давлению металла

на стенки формы, вибрации. По этим причинам для центробежного литья фасонных изделий используются песчано-глинистые формы только сухие. Более широкое применение имеют формы, выполненные из стержневых смесей, где в качестве связующих применяют жидкое стекло (модуль 2,0—2,5), цемент марки 500, органические крепители. Стержневые формы так же, как и стержни, устанавливаемые в них для получе-

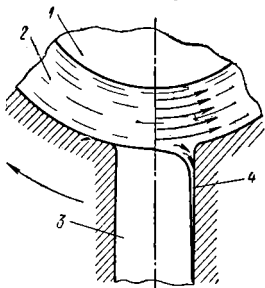


Рис. VI.20. Схема движения жидкого металла при поступлении из металлоприемника в радиальный канал:

1 — металлоприемник; 2 — слой жидкого металла, скользящего вдоль стенки металлоприемника; 3 — радиальный литниковый канал; 4 — струя металла, движущаяся вдоль задней (по вращению) стенки канала

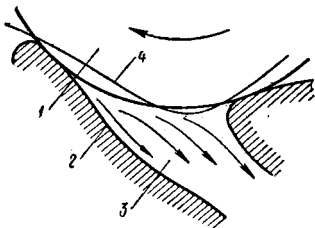


Рис. VI.21. Входное отверстие литникового канала ковшеобразной формы:

1 — металлоприемник; 2 — передняя (по вращению) стенка литникового канала; 3 — полость литникового канала; 4 — поверхность жидкого металла в металлоприемнике

ния полостей в отливках, должны окрашиваться или натираться графито-масляной пастой. Прочность материала форм должна быть не ниже 12—15 кгс/см² [(12÷15) 10⁸ Па]. Металлическую укрепляющую арматуру в данном случае применять не рекомендуется из-за вызываемого ею дисбаланса форм.

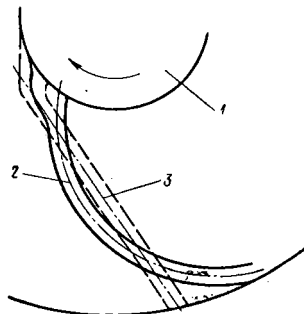


Рис. VI.22. Разновидности литниковых каналов в форме:

1 — металлоприемник; 2 — криволинейный канал; 3 — прямолинейный канал

Основная причина пригара и разрыва форм при центробежном литье фасонных отливок — ударное действие струи металла, поступающего из литниковой системы. Из этих соображений литниковую систему целесообразно делать сифонной. При изготовлении крупных отливок нежелательное ускорение и раздробление струи может возникнуть непосредственно в рабочей полости формы. В этих условиях хорошие результаты дает заливка в медленно вращающуюся или даже в неподвижную форму. По окончании или в процессе заливки частоту вращения формы увеличивают до номинальной и поддерживают неизменной до окончания затвердевания отливки.

При центробежном литье нельзя применять песочную засыпку форм, полученных по выплавляемым моделям. Собранные и обмазанные керамикой блоки формуют в цилиндрических опоках жидкоподвижными наполнительными смесями или заливают песчано-гипсовой смесью в объеме соотношении 2 : 1.

При изготовлении фасонных отливок центробежные силы используются для достижения различных целей: улучшения заполнения форм; уменьшения шероховатости поверхности отливок; эффективности питания и др. Достижение каждой из них обусловлено разными физическими явлениями; поэтому разработка общей расчетной методики для определения частоты вращения формы оказывается крайне затруднительной. Для приближенного определения необходимой частоты вращения при использовании разовых форм можно пользоваться формулой, определяющей число оборотов в минуту в зависимости от допустимого давления жидкого металла в форме

$$n = 423 \sqrt{\frac{\rho}{\gamma (r^2 - r_0^2)}}, \quad (VI.14)$$

где ρ — допустимое давление металла в форме (гс/см^2); γ — плотность металла, г/см^3 ; r — радиус вращения рассматриваемой точки металла, см; r_0 — радиус свободной поверхности металла, см. Величина ρ в форме может принимать значения: 0,3—0,4 для песчано-глинистых сухих окрашенных форм; 0,4—0,6 для форм, изготовленных из стержневых смесей; 0,6—0,8 для керамических форм.

Изготовление полых цилиндрических отливок общего назначения

Полые цилиндрические изделия и заготовки отливаются во вращающихся формах в самом широком ассортименте, массой от сотен граммов до сотен килограммов. Ось вращения при заливке может быть горизонтальной и вертикальной. В отдельных случаях используется ось наклонная или изменяющая свое направление в пространстве в процессе получения отливки.

Способ вращения вокруг горизонтальной оси более универсален; получаемые в этом случае отливки не имеют ни осевой, ни радиальной разностенности. Это позволяет при надлежащей частоте вращения получать отливки правильной геометрической формы достаточно большой длины. При вертикальной оси вращения свободная поверхность отливки оказывается параболической. Геометрическая форма параболоида вращения (рис. VI.23) выражается уравнением

$$y = 0,056 (n/100)^2 x^2, \quad (VI.15)$$

где n — число оборотов формы в минуту; x, y — текущие координаты, см.

Из рис. VI.23 следует, что при вертикальной оси отливка получается с осевой разностенностью κ тем более значительной, чем больше h отливки. По этой причине способ вращения вокруг вертикальной оси получают преимущественно отливки небольшой высоты, ограниченные соотношением размеров $d : h \geq 1$ (см. рис. VI.23). Размер (см) осевой разностенности (см. рис. VI.23) вычисляется по формуле

$$\kappa = x_1^2 - \sqrt{x_1^2 - \frac{17,9h}{(n/100)^2}}. \quad (VI.16)$$

Эффективность действия центробежных сил оценивается с помощью гравитационного коэффициента $G = \omega^2 r / g$, представляющего отношение центростремительного ускорения к ускорению силы тяжести в рассматриваемой точке вращающейся жидкости. Коэффициент G показывает, во сколько раз металл утяжеляется при данном режиме вращения.

Пропорционально гравитационному коэффициенту утяжеляются и все включения в металле, отличные от него по плотности, что приводит к рафинированию жидкого металла. При этом газы и неметаллические включения всплывают на свободную поверхность отливки, тяжелые частицы отбрасываются к периферии. Сказанное не относится к твердым частицам, соприкасающимся со стенкой формы. Такие частицы испытывают одностороннее давление металла и, как правило, не имеют шансов всплыть на свободную поверхность. На этом явлении

основано применение сыпучих теплоизоляционных покрытий для металлических форм.

С утяжелением связана и сама возможность получения качественной центробежной отливки без литников и приливов. Центробежные силы способствуют конвекции остывающего жидкого металла в радиальном направлении и вызывают его направленное затвердевание от периферии к центру. При достаточной плотности сил затвердевание отливки становится полностью направленным. Свободная поверхность затвердевает последней и остается геометрически правильной (рис. VI.24). При таком затвердевании усадочная раковина не образуется. Жидкая усадка и усадка затвердевания приводят лишь к некоторому увеличению

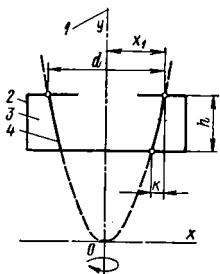


Рис. VI.23. Схема формирования свободной поверхности и осевой разностенности отливки:

1 — ось вращения; 2 — форма; 3 — отливка; 4 — свободная поверхность отливки

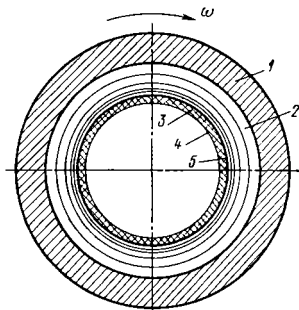


Рис. VI.24. Схема затвердевания и формирования усадочной раковины в центробежной отливке:

1 — форма; 2 — отливка; 3 — кольцевая усадочная раковина; 4 — свободная поверхность жидкого металла; 5 — свободная поверхность затвердевшей отливки

полости отливки (заштрихованный объем на рисунке). Наконец, с утяжелением связано и наблюдаемое при центробежном литье отрицательное явление — ликвация компонентов сплава, различных по плотности.

Для получения качественной отливки необходимо, чтобы коэффициент G на свободной поверхности имел значения: для тяжелых сплавов в пределах 35—60 и для легких 70—120. Отсюда, в частности, следует, что при вертикальной оси вращения качественными могут быть получены отливки только со сквозной полостью. Отливку с односторонне открытой полостью получить невозможно, так как при любой конечной частоте вращения $G = 0$ в вершине параболоида (рис. VI.23), и в этом месте образуется внешняя усадочная раковина.

Давление (гс/см^2) в произвольной точке вращающегося металла рассчитывают по формуле

$$p = \frac{\gamma \omega^2}{2g} (r^2 - r_0^2). \quad (\text{VI.17})$$

Основной вопрос при конструировании центробежных машин и разработке технологии — определение частоты вращения формы. Для расчета числа оборотов при изготовлении полых отливок общего назначения одной из употребительных является формула

$$n = \frac{5520}{\sqrt{\gamma r_0}}. \quad (\text{VI.18})$$

В формуле (VI.18) не учитываются наружные размеры отливки по тем соображениям, что при достаточном утяжелении металла на внутренней поверхности отливки на большем расстоянии от оси вращения оно будет тем более значительно. Однако созданное в этих условиях поле центробежных сил не гарантирует качества получаемой отливки во всех случаях. Если отливка очень толстостенная (отношение наружного радиуса к внутреннему $R : r_0$ велико), то на наружной ее поверхности центробежные силы могут оказаться столь большими, что вызовут появление продольных трещин или других дефектов, характерных для повышенной скорости вращения. Формула (VI.18) дает надежные результаты, если отношение $R : r_0 \leq 3$. Указанное ограничение в отношении геометрических размеров отливки касается не только формулы (VI.18), но и всякой другой того же назначения. Так как центробежная сила увеличивается с радиусом вращения, то при изготовлении толстостенной отливки условия создания оптимального утяжеления металла на ее наружной и внутренней поверхности оказываются несовместимыми. При одном и том же числе оборотов на наружной поверхности такой отливки могут наблюдаться продольные разрывы, свидетельствующие о чрезмерной величине центробежных сил, на свободной же ее поверхности — дефекты, характерные для заниженной частоты вращения.

При получении центробежных отливок в футерованной форме, в особенности сырой, приобретает большое значение вопрос о допустимом давлении жидкого металла на форму. В этом случае следует для расчета частоты вращения пользоваться формулой (VI.14).

Литье заготовок под слоем флюса *

Изготовление центробежным способом сравнительно толстостенных заготовок полых тел вращения из любых сплавов, в том числе гильз из СЧ, сопряжено с определенными трудностями. Главная из них — нарушение нормального для центробежного литья одностороннего затвердевания отливки в радиальном направлении. В толстостенной отливке продвижение фронта кристаллизации от наружной поверхности сильно замедляется, в то время как потери теплоты со свободной поверхности остаются значительными. В этих условиях на свободной поверхности возникает сплошная корка твердых кристаллов, и дальнейшая кристаллизация отливки становится двусторонней. Два движущихся навстречу фронта кристаллизации смыкаются внутри стенки отливки. При этом усадочные пустоты и неметаллические включения сосредотачиваются также внутри металла, и отливка утрачивает свою плотность, являющуюся одним из преимуществ центробежного литья.

Мероприятия по устранению дефекта сводятся к уменьшению потерь теплоты со свободной поверхности и предотвращению на ней преждевременной кристаллизации металла. Наиболее действенной из таких мер служит покрытие внутренней поверхности залитого в форму металла слоем жидкого шлака. Шлак устраняет контакт свободной поверхности с циркулирующим в полости воздухом и, обладая малой теплопроводностью, сам служит надежным теплоизолятором.

При эффективной теплоизоляции изнутри отливка затвердевает нормально, с односторонним движением фронта кристаллизации.

Использование жидкого шлака возможно путем последовательной заливки флюса и металла или металла и флюса и подачи флюса на струю металла при его заливке в форму, причем последний способ, как показали работы ИГЛ, является наиболее эффективным.

Использование жидкого шлака позволяет решить и вторую важную задачу — рафинирование жидкого сплава от газовых и неметаллических включений. Для этой цели шлак должен обладать рядом специальных свойств: температура плавления шлака должна быть ниже, чем у металла; шлак должен быть инертным к легирующим элементам сплава и обладать высокой жидкотекучестью; должен обладать высокой рафинирующей способностью по отношению к неметалличе-

* Метод разработан в последнее время в ИГЛ АН УССР А. И. Семененко под руководством акад. В. А. Ефимова.

ским включениям, в частности при заливке в форму чугуна, к сульфидным и шлаковым включениям; при смешении с жидким сплавом шлак должен хорошо в нем диспергироваться и затем интенсивно всплывать на свободную поверхность формирующейся отливки.

Шлак, образующийся в плавильной печи при выплавке того или иного сплава, не обладает совокупностью перечисленных свойств. Поэтому для рафинирования выплавляют специальные синтетические флюсы, химический состав каждого из которых соответствует характеристике и марке обрабатываемого металлического сплава. В частности, для чугуна (применительно к отливкам тракторных и комбайновых гильз) рекомендуют флюс следующего химического состава (массовые доли): 28,1% SiO_2 ; 4,3% CaO ; 1,1% MnO ; 16,3% Al_2O_3 ; 19,1% NaO ; 2,1% FeO ; 28,3% CaF_2 ; $t_{\text{пл}} = 1000^\circ \text{C}$. Флюс выплавляют и перегревают на 50—100° С выше температуры заливаемого сплава в специальной электропечи. В перегретом состоянии флюс подают на струю чугуна, заливаемого во вращающуюся форму. Форма при этом вращается с пониженной скоростью, чтобы заполнение ее металлом происходило в режиме дождевания. Флюс в турбулентном потоке диспергируется и активно рафинирует металл от неметаллических включений. Затем частоту вращения увеличивают до номинальной, при которой металл освобождается от частиц флюса и затвердевает.

Для массового производства, где печная обработка флюсов вызывает организационные трудности, разработана другая технология, основанная на применении экзотермических смесей. Смесью гранулируют и с помощью специального устройства засыпают на струю чугуна, заливаемого в форму. При этом смесь возгорается и образует флюс, достигающий температуры 1400° С. Далее процесс рафинирования протекает, как и в первом варианте. Состав экзотермической смеси: 12% алюминиевого порошка; 8% силикокальция; 20% немагнитной фракции стального порошка; 14% селитры натриевой; 20% силикат-глыбы; 26% плавикового шпата. Температура воспламенения смеси 450° С. Оптимальное количество экзотермической смеси 1,5% от массы рафинируемого чугуна.

Химический состав экзотермического флюса после его тепловой обработки в контакте с жидким чугуном оказывается тождественным вышеописанному жидкому флюсу. Идентичными остаются и результаты действия обоих флюсов.

Машины для центробежного литья и особенности технологического процесса

Для изготовления полых тел вращения применяются машины с горизонтальной осью вращения (шпиндельные и роликовые) и с вертикальной осью. На рис. VI.25 представлена принципиальная схема шпиндельной машины. Металлическая форма 1 непосредственно или с помощью планшайбы 2 жестко соединена со шпинделем 3, закрепленным в подшипниках 4. Подшипники смонтированы на станине 5. Форма закрывается крышкой 6, приводится во вращение и заливается металлом с помощью приспособления 7. Эти машины производительны, просты и надежны в эксплуатации, почти бесшумны. Однако они не пригодны для изготовления крупных отливок. Вследствие возникновения усадочного зазора наблюдается биеение крупных отливок в форме, и образующийся дисбаланс выводит из строя подшипники. Для отливки массой более 150—200 кг используют роликовые машины (рис. VI.26). Форма 3 своими беговыми дорожками 2 лежит на четырех роликах 6, два из которых приводные и два опорные. Форма имеет третью дорожку 5 и прижимной ролик 4, страхующий ее от сбега с опорных роликов. Форма закрывается двумя крышками 1, что позволяет в случае необходимости производить заливку из двух ковшей. Машины надежно работают при изготовлении отливок любого крупного размера.

Установка на ролики формы иного диаметра автоматически вызывает изменение передаточного числа, причем у формы с большим диаметром обороты снижаются, а с меньшим — повышаются, что соответствует теории и практике центробежного литья. Это обстоятельство позволяет создавать роликовые машины упрощенными без редукторов. К отрицательным моментам относятся сложность переналадки при переходе на формы других длины и диаметра и повышенный шум машины в работе.

Машина с вертикальной осью вращения отличается от горизонтальной шпиндельной только иным расположением в пространстве своих исполнительных органов. Она имеет те же детали и узлы и в специальном описании не нуждается. По сравнению с горизонтальной эта машина менее универсальна, поскольку приспособлена лишь для изготовления отливок небольшой высоты. Однако в случаях, когда номенклатура изделий ограничивается невысокими отливками,

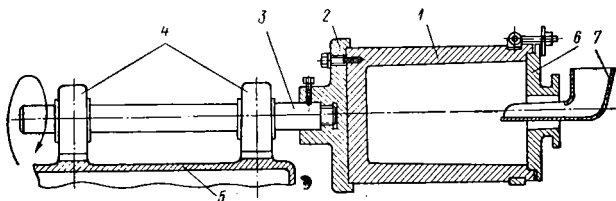


Рис. VI.25. Схема шпиндельной центробежной машины с горизонтальной осью вращения

машина с вертикальной осью предпочтительна. Она занимает в цехе меньшую площадь, поскольку станина, привод и все другие узлы, кроме формы, располагаются в кессоне, под полом цеха.

Формы для центробежного литья полых тел вращения применяют чугунные и стальные. Рабочая поверхность форм может покрываться защитными красками, составы которых идентичны краскам, используемым при кокильном литье чугунных отливок. Назначение красок — предохранение формы от теплового удара

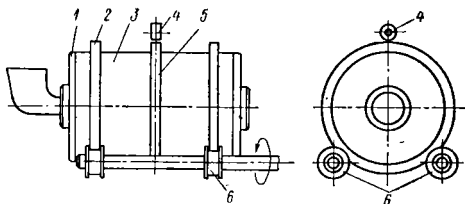


Рис. VI.26. Схема роликовой центробежной машины с горизонтальной осью вращения

и предотвращение получаемых отливок от поверхностного отбела. С этими же целями используются сыпучие покрытия, например кварцевый песок. Засыпка ведется во вращающуюся форму специальным желобом: покрытие ложится на цилиндрическую стенку равномерным слоем и удерживается на ней центробежными силами. Способ имеет недостатки: им можно пользоваться только при горизонтальной оси вращения формы; покрытие не защищает торцевые стенки отливки. Однако, благодаря своей технологичности, способ широко применяется, например, при изготовлении автомобильных гильз для ремонтных работ. Заготовка при этом делается на 20 мм длиннее, и ее отбеленные торцы затем отрезаются. Аналогичным образом наносятся покрытия на основе термореактивных смол или активные покрытия для поверхностного модифицирования: высокопроцентный ФС, СК, алюминиевая пудра и др.

Отливки со сложной наружной поверхностью, например двухбортные тракторные гнлзы, не могут быть извлечены из неразъемной металлической формы. Тогда применяют толстостенную футеровку из формовочной смеси или выкладывают форму стержнями. В том и другом случае в металлической форме должны просверливаться отверстия для удаления газов из формовочных материалов. Внутренняя поверхность форм для облегчения извлечения отливок или облицовочных формовочных материалов должна выполняться с литейным уклоном.

Центробежное литье, основанное на вращении расплавленного металла, является производством повышенной опасности для обслуживающего персонала. В связи с этим предусматриваются обязательные меры техники безопасности при работе на центробежных машинах: применение защитного кожуха для предохранения от ожогов при случайном выбросе металла из формы и тщательная балансировка вращающихся частей машины.

4. НЕПРЕРЫВНОЕ ЛИТЬЕ

Особенности установок

В настоящее время запатентовано большое количество установок, устройств и модификаций способов непрерывного литья [3, 18]. Принципиальная схема процесса горизонтального непрерывного литья показана на рис. VI.27. Расплав, залитый в металлоприемник, заполняет водоохлаждаемый кристаллизатор (K_3), где затвердевает в заготовку, наружный профиль которой соответствует геометрии K_3 . С помощью тянущего устройства заготовка непрерывно вытягивается.

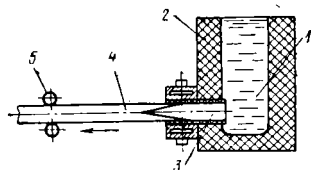


Рис. VI.27. Принципиальная схема непрерывного литья:

1 — расплав; 2 — металлоприемник; 3 — водоохлаждаемый кристаллизатор; 4 — отливаемая заготовка; 5 — тянущее устройство

Одновременно под действием ферростатического напора K_3 заполняется свежими порциями расплава. Таким образом процесс литья протекает непрерывно. Известны установки с вертикальным и горизонтальным расположением K_3 , причем последние имеют следующие преимущества: а) отсутствие открытого зеркала металла в K_3 (в отличие от вертикальных установок) существенно уменьшает окисление чугуна, а наличие металлоприемника устраняет отрицательное действие турбулентных потоков заливаемого металла и способствует сепарации неметаллических включений; металлоприемник как бы играет роль некристаллизующейся постоянно действующей прибыли; благодаря этому конечный продукт характеризуется повышенными чистотой, плотностью, хорошим качеством поверхности и лучшими механическими свойствами; б) установки удобней в эксплуатации, для их монтажа не требуются значительные капитальные вложения, так как отпадает необходимость в сооружении колодцев и дополнительных металлоконструкций.

Линия непрерывного горизонтального литья конструкции НИИСЛа состоит из агрегата кристаллизации, тянущей клети, надрезного устройства и агрегата обломки. Линия также оборудована камерой охлаждения, укрытием и системой направляющих и прижимных роликов. Агрегат представляет собой каналный индукционный миксер, на передней стороне которого закрепляется K_3 . Крышка миксера снабжена газовой горелкой для обогрева зеркала расплава. Для слива металла в миксере предусмотрены лотки с желобом, а также механизм поворота. Кристаллизатор K_3 состоит из металлического водоохлаждаемого корпуса и собственно K_3 , изготовляемого из графита. Применение индукционного миксера обеспечивает постоянство температуры металла, что существенно для процесса непрерывного литья, особенно при получении заготовок сложного профиля и с малой площадью поперечного сечения. Смену K_3 можно производить при работающем

индукционным миксере. Все технологические операции в линии автоматизированы. Линия обслуживается двумя рабочими и предназначена для непрерывной работы.

При первоначальном запуске либо при переходе на литье заготовок другого профиля устанавливается K_3 , в который вводится затравка с пробкой, закрывающей полость K_3 . Затравка соединяется со штангой, зажатой в роликах тянущей клетки. После затвердевания первой порции металла в K_3 включается привод тянущей клетки, и начинается процесс вытягивания заготовки. Линия может быть использована для литья заготовок из любого чугуна. Методом непрерывного литья можно получать заготовки неограниченной длины разнообразного профиля. Стабильность и производительность непрерывного литья определяются рядом факторов, важнейшими из которых являются: температурные параметры процесса; материал, конструкция и теплопроводящая способность K_3 ; режимы вытяжки заготовки. Температура металла зависит от его химического состава и от сечения заготовки и должна быть в пределах 1180—1250° С. При более высоких температурах снижается производительность процесса, так как увеличивается время; необходимое для снятия перегрева металла в K_3 . Значительное снижение температуры металла вызывает его затвердевание вне рабочей части K_3 , что приводит к нарушению процесса литья и разрыву заготовки.

На выходе из K_3 заготовка состоит из поверхностной закристаллизовавшейся оболочки и жидкой сердцевины, располагающейся конусообразно, причем температура поверхности заготовки при установившемся процессе находится в пределах 850—1050° С и при прочих равных условиях определяется скоростью вытягивания заготовки, причем $t = 1050^\circ \text{С}$ является критической, так как при значительном ферростатическом напоре в K_3 и жидкой сердцевине заготовки возможны значительный нагрев ее за счет внутреннего тепла и проплавление затвердевшей корочки с разрывом заготовки. Дальнейшее охлаждение заготовки на воздухе может быть искусственно ускорено обдувкой воздухом, водовоздушной смесью или иными средствами. Однако интенсивное охлаждение, как правило, нежелательно; оно вызывает дополнительные напряжения и может привести к короблению заготовок, образованию трещин.

Кристаллизаторы для непрерывного горизонтального литья применяются графитовые, так как графит лучше других материалов отвечает требованиям технологии непрерывного литья: он обладает высокими теплопроводностью и термостойкостью, достаточной прочностью при высоких температурах и низким значением α . Одновременно с этим графит плохо смачивается расплавленным металлом, и изготовленные из него K_3 не требуют смазки. Стойкость K_3 определяется главным образом качеством графита, чистотой обработки его рабочей поверхности, но также зависит от условий эксплуатации, профиля заготовки и составляет от нескольких до десятков часов. Из отечественных марок для изготовления K_3 пригоден графит марки МГ1.

Технология процесса

Режимы вытяжки в промышленных установках преимущественно являются прерывистыми, т. е. вытягивание монотонно чередуется с остановкой. Принципиальная схема затвердевания представляется в следующем виде [4]. В начальный момент затвердевания заготовка стягивается с поверхности K_3 и, передвигаясь в процессе вытягивания, последовательно освобождает участок, протяженность которого равна шагу вытягивания. На освобождающийся участок K_3 поступают свежие порции расплава, и идет последовательный процесс намораживания корочки — оболочки отливаемой заготовки. Одновременно с этим нарастает слой на передвигающейся заготовке. Во время остановки образовавшаяся по периметру корочка стыкуется с вытягиваемой заготовкой и при последующем цикле стягивается с K_3 . Далее циклы непрерывного литья повторяются. По другой гипотезе [22], в K_3 имеется зона небольшой протяженности, отдаленная от выходного сечения K_3 , в которой начинается процесс затвердевания с образованием корочки по всему периметру K_3 . В каждый начальный момент вытягивания происходит отрыв формирующейся заготовки от корочки, образующейся в указанной зоне.

На поверхности заготовок, получаемых непрерывным литьем, имеются характерные следы, являющиеся следствием процесса прерывистого вытягивания. Расстояние между этими участками соответствует шагу вытягивания.

Выбор оптимальных параметров литья зависит от многих факторов: химического состава чугуна, его жидкотекучести и температуры, допустимой скорости теплоотвода, площади поперечного сечения и соотношения размеров заготовки в сечении. В связи с этим в линиях непрерывного литья, предназначенных для производства различных по сечению заготовок из разных марок чугуна, предусмотрен широкий диапазон настройки основных технологических параметров: продолжительность вытягивания 1—10 с; продолжительность остановки 2—20 с; скорость вытягивания 0,2—2,0 м/мин.

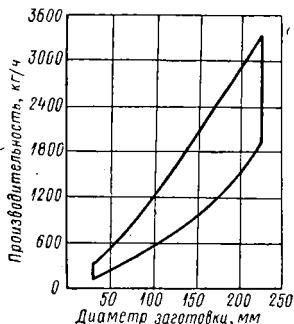


Рис. VI.28. Зависимость производительности процесса непрерывного литья от диаметра заготовки

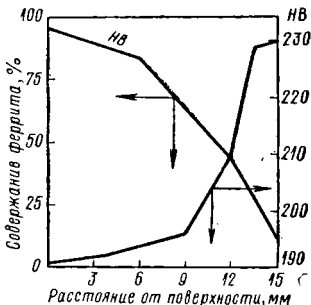


Рис. VI.29. Изменение содержания феррита и твердости в СЧ по сечению круглой заготовки диаметром 30 мм

Производительность установок непрерывного литья определяется площадью и соотношением размеров поперечного сечения заготовки. С увеличением условного диаметра заготовки производительность по массе существенно возрастает. Низкая производительность при малых сечениях компенсируется применением многоручьевых установок. Представление о производительности установки непрерывного литья дает график (рис. VI.28).

Процесс затвердевания заготовок и формирования их структуры в значительной мере предопределяется постоянным давлением расплава, находящегося в миксере-металлоприемнике, и большой скоростью теплоотвода. В соответствии с этим заготовки, полученные непрерывным литьем, не имеют дефектов, характерных для традиционных методов литья. Изломы характеризуются плотной структурой мелкокристаллического строения. При соблюдении параметров литья отсутствуют пористость, газовые раковины, засоры, шлаковые включения и другие литейные дефекты. Поверхность заготовок — гладкая, без пригара. Эти преимущества литья в сочетании с непрерывностью процесса позволяют достигать выхода годного литья более 90%, что недостижимо другими методами литья. Из-за повышенной скорости охлаждения поверхностной зоны заготовки в K_2 и последующего разогрева ее после выхода из K_2 за счет тепла, аккумулированного во внутренней жидкой зоне заготовки, периферийная часть металла имеет тенденцию приобретать ферритную структуру с «точечным» графитом, в результате чего твердость чугуна оказывается весьма неравномерной по сечению (рис. VI.29). Однако микролегирование чугуна оловом или сурьмой позволяет значительно уменьшить эту структурную неоднородность. Эффективным средством в этом отношении является также модифицирование, но живучесть модифицирующего действия при-

садок должна быть достаточно большой. Вследствие того, что установки непрерывного литья оснащены гибкой системой управления параметрами процесса, имеется возможность влиять на характер формируемой структуры выбором оптимальных параметров.

Сравнительные испытания показывают, что механические свойства СЧ, отлитого непрерывным литьем, выше, чем у заготовок, отливаемых в разовые формы из чугуна того же состава; в частности, установлено, что непрерывное литье обеспечивает равномерное распределение ФЭ, что существенно для отливок, работающих на износ. Заготовки из ВЧШГ с феррито-перлитной структурой характеризуются следующими показателями: $\sigma_B = 55 + 60 \text{ кгс/мм}^2 [(55 + 60) 10^7 \text{ Па}]$; $\delta = 9 + 13\%$; *НВ* 197—207.

Варьирование параметрами литья в комплексе с легированием, модифицированием и термической обработкой позволяет получать изделия повышенного качества с широким диапазоном заданных свойств. Отсутствие дефектов в заготовках непрерывного литья по всему сечению позволяет уменьшить припуски на механическую обработку и обеспечивает более экономное использование металла. Это преимущество особенно проявляется на заготовках большой протяженности. По данным [9], механическая обработка деталей облегчается; повышаются скорости резания, и увеличивается подача при обтачивании, сверлении и фрезеровании. В результате снижаются расходы на механическую обработку.

В настоящее время методом непрерывного литья изготавливают сотни наименований заготовок различного профиля, в том числе круглые диаметром от 10—15 до 400 мм, квадратные, прямоугольные и многогранные заготовки с различным соотношением размеров, трубы и втулки диаметром от 50 до 300 мм. Методом непрерывного литья отливают штанги, направляющие станков, корпуса подшипников, планки, плиты, заготовки для реек, шестерен, крышек, корпуса гидро- и пневмоаппаратуры и ряд других деталей для многих отраслей промышленности.

Высокое качество получаемых заготовок, уменьшенные припуски на механическую обработку, существенное повышение выхода годного литья, возможность получения заготовок неограниченной протяженности, малые производственные площади, необходимые для установки оборудования, и степень автоматизации процесса при небольшом количестве обслуживающего персонала и хороших условиях труда являются основой для дальнейшего развития и расширения производства заготовок прогрессивным методом непрерывного литья.

5. ЛИТЬЕ В МАГНИТНЫЕ ФОРМЫ

Магнитные формы применяют, как правило, для изготовления отливок по газифицируемым моделям*. Пенополистироловую модель помещают в опоку-контейнер и засыпают ферромагнитным материалом (стальной или чугунной дробью). Форму уплотняют вибрацией, а затем упрочняют с помощью постоянного магнитного поля, под действием которого частицы материала связываются в единое целое.

В процессе заливки расплав газифицирует пенополистироловую модель и заполняет образовавшуюся полость. После снятия магнитного поля форма разупрочняется, и формовочный материал высыпается из опоки. Значение магнитной индукции, необходимое для упрочнения магнитных форм и определяемое путем решения уравнений предельного равновесия на основе законов механики грунтов [6] для тех частей формы, которые наиболее подвержены разрушающим воздействиям, обычно не превышает 1000 Гс (0,1 Т).

В качестве формовочных смесей для магнитных форм используют материалы, выпускаемые промышленностью для очистки отливок: дробь стальную колотую и литую (ДСК и ДСЛ), чугунную колотую и литую (ДЧК и ДЧЛ по ГОСТ 11964—66) размером от 0,5 до 1 мм.

Контроль заданной прочности магнитных форм осуществляют измерением твердости, с помощью твердомеров с диаметром шарика не менее 10 мм. Детали

* Возможно также пользование обычными моделями из неферромагнитных материалов, но такая технология применяется редко.

твердомера должны быть изготовлены из немагнитного материала. Значения твердостей для ряда материалов в зависимости от магнитной индукции приведены на рис. VI.30. Нагрев ферромагнитных формовочных материалов до 600 °С не оказывает влияния на их *HВ*, а при дальнейшем нагревании *HВ* резко падает по мере приближения температуры к точке Кюри.

Слой намагниченного формовочного материала, прилегающие к чугуниной отливке, нагреваются выше точки Кюри и, следовательно, разупрочняются. Однако это не приводит к браку отливок потому, что разупрочненный слой, толщиной не более 5 мм, оказывается зажатым между монолитной массой формы, сохранившей магнитные свойства, и коркой отливки, толщина и прочность которой со временем быстро увеличиваются. По своим теплофизическим свойствам ферромагнитные формовочные материалы значительно ближе к песчано-глинистым, чем к кокилям.

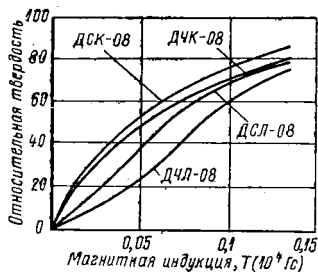


Рис. VI.30. Зависимость твердости магнитных форм от магнитной индукции.

Обозначения в марках дробей на кривых:
Д — дробь; С — стальная; Ч — чугунная;
К — колющая; Л — литая; 0,8 — размер дробей, мм

пригара пенополистироловые модели обычно покрывают специальными красками (табл. VI.12).

Выделяющиеся при заливке газы удаляются из зазора между зеркалом расплава и фронтом разложения модели через слой краски (рис. VI.31, а). Для улучшения вентиляции форм можно применять различные способы (рис. VI.31, б—е). При сифонной заливке форм модели выполняют со сквозными каналами

Коэффициент аккумуляции теплоты *b* магнитных форм в 1,3—1,5 раза больше коэффициента *b* песчано-глинистых. Это повышает твердость чугуновых отливок на 10—15%, но не увеличивает заметно склонности к отбеливанию.

При превышении некоторого значения магнитной индукции, характерного для каждого материала, магнитная форма теряет свою устойчивость. Это явление выражается в том, что начинается зарастание полости формы со стороны поверхностей, перпендикулярных магнитным силовым линиям. Величина зарастания зависит от геометрии полости, ее ориентации в магнитном поле, а также от конфигурации частиц формовочного материала. Для уменьшения вероятности зарастания модель в форме следует располагать длинной стороной вдоль направления поля, а в качестве формовочного материала использовать литые дробы, форма частичек которых близка к шарообразной. Для предотвращения

Таблица VI.12

Состав красок для пенополистироловых моделей

Краска № 1		Краска № 2	
Составляющие	Массовая доля, %	Составляющие	Массовая доля, %
ЭТС-40	7,2	Фенолоформальдегидная смола	9—11
Вода	16	Борная кислота	0,06—0,08
Соляная кислота	0,65	Поливинилбутираль	2—3
Серная кислота	0,15	Вспученный перлит	7—9
Маршалит или цирконовый концентрат	76	Этиловый спирт	Остальное

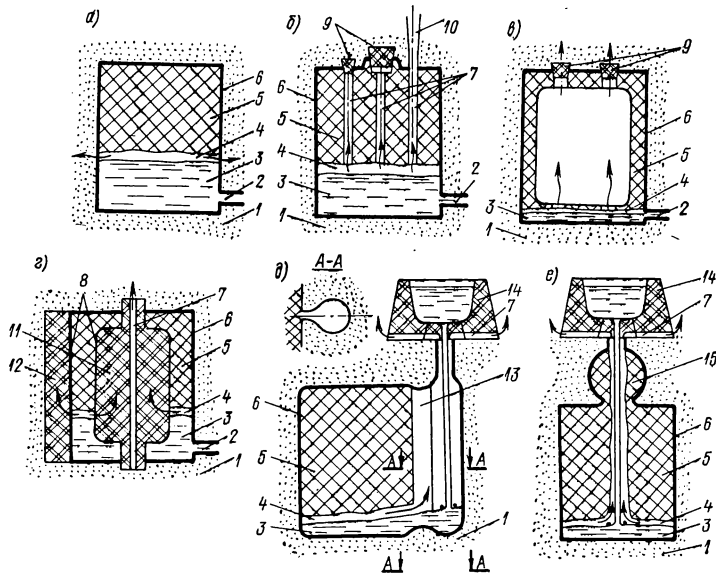


Рис. VI.31. Способы вентиляции литейной полости:

1 — ферромагнитный формовочный материал; 2 — сифонный подвод металла; 3 — расплав; 4 — газовый зазор; 5 — модель из пенополистирола; 6 — слой краски; 7 — вентиляционные каналы; 8 — участок модели, не покрытый краской; 9 — стержневые пробки; 10 — выпор; 11 — стержень внутренний; 12 — стержень внешний; 13 — щелевая подводяще-питающая литниковая система; 14 — чаша с диафрагмой; 15 — прибыль (стрелками показано направление движения газов)

(рис. VI.31, б) или полыми (рис. VI.31, в). Выходные отверстия из модели закрывают стержневыми пробками или при формовке в них вставляют модель выпора (из немагнитного материала), удаляемую после наложения магнитного поля. Можно отводить газы через стержни (рис. VI.31, г), образующие полости в отливке, или специальные наружные стержни, приставляемые к модели. Поверхности контакта стержня и модели не окрашиваются. Эффективны подводящие системы со свободно падающей струей, которая формируется диафрагмой, установленной в чаше (рис. VI.31, д, е). Такие системы не только выполняют основные функции, но и позволяют удаляться газам.

В качестве намагничивающих устройств для осуществления процесса магнитной формовки преимущественно используются U-образные электромагниты (рис. VI.32). Магнитную индукцию таких электромагнитов регулируют путем

изменения силы тока в катушках возбуждения. Расчет (в Гауссовой системе) намагничивающей силы $J\omega$ катушек возбуждения U-образных электромагнитов по магнитной индукции B ведут по формуле

$$J\omega = \frac{2BS_{\Phi}I_m}{\mu_m S_m} + Bl_v + \frac{Bl_{\Phi}}{\mu_{\Phi}}, \quad (VI.19)$$

где S_m , S_{Φ} — площади сечения соответственно сердечника и магнитной формы; μ_m , μ_{Φ} — относительная магнитная проницаемость соответственно материала сердечника и формы; I_m , l_{Φ} , l_v — длины средних линий соответственно сердечника, формы и воздушного зазора (показанных на рис. VI.32 штрихпунктирной линией).

Некоторые параметры электромагнитов для ряда опок характеризуются данными табл. VI.13.

Опоки для магнитной формовки в отличие от обычных представляют собой ящики с дном (контейнеры). Чтобы исключить шунтирование магнитного потока, дно и стенки опоки, параллельные магнитному потоку, желательно изготовлять из немагнитного материала. Кроме того, в опоке может быть предусмотрено второе дно для отсоса газов, выделяющихся при разложении пенополистироловой модели.

Таблица VI.13

Основные параметры электромагнитов

Параметр	Значения параметров для опок размерами, мм			
	400×400×400	500×500×500	700×700×700	1000×1000× ×1000
Магнитная индукция $B_{\max}$, Гс	1000	1000	1000	1000
Толщина сердечника δ , см	5	10	10	10
Намагничивающая сила $J\omega$, Гб	$40 \cdot 10^3$	$45 \cdot 10^3$	$63 \cdot 10^3$	$115 \cdot 10^3$
Мощность, Вт	1300	1800	3200	8100

В установке магнитной формовки должен быть предусмотрен вибростол для обеспечения плотного прилегания ферромагнитного формовочного материала ко всей поверхности пенополистироловой модели, включая полости и поднутрения. Налагая вибрацию, желательно добиться псевдооживления сыпучего формовочного материала, которое для частоты 50 Гц наступает при амплитуде колебаний 0,5 мм. Для вибростола могут быть использованы выпускаемые промышленностью дисбалансные электрические вибраторы. Момент дисбаланса X (кг·см) — параметр, по которому следует подбирать электровибратор, — определяется по формуле

$$X = mA, \quad (VI.20)$$

где m — масса колеблющихся частей, кг; A — амплитуда колебаний, см.

Наиболее рациональные области применения литья в магнитные формы следующие: 1) сложные отливки массой до 50 кг, наибольшим размером до 800 мм, получаемые по обычной технологии со стержнями; переход на литье таких деталей в магнитных формах позволяет отказаться от применения стержней, что компенсирует расходы на разовые модели; 2) точные отливки, получаемые обычно литьем по выплавляемым моделям, вследствие значительно меньшей стоимости изготовления таких отливок способом магнитной формовки; однако ограничения вносит сложность изготовления пенополистироловых моделей с толщиной стенок менее 4—5 мм; 3) отливки, на качество которых благоприятно сказывается эффект увеличенной теплоаккумуляции магнитных форм: отливки деталей гидро- и пневмоустройств и т. п., требующие повышенных плотности и герметичности металла.

ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОСНОВНЫХ ВИДОВ ЧУГУННОГО ЛИТЬЯ

1. СТАНКОСТРОИТЕЛЬНОЕ ЛИТЬЕ

Общая характеристика литья и выбор состава металла

Серый чугун (СЧ) является основным материалом для изготовления корпусных литых деталей металлорежущих станков, так как высокопрочный чугун с шаровидным графитом (ВЧШГ) пока не нашел широкого применения для этой цели. Общая масса чугунных деталей составляет 70—80% массы станка. К особенностям литейного производства станкостроительной отрасли относится широкая номенклатура выпускаемых отливок (около 200 000 наименований) с большим колебанием массы — от 0,1 кг до 100 т — при средней и повышенной сложности с преобладанием мелкосерийного характера производства [20].

В применении к металлорежущим станкам важнейшими требованиями к отливкам являются износостойкость, стабильность геометрической формы и жесткость, чем и определяются требования к СЧ по микроструктуре и твердости согласно ОСТ 2МТ 21-2—76 (табл. VII.1). В обоснование этих требований показано [4, 9, 20], что снижение микротвердости перлита (П) от 320 до 240 повышает скорость изнашивания чугуна примерно в 2 раза и что примерно так же влияет уменьшение среднего расстояния между включениями графита от 70 до 35 мкм, сопровождаемое появлением междендритного (МГ) и сетчатого (СГ) графита. Увеличение длины включений графита от 250 до 350 мкм также увеличивает износ примерно в 1,5 раза, если на рабочие поверхности попадают загрязнения (например, стружка); однако при незначительной загрязненности смазки увеличение длины включений графита до 500 мкм не оказывает заметного влияния на износ чугуна.

Требования в отношении прочности не выходят за обычные пределы и, в зависимости от толщины стенок и класса отливок по ТУ, удовлетворяются при использовании чугуна марок от СЧ 15-32 до СЧ 32-52 при модуле упругости E от 8000 до 13 500 кгс/мм² (от 8 до 13,5·10⁴⁰ Па). Точно так же относительно невелики требования по герметичности для деталей гидро- и пневмоаппаратуры, которая, как правило, не превышает 100 кгс/мм² (100·10⁷ Па). При более высоких требованиях используется ВЧШГ.

Важным требованием является сохранение норм точности * станков в процессах изготовления и эксплуатации, что зависит от стабильности геометрии базовых отливок и зависит от величины остаточных напряжений и релаксационной стойкости металла **. Хотя на всех этапах конструирования и изготовления отливки принимаются меры по предотвращению коробления, однако, как правило, для базовых деталей станков повышенной и высокой точности обязательно применяется специальный стабилизирующий процесс.

* Нормы точности обусловлены для токарных и токарно-винторезных станков ГОСТ 18097—72, горизонтально-расточных станков ГОСТ 2110—72, круглошлифовальных станков ГОСТ 11654—72 и др.

** Под релаксационной стойкостью понимается максимальный уровень напряжений, который может выдержать чугун без образования пластических деформаций.

Требования к микроструктуре и твердости чугуна деталей станков

Микроструктура									Твердость чугуна <i>HB</i>
Графитовые включения				Металлическая матрица					
Размеры графита	Среднее расстояние между включения- ми, мкм	Распреде- ние графита (рис. 1.17)	Форма графита (рис. 1.15)	Количество перлита	Дисперс- ность перлита (рис. 1.21)	Микротвер- дость перлита H_{200} кгс/мм ²	Количество цементита (табл. 1.5)	Размер включений цементита (табл. 1.5)	
При большой загрязненности смазки									
Граз 90; Граз 180	≥70	Гр1; Гр2	Гф1; Гф2	П (FeO)	П _{д0,3—} П _{д1,0}	300—320	Ц2	Цп 2000— Цп 6000	180—200
При малой загрязненности смазки									
Граз 180; Граз 360	≥70	Гр1; Гр2	Гф1; Гф2	П (FeO)	П _{д0,3—} П _{д1,0}	300—320	Не допускается		170—190

Составы чугуна, применяемые на отечественных станкостроительных заводах

Марка чугуна	Массовая доля элементов, %								Заводы
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	
				не более					
СЧ 32-52	2,9—3,1	1,4—1,7	1,1—1,5	0,2	0,1	0,15— 0,25	—	—	«Станколит» (Москва) «Тяжстанкогидро- пресс» (Новосибирск) «Сиблитмаш» (Ново- сибирск) им. Седина (Красно- дар)
	3,0—3,3	1,2—1,4	0,8—1,2	0,2	0,12	0,25—0,4	—	—	
	2,9—3,1	1,5—1,7	1,0—1,2	0,2	0,2	0,2—0,3	0,15—0,3	—	
	2,9—3,2	1,4—1,6	0,8—1,2	0,35	0,15	—	—	—	
СЧ 28-48	3,0—3,3	1,5—1,8	1,0—1,3	0,2	0,1	0,15	—	—	«Станколит» им. Свердлова (Ленинград)
	3,1—3,4	0,9—1,8	0,8—1,1	0,25	—	0,2—0,3	0,1	0,1—0,2	
СЧ 21-40	3,2—3,4	2,0—2,3	0,7—0,9	0,3	0,1	0,15	—	—	«Станколит» «Тяжстанкогидро- пресс» «Сиблитмаш»
	3,0—3,5	1,3—2,2	0,5—1,0	0,3	0,12	—	—	—	
	3,2—3,4	1,7—2,0	0,5—0,7	0,2	0,12	—	—	—	

Обеспечение надлежащей структуры и твердости в корпусных отливках возможно разными способами, из которых наиболее эффективными являются подбор состава металла и скорости охлаждения отливок. Состав металла подбирается, как и для всех отливок, по структурной диаграмме (гл. I), но для массивных отливок особенно важно правильно выбрать вариант легирования, обеспечивающий требуемые дисперсность перлита и микротвердость чугуна. Использование для этого тех или иных легирующих элементов различно на разных заводах. Наиболее широкое применение на станкозаводах нашли следующие варианты легирования чугуна: Ni, Cu и Cr по 0,2—0,3%; 0,2—0,3% Ni, 0,3—0,4% Cr и 1,3—1,5% Mn (при модифицировании); 0,8—1,0% Cu и 0,3—0,5% Cr; 0,4—0,6% Ni и до 0,04% В для тяжелых отливок, в которых допускается цементит (Ц), но не склонных к образованию трещин. Очень эффективным при разной эвтектичности чугуна является легирование 0,3—0,8% Mo; 0,7—1,2% Ni и 0,2—0,5% Cr, но оно относительно дорого из-за Mo.

Примерные составы чугуна, применяемые на отечественных заводах, представлены в табл. VII.2 [20]. Соответствующие колебания обусловлены разной конструкцией и толщиной отливок.

Применение холодильников для регулирования скорости охлаждения

Типы холодильников, применяемых для регулирования скорости охлаждения разных частей отливок, приведены в табл. VII.3. Плоские холодильники для отливок станин, столов, траверс изготавливают толщиной 0,3—0,4 толщины направляющих, шириной 0,8 ширины направляющих, а длиной 1,0—1,5 ширины направляющих.

Для крупных отливок можно рекомендовать плоские холодильники длиной 150 мм, шириной 60, 90 и 120 мм и толщиной 35 и 65 мм. При охлаждении криволинейных поверхностей холодильники выполняют по их контуру. При установке холодильников в форме необходимо соблюдать правила [20]. При

Таблица VII.3

Рекомендуемые типы холодильников для станочных отливок

Группы отливок по степени массивности	Характеристики групп отливок по степени массивности *		Рекомендация типа холодильников ** для деталей, работающих на износ	
	масса отливок, кг	приведенная толщина направляющих, мм	при большой загрязненности смазки	при незначительной загрязненности смазки
Легкие	До 100	До 10	Без холодильников Шиповидные Шиповидные, ребристые Ребристые, плоские	Без холодильников Шиповидные Ребристые
Средние	100—4 000	10—20		
Тяжелые	4 000—10 000	20—30		
Особо тяжелые	>10 000	>30		

* Отнесение отливки к той или иной группе производится по одной из двух характеристик, по которой степень массивности выше.

** Кроме внешних холодильников, применяются иногда и внутренние, расплавляющиеся при заливке, но в станочном литье они, как правило, не применяются.

этом расстояние от холодильника до кромки плоскости отливки должно быть 10—20 мм; в зазоры (1—2 мм) между холодильниками засыпать сухой песок для предотвращения заливов; размещать холодильники в шахматном порядке; полость в холодильниках заделывать формовочной смесью для исключения попадания металла в эту полость при заливке; при крупных отливках на расстоянии не менее 500 мм и в тяжелых отливках на расстоянии не менее 1000 мм от питателей устанавливать только новые холодильники, во избежание образования газовых раковин; поверхность холодильников следует окрашивать противопригарной краской. Однако, как видно из табл. VII.3, использование плоских чугунных холодильников рекомендуется только для особо массивных отливок, в которых дни обеспечивают удовлетворительную микроструктуру по графиту. В средних отливках они, создавая резкое переохлаждение металла, способствуют возникновению в чугуне междендритного и сетчатого графита и образованию структурно-свободного Fe или Ц. Поэтому их не только в средних, но даже в тяжелых отливках заменяют часто более «мягкими» холодильниками, например шиповидными, ребристыми (рис. VII.1) или карборундовыми с меньшей теплопроводностью. Такие холодильники обеспечивают требуемую структуру графита в отливках (рис. VII.2).

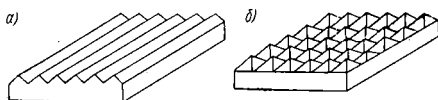


Рис. VII.1. Типы холодильников: а — ребристые; б — шиповидные

При этом высота шипов или ребер (без срезанных на 1,5—2 мм вершин) должна составлять 10—12 мм, угол при вершинах 90°, общая толщина холодильников такая же, что и соответствующих плоских холодильников. Карборундовые холодильники по своему воздействию на микроструктуру чугуна соответствуют шиповидным чугунным холодильникам. Таким образом, можно отметить, что при использовании мягких холодильников твердость, как и микроструктура чугуна, получаются средними между соответствующими им значениями для чугуна, залитого в песчаную форму и в форму с плоскими холодильниками. В отдельных случаях применяют холодильники из материалов, обладающих повышенной теплоаккумулирующей способностью (графита, корунда, хромистого железа и т. д.), а при захлаживании фасонных поверхностей, особенно внутренних, эффективно применение захлаживающей смеси (табл. VII.4).

Таблица VII.4

Состав захлаживающих смесей

Смесь	Объемная доля, %							Предел прочности, кгс/см ² (10 ⁶ Па)		Влажность, %
	Песок кварцевый	Глина	Дробь колотая	Асбестовая крошка	Жидкое стекло	Едкий натр	Раствор битума	по-сырому	по-сухому	
Формовочная	30	10	60	—	6	2	—	0,2—0,3	16—20	2,5—3,0
Стержневая	25	5	60	10	6	2	2	0,2—0,3	7—8	2,5—3,2



Рис. VII.2. Влияние холодильников на графит в отливке с приведенной толщиной 30 мм на расстоянии 15 мм от поверхности: *а* — без холодильников; *б* — с шиповидными холодильниками; *в* — с плоскими холодильниками

Другие методы регулирования скорости охлаждения крупных отливок

Для изменения структуры и снижения остаточных напряжений в крупных и средних отливках, а также сокращения технологического цикла их изготовления можно использовать кроме холодильников принудительное воздушное охлаждение и принудительное увлажнение литейной формы, регулирование которых, в противоположность холодильникам, возможно в течение всего процесса кристаллизации и последующего охлаждения металла. Схема такой установки (кессона) в общем виде представлена на рис. VII.3 [18]. Постель и стенки кессона здесь

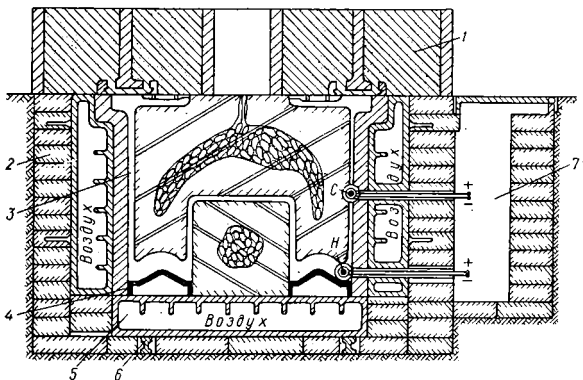


Рис. VII.3. Схема кессона для принудительного воздушного охлаждения отливки с автоматическим регулированием процесса охлаждения [18]:

1 — верхняя полуформа; 2 — кладка кессона; 3 — отливка; 4 — холодильник; 5 — полая чугунная плита; 6 — установочные балки; 7 — колодец; С и Н — термпары в стенке и направляющей отливки

образованы совокупностью соединенных между собой нормализованных полых металлических плит, по внутренним каналам которых продувается воздух. Для увеличения теплоотдачи и жесткости плит высота канала обычно не превышает 100 мм; на внутренней поверхности плиты располагаются продольные сплошные или прерывистые ребра. Боковые и нижний каналы являются изолированными, что позволяет осуществлять раздельное охлаждение боковых и нижних элементов отливки. Эффективность принудительного воздушного охлаждения существенно возрастает при уменьшении слоя формовочной смеси между плитами и элементами отливки.

Схема эта может быть значительно упрощена, когда производится охлаждение только наиболее массивной части отливки, например направляющей станины. Как видно из рис. VII.4, применение чугунной плиты и тем более плиты с воздушным охлаждением значительно ускоряет понижение температуры. Однако система эта имеет и ряд недостатков: наличие слоя, отделяющего охладитель от отливки и обладающего значительной аккумулярующей способностью и термическим сопротивлением, снижает эффективность охлаждения и резко увеличивает инерционность системы, что затрудняет регулирование процесса охлаждения; монтаж в форме массивных металлоконструкций применим лишь в почвенных и кессон-

ных формах; прогрев формы остается высоким, что приводит к образованию в формовочной смеси пыли и создает тяжелые условия труда при выбивке отливок. В этих условиях предпочтительней поэтому метод принудительного увлажнения литейной формы, основанный на использовании фильтрационных свойств песчаной формы для подачи в толщу ее (к элементам отливки) воды и воздуха под давлением. Схема такой установки представлена на рис. VII.5. Комплект специальной опочной оснастки состоит из плиты 5, нижней опоки (рамы) 2 и верхней опоки 1.

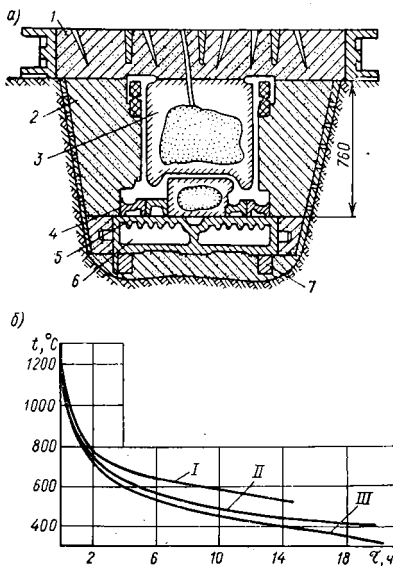


Рис. VII.4. Схема формовки отливок станин станков завода им. Я. М. Свердлова с принудительным воздушным охлаждением (а) и кривые охлаждения элементов станин (б) [18]:

1 — верхняя полуформа; 2 — нижняя полуформа; 3 — отливка; 4 — холодильники; 5 — постельная плита; 6 — воздушный канал; 7 — установочный брус; I — изменение температуры направляющих станины при обычной технологии; II — то же при чугунной плите без продувки воздуха; III — то же при чугунной плите с продувкой воздуха

Нижняя 6 и боковая 4 системы труб с отверстиями диаметром 2,0—2,5 мм на стороне, обращенной к отливке, имеют самостоятельные коллекторы и могут работать независимо друг от друга, обеспечивая дифференцированное охлаждение отливки 3. К трубам 4 и 6 через коллекторы подводят воду и воздух. После затвердевания отливки или ее поверхностных слоев в форму впрыскивается вода, которая, продвигаясь к отливке, попадает в прогретые слои формы и испаряется. Для интенсификации процесса в форму вслед за порцией воды подается сжатый воздух. В результате расхода теплоты на испарение влаги снижается температура в толще формы и ускоряется охлаждение отливки даже при подаче сравнительно небольшого количества воды. Специальная опочная оснастка, приведенная на рисунке, позволяет осуществлять комплексное регулирование процессов, последовательно

протекающих в литейной форме: интенсификацию поверхностной сушки (или твердения) формы и направленного от отливки газового потока в период заполнения формы металлом и его затвердевания за счет отсоса из толщи формы пара и газа; регулируемое охлаждение отливки по оптимальному режиму и снижение прочности формы перед выбивкой за счет принудительного увлажнения формы.

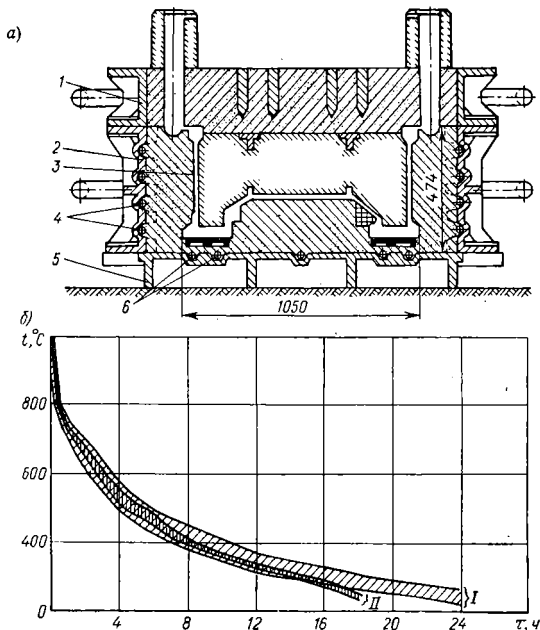


Рис. VII.5. Схема формовки отливок станин станков завода им. Я. М. Свердлова с увлажнением формы (а) и кривые охлаждения станины (б):

I — температурное поле отливки при естественном охлаждении в форме; *II* — при автоматическом регулировании охлаждения в форме

Эффективность методов принудительного охлаждения отливок, как средства снижения остаточных напряжений и сокращения технологического цикла, существенно возрастает при автоматическом регулировании процесса охлаждения отливки. Одной из наиболее простых и надежно реализуемых является система, в которой регулирующим параметром автоматики служит разность температур между основными элементами отливки (тонкой стенкой и массивной направляющей), фиксируемая дифференциальной термопарой, образованной термопарами *C* и *H*, установленными соответственно в стенке и направляющей отливки. Показания термопар *C* и *H* фиксируются электронным потенциометром, а разность их показаний подается на потенциометр с терморегулятором, установленным на ми-

нимальную или заданную разность температур направляющей и стенки. Если фактическая разность температур не превышает заданную, охладитель подается в нижний и боковые каналы, обеспечивая охлаждение отливки с максимальной скоростью. В случае превышения заданной разности терморегулятор через исполнительные механизмы прекратит подачу охладителя к элементу, температура которого относительно ниже, и направит весь подаваемый воздух к другому элементу отливки, пока фактическая разность температур не уменьшится до заданных пределов.

Рекомендуемая система автоматизации применима при любом методе принудительного охлаждения отливок. Универсальность ее обусловлена тем, что регулирующим элементом является сама отливка, охлаждение которой определяет режим работы охладительной системы. По сравнению с естественным охлаждением в литейной форме автоматическое регулирование процесса охлаждения отливки приводит к снижению разности температур между направляющей и стенкой в интервале 650—400° С до 5—10° С, что позволяет несколько повысить температуру извлечения и сократить время охлаждения отливки в форме, например, с 24 до 8 ч при одновременном снижении остаточных напряжений в среднем на 20%.

Контроль качества отливок

Основными направлениями контроля качества чугуна станочных отливок является контроль структуры металла, методы которого описаны выше (см. гл. I), и контроль твердости, определение которой в производственных условиях вызывает трудности при отсутствии надежных и универсальных переносных твердометров, пригодных для измерения твердости чугуна в отливках. Наличие графита в чугуне обуславливает необходимость иметь достаточную площадь отпечатка индентора для надежного усреднения получаемого результата. Так, при измерении HV в чугуне шариком диаметром 2,5 мм при нагрузке 187,5 кгс (1820 Н) разброс данных вдвое больше, чем шариком диаметром 10 мм при нагрузке 3000 кгс (29400 Н).

Применительно к чугунным деталям наибольшее распространение получили твердометры динамического действия типа Баумана и Николаева (с тарированной силой удара) и Польди (с тарированным эталоном). Последний дает лучшие результаты по точности измерения, а также отличается предельной простотой конструкции и универсальностью. Особенность этого прибора состоит в том, что при его использовании необходимо соблюдать известные правила, невыполнение которых может привести к ошибкам, превышающим погрешности других ударных приборов. Твердость отливки определяется при этом по формуле

$$HV_{отл} = (D_{эт}/D_{отл})^2 HV_{эт}, \quad (VII.1)$$

где $HV_{отл}$, $HV_{эт}$ — твердости соответственно отливки и эталона; $D_{отл}$, $D_{эт}$ — диаметры отпечатков соответственно на отливке и эталоне.

Для получения стабильных результатов с минимальными погрешностями необходимо выполнять следующие условия: эталоны к прибору Польди должны быть изготовлены из стали марки 45; твердость эталона измеряется на прессе Бриггса при нагрузке 750 кгс (7350 Н) и диаметре шарика 5 мм в соответствии с ГОСТ 9012—59; допустимая неравномерность твердости эталона $\pm 3\%$; шероховатость поверхности отливки должна быть не ниже 6 класса; сила удара при измерении должна быть такова, чтобы при HV 150—240 диаметры отпечатков на отливке и эталоне были в пределах 2,5—4,0 мм; расстояние между краями

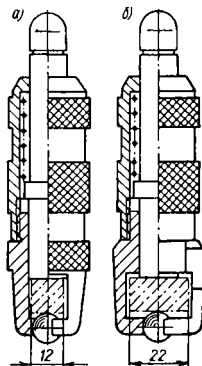


Рис. VII.6. Схемы прибора Польди с обычным (а) и широким (б) эталоном

соседних отпечатков должно быть не менее 6 мм; эталон должен иметь твердость, близкую к твердости отливки, чтобы разница в $D_{эт}$ и $D_{отл}$ не превышала 0,2 мм; измерение диаметров отпечатков на отливке и эталоне производится с точностью 0,05 мм, причем диаметр измеряется в двух взаимно перпендикулярных направлениях и определяется как среднее арифметическое из двух измерений, округленное до 0,05 мм; допустима овальность отпечатков не более 0,2 мм; твердость должна определяться как среднее арифметическое по результатам трех измерений.

Погрешность измерений по изложенной методике не превышает 7% с доверительной вероятностью 0,95. Для повышения надежности измерений твердости следует вместо обычного эталона шириной 12 мм (рис. VII.6, а) использовать эталон шириной 22 мм с соответствующим изменением конструкции шарикодержателя (рис. VII.6, б). При этом исключается зависимость результатов измерений твердости от силы удара оператора [21].

Твердость широкого эталона может измеряться при нагрузке 3000 кгс (29400 Н) и шарике диаметром 10 мм. В остальном методика измерений твердости та же, что и обычным прибором.

При отсутствии широких эталонов, совпадающих по $HВ$ с отливкой, могут использоваться эталоны с различной $HВ$. В этом случае

$$HВ_{отл} = (D_{эт}/D_{отл})^2 (HВ_{эт} + 80) - 80. \quad (VII.2)$$

Если $HВ_{отл}$, установленная с помощью переносных твердомеров, близка к регламентированной границе и вызывает сомнение, можно произвести измерение непосредственно на прессе Бриннеля. Для этого из отливки с помощью трипковой фрезы следует взять пробу чугуна диаметром 22—24 мм для измерения $HВ$ по ГОСТ 9012—59 при нагрузке 3000 кгс (29400 Н) и шарике диаметром 10 мм*.

2. АВТОМОБИЛЬНОЕ ЛИТЬЕ

Общая характеристика литья и выбор состава металла

Доля чугунного литья в легковом автомобиле составляет по массе до 10% в грузовом до 20%. Автомобильное литье отличается большим разнообразием — оно изготавливается из СЧ, КЧ, ВЧШГ, легированных чугунов. Требования к отливкам определяются их назначением: от блоков цилиндров требуется жесткость и герметичность; от валов, поршневых колец и гильз — износостойкость; от тормозных барабанов — жесткость и износостойкость; от кронштейнов — высокая прочность на изгиб, а от картера заднего моста, кроме того, также герметичность. Все это обеспечивается, вместе с конструкцией, надлежащим качеством чугуна. Требования к чугуну и методы контроля назначаются в соответствии с ГОСТ 1412—70, ГОСТ 7293—70 и др. Автомобильные отливки по точности обычно должны соответствовать классам II и III по ГОСТ 1855—55: для размеров, получаемых с разъемом в песчаной форме, класс III, а для неразъемных — класс II.

Первый класс точности получают при литье в кокиль и по неразъемным размерам при изготовлении форм по нагреваемой оснастке или при высоком давлении прессования.

Из СЧ отливают многие автомобильные отливки (табл. VII.5). Обычно принимают при этом чугун марок СЧ 18-36 и СЧ 24-44, удовлетворяющий существующим требованиям и обладающий хорошей обрабатываемостью. Применение более высоких марок чугуна рационально в случае возможности значительного (15—25%) снижения массы отливки за счет уменьшения их толщины.

В соответствии с ГОСТ 1412—70 сдаточной характеристикой по механической прочности для отливок из СЧ рекомендуется предел прочности, который характеризует качество плавки той или иной длительности при условии соблюде-

*Метод измерения твердости по Полюди, однако, часто дает большие ошибки, так как соотношение твердостей эталона и объекта не является постоянным. Поэтому сейчас в Волгоградском политехническом институте разработан новый метод определения твердости крупногабаритных отливок на основе измерения глубины ударного отпечатка, после чего по таблицам рассчитывают твердость деталей. (Прим. ред.)

ния химического состава, принятого для данной группы отливок. Состав как маркировочный показатель применяется в том случае, когда требуются специальные структуры чугуна, например наличие сетки фосфидов для поршневых колец, аустенитной структуры для вставок гильз и т. п. Твердость как сдаточный показатель применяется для отливок с высокими антифрикционными свойствами (гильзы цилиндров). В этом случае необходимо устанавливать также требования по структуре.

При анализе причин разрушения деталей в эксплуатации допускается испытание прочности СЧ в клиньях (см. с. 691), вырезанных непосредственно из отливок. Однако для этого следует установить корреляцию между этими и обычными методами испытания для каждой марки чугуна, так как показатели прочности в клиньях ниже, чем в стандартных образцах, на 25—30%.

Из КЧ отливают автомобильные детали, несущие сложные динамические нагрузки (см. табл. VII.5). От них требуется повышенная пластичность, и их отливают из КЧ 35-10, а когда нужна высокая прочность при несколько сниженной пластичности, например для картера дифференциала, применяют ПКЧ марки КЧ 50-4.

Из ВЧШГ разных марок (ВЧ 42-12, ВЧ 50-2, ВЧ 60-2) отливают коленчатые валы и другие отливки (см. табл. VII.5) и заменяют им КЧ и сталь. Из ферритного ВЧ 42-12 отливают картеры редуктора заднего моста, кронштейны рессор, поворотные кулаки, работающие при высоких динамических нагрузках. При этом отливают целиком картер редуктора заднего моста вместе с чулками полуосей, толщина стенки которых может быть уменьшена до 5 мм. Коленчатые валы и другие детали, работающие на износ, отливают из разных марок перлитного чугуна.

Легированные чугуны применяют для таких автомобильных отливок, как гильзы цилиндров, седла клапанов, поршневые кольца, наплавки толкателя, направляющие втулки клапана (см. табл. VII.5).

Особенности плавки чугуна и технологии изготовления формы

Для плавки СЧ можно применять различные плавильные агрегаты; для масловых автомобильных отливок с обычными свойствами наиболее рациональными являются дуплекс-процессы (ДП): вагранка — ИЧКМ, ДЭП—ИП, ИП—ИП, обеспечивающие стабильность состава и температуры, причем ДЭП применяются в том случае, когда нужно низкое содержание серы, а также в случае применения токолистого, крупногабаритного с примесью неметаллических материалов лома.

Шихты для автомобильных отливок из СЧ отличаются высоким содержанием собственного возврата (30—40%), так что выход годного литья в зависимости от массы отливок находится в пределах 55—65%. Содержание стального лома при плавке в вагранке достигает 15%, а при плавке в ИП — 25% и более в зависимости от наличия лома. Доменных чугунов при ваграночной плавке расходуется значительное количество (40—52%); на ВАЗе, где чугун плавится в ИП, расход доменных чугунов составляет только 15%. Для чугуна марки СЧ 24-44 применяют чугун с хромом. ГАЗ и Уральский автозавод применяют в плавке только перелитые чугуны для всех марок, а ЗИЛ — 100% низких марок литейных чугунов.

В связи с тем, что автомобильные отливки имеют преобладающую толщину стенок 4,5—6,5 мм, они склонны к отбеливанию, и поэтому СЧ подвергают модифицированию ФС, СК, углеродистыми модификаторами и др.

Ковкий чугун для снижения содержания углерода выплавляют, естественно, на шихте с высоким содержанием стального лома (до 40%) и преимущественно дуплекс-процессом: на ГАЗе вагранка — ДЭП, на ЗИЛе вагранка—ИЧКМ, на ВАЗе ДЭП—ИП, причем доменные чугуны вовсе не применяются или применяются в небольшом количестве (на ГАЗе до 15% перелитого чугуна). Стальной лом должен содержать не более 0,06% Сг. Модифицирование производится Вi до 0,003%, В до 0,002% и Аl до 0,017%.

Шихта для ВЧШГ на ГАЗе состоит из 14% перелитого чугуна, стружки россыпью, возврата и стального лома; на ВАЗе доменный чугун не применяется.

Марка чугуна	Завод	Массовая				
		C	Si	Mn	P	S
Серый						
СЧ 18-36	ГАЗ	3,5— 3,7	1,9—2,2	0,6—0,9	0,15— 0,25	До 0,13
	ЗИЛ	3,2— 3,4	2,2—2,5	0,5—0,8	0,15— 0,2	» 0,15
СЧ 24-44	ГАЗ	3,15— 3,35	2,2—2,4	0,6—0,8	0,18— 0,25	До 0,12
	ЗИЛ	3,2— 3,4	1,9—2,2	0,5—0,8	0,15— 0,20	» 0,15
Gh 26 (средний состав)	ВАЗ	3,31	2,44	0,47	0,1	0,015
	ВАЗ	3,41	2,31	0,47	0,1	0,016
Ковкий						
Gh Mall № 45	ВАЗ	2,8	1,15	0,28	0,056	0,015
КЧ 35-10	ГАЗ	2,45— 2,65	1,05— 1,25	0,4— 0,48	До 0,08	До 0,1
КЧ 50-4	ГАЗ	2,45— 2,65	1,05— 1,25	0,4— 0,48	» 0,08	» 0,1
КЧ 35-10	ЗИЛ	2,5— 2,7	1,0—1,2	0,4—0,6	0,12— 0,17	» 0,2
Высокопрочный чугун						
Gh 75-50-03	ВАЗ	3,61	2,46	0,36	0,016	0,012
(средний состав)						
ВЧ 50-2	ГАЗ	3,4— 3,6	2,0— 2,25	1,15— 1,30	До 0,10	До 0,002
ВЧ 50-2 (сред- ний состав)	МемЗ	3,54	2,44	1,41	0,06	0,01

мех в автомобилестроении

доля элементов, %						Назначение
Cr	Ni	Cu	Mg	Mo	Sn	
ч у г у н						
До 0,2	—	—	—	—	—	Картеры, трубы, тормозные барабаны, крышки, мелкие отливки
» 0,2	До 0,1	—	—	—	—	Картеры, трубы, крышки, шкивы
0,2—0,3	0,1—0,35	—	—	—	—	Блоки цилиндров, нажимные диски сцепления, гильзы, картеры коробки передач
0,25—0,40	0,1—0,25	—	—	—	—	Блоки цилиндров, гильзы, нажимные диски сцепления, маховики, тормозные барабаны
0,12	0,13	—	—	—	0,05	Общего назначения
0,12	0,13	—	—	—	0,09	Блоки цилиндров
ч у г у н						
До 0,05	—	—	—	—	—	Картер дифференциала, тормозные барабаны, втулки, рычаги
До 0,06	—	—	—	—	—	Картеры, ступицы колес, рычаги
» 0,06	—	—	—	—	—	Картер дифференциала
» 0,06	—	—	—	—	—	Картеры, ступицы, кронштейны
с шаровидным графитом						
0,068	0,87	0,35	0,048	—	—	Коленчатые валы
0,15—0,25	—	—	0,01—0,06	—	—	Коленчатые валы, картеры
—	—	—	0,04	—	—	Коленчатые валы

Марка чугуна	Завод	Массовая				
		C	Si	Mn	P	S
ВЧ 50-2 (средний состав)	«Серп и молот» (Харьков) ГАЗ	3,49	2,70	0,68	0,06	0,005
ВЧ 42-12		3,5— 3,8	2,7—3,2	До 0,4	До 0,08	До 0,02

Легирован						
Нирезист	ГАЗ	2,45— 3,0	2,5—3,0	0,6—1,0	0,4—0,7	До 0,1
—	ГАЗ	3,1— 3,4	2,2— 2,35	0,5— 0,65	До 0,2	» 0,1
—	ГАЗ	2,5— 3,0	1,5—3,0	0,5—0,8	» 0,2	» 0,1
—	ЗМЗ	2,0— 2,5	1,0—1,5	0,5—0,9	» 0,2	» 0,1
Gh 1040	ВАЗ	3,5— 3,8	2,4—3,0	0,7—1,2	0,3—0,6	» 0,15
—	ГАЗ	3,6— 3,8	1,9—2,2	0,6—0,9	0,2—0,3	» 0,12
Gh 1051	ВАЗ	3,5— 3,8	2,6—3,0	0,45— 0,65	0,45— 0,75	» 0,15

Модифицирование производят: на ВАЗе Ni—Mg лигатурой в ковш, на ГАЗе металлическим Mg в автоклаве. Для уменьшения содержания Ni на ВАЗе периодически делают плавки без применения возврата.

При выплавке легированных чугунов применяют различные материалы в зависимости от требуемого состава; в шихте для поршневых колец — высокофосфористый доменный чугун ЛК1-1-B-1, при выплавке нирезиста — передельный чугун (до 20%), ферросплавы и стружку, получаемую после обработки отливок, которая полностью используется, причем стружку удобнее предварительно переплавлять в ДЭП, чтобы полученные слитки затем переплавлять в ИП, так как загрязненный маслом металл переплавлять непосредственно в ИП недопустимо.

В отношении технологии производства литья следует указать, что большинство автомобильных отливок изготовляют в песчаных разовых формах. Изготовление форм производится как на автоматических линиях, так и на формовочных машинах типа С-127, С-142, С-829 и др.

В оболочковых формах изготовляют коленчатые валы, кулачковые валы и некоторые другие отливки. Стержни в основном изготовляют по нагреваемой модельной оснастке. Формовочные смеси изготовляют на основе песков К020 и К016, что обеспечивает надлежащую чистоту отливок. Отливки из СЧ, в зависимости от толщины стенки, заливают при $t = 1260 \div 1435^\circ \text{C}$, из КЧ — при $1350 \div 1400^\circ \text{C}$, из ВЧШГ — при $1360 \div 1400^\circ \text{C}$. Некоторые отливки из СЧ подвергают отжигу. Например, отливки блоков цилиндров для снятия внутренних напряжений отжигают при $t = 540 \div 570^\circ \text{C}$ в течение 10 ч (3 ч нагрев, выдержка 4 ч и охлаждение 3 ч); более высокая температура вызывает ферритизацию.

доля элементов, %						Назначение
Cr	Ni	Cu	Mg	Mo	Sn	
—	—	—	0,05	—	—	Коленчатые валы
До 0,05	До 0,05	—	0,01— 0,03	—	—	Картеры заднего моста, поворотные кулаки, ступицы колес

н ы й ч у г у н

1,8—2,2	16—17,5	7,0—8,5	—	—	—	Гильзы цилиндров
0,8—1,0	0,4— 0,75	—	—	0,4—0,6	—	Наплавка толкателя
2,75— 3,25	—	—	—	4,0—5,0	—	Седло клапана
12—15	0,3—0,7	—	—	—	—	То же
1,2—1,5	—	0,7—1,0	—	1,2—1,5	—	»
До 0,2	—	—	—	—	—	Пробки резьбовые
» 0,05	—	—	—	—	—	Втулка клапана

3. ЛИТЬЕ ДЛЯ ТЯЖЕЛОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ*

Выбор состава чугуна, его шихтовка, плавка и модифицирование

Для отливок тяжелого машиностроения широко применяются как СЧ, так и ВЧШГ, причем для крупных отливок применяют СЧ специального состава (табл. VII.6 и VII.7), в том числе модифицированные и легированные. В шихту СЧ включается большое количество стального лома; в шихте же для ВЧШГ применяют большое количество (от 70 до 100%) гематитового доменного чугуна, преимущественно енакиевского и коммунарского, с минимальным количеством деаглобуляризаторов, что обеспечивает после отжига высокие пластические свойства металла.

Так как при модифицировании или легировании добавками необходима более высокая температура чугуна, то при плавке в вагранке увеличивают количество кокса до 15—16%, обогащают кислородом дутье, продувают им металл в копильнике или в ковше, либо вдувают в чугун сверху на желобе через устройство, располагаемое над металлом. Последнее весьма эффективно и просто и применяется на «Уралмаше» при давлении кислорода 8—12 кгс/см² [(8÷12) 10⁵ Па] и объемном расходе 3—4 м³/т, обеспечивая подогрев на 30—50° С. Устройство для такого подогрева представляет собой футерованную трубу (рис. VII.7), по образующей которой выполнены 15—25 отверстий-сопел диаметром 3 мм

* Приводимые данные взяты из опыта «Уралмаша».

Серый чугун, применяемый для тяжелого машиностроения

Шифр чугуна	Марки чугуна	Массовая доля элементов, %								Коли- чество модифи- катора (ФС75), %	Количе- ство сталь- ного лома в шихте, %
		C	Si		Mn	P	S	Cr	Ni		
			до модифи- цирова- ния	после модифи- цирова- ния		не более					
Обычный чугун											
1	Немарочный	2,9—3,3	1,1—1,4	—	1,0—1,2	0,3	0,12	0,3—0,4	0,2—0,3	—	25—35
2	»	3,0—3,3	1,3—1,6	—	0,8—1,0	0,3	0,12	0,2—0,3	До 0,3	—	20—30
3	СЧ 18-36	3,2—3,6	1,5—2,0	—	0,6—0,9	0,3	0,12	До 0,15	—	—	5—15
Модифицированный чугун											
4М	Немарочный	2,8—3,2	0,9—1,1	1,1—1,4	1,0—1,2	0,3	0,12	0,4—0,5	До 0,7	0,4—0,6	45—55
5М	»	2,8—3,2	0,9—1,1	1,2—1,6	1,0—1,2	0,3	0,12	0,3—0,4	» 0,7	0,6—0,8	45—55
6М	»	2,8—3,2	0,9—1,1	1,4—1,8	1,0—1,2	0,3	0,12	0,2—0,4	» 0,7	0,8—1,0	45—55
7М	СЧ 36-56	2,8—3,2	0,9—1,1	1,5—2,0	1,0—1,2	0,3	0,12	0,2—0,4	» 0,7	1,0—1,2	45—55
8М	СЧ 28-48	3,0—3,4	0,9—1,1	1,5—2,0	0,8—1,1	0,3	0,12	До 0,15	» 0,3	1,0—1,2	40—50

Выбор марки чугуна и необходимость применения холодильников для обеспечения требуемой твердости

Требуемая <i>HВ</i> на рабочей поверхности при массе отливки, т				Шифр применяемого чугуна в соответствии с табл. VII.6 при толщине стенок отливки *, мм				Применение холодильников в форме на участках с заданной <i>HВ</i>
менее 3	3—4,9	5—14,9	15 и более	менее 60	60—89	90—149	150 и более	
170—228	163—207	156—196	149—187	8М	7М	—	—	Не применяются
				3	8М	8М; 7М	7М	Применяются
196—241	170—228	163—207	156—196	7М	7М; 6М	6М	—	Не применяются
				8М	8М; 7М	7М	6М	Применяются
—	196—241	170—228	163—207	6М	5М	4М	—	Не применяются
				7М	7М; 6М	6М; 2	2; 5М	Применяются
—	—	196—241	170—228	—	6М; 2	2; 5М	5М; 1	»

* Если приводятся два чугуна, то второй применяется для толщин, близких к верхнему пределу.

с расстоянием между ними 30 мм. Оно располагается вдоль желоба на расстоянии 60—100 мм от металла. Футеровка выполняется формовкой в специальном ящике из смеси состава (объемные доли): 85% хромомагнетитового порошка; 10—11% жидкого стекла; 4—5% воды.

При подогреве каждого выпуска чугуна из вагранки устройство выдерживает 15—20-часовую плавку или подогрев 150—200 т чугуна, причем состав металла при этом практически не изменяется.

При применении металлических холодильников толщина их принимается 0,4—0,6 от толщины захлаживаемой стенки детали. Чугун контролируется по излому клиновой пробы, вид которого должен соответствовать эталонному, отработанному в процессе производства, или, что предпочтительней, методом контроля S_z .

В качестве модификатора для СЧ применяют ФС75 (см. табл. VII.6). Более эффективными являются комплексные модификаторы, и поэтому на заводе «Уралмаш» применяется ФС75 совместно с СК10, в соотношении 1 : 1, что повышает

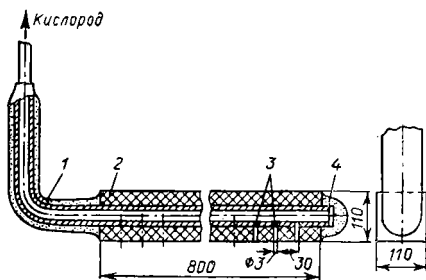


Рис. VII.7. Футерованная трубка — «гребенка» для продувки чугуна на желобе кислородом:

1 — металлическая трубка; 2 — хромомагнетитовая оболочка; 3 — сопла; 4 — обмазка из глины

σ_n на 10—15%, а f — на 15—20%. При этом целесообразно применять не смесь добавок, а сплав их. Так как живучесть модификаторов ограничена, то при большой потребности в металле полезно плавить чугун одновременно в нескольких вагранках.

При получении ВЧШГ наиболее целесообразным оказался автоклавный способ модифицирования. Для этого на «Уралмаше» применяют автоклав с ковшом емкостью 10 т (рис. VII.8). Автоклав автоматизирован, имеет два режима управления: автоматический и резервный ручной, при котором механизмы включаются раздельно.

Создана надежная система автоблокировки; светозвуковая сигнализация позволяет следить за ходом процесса. Особенностью технологического процесса является авторегулируемый режим давления в автоклаве во время испарения Mg, осуществляемый без измерения температуры чугуна. При этом автоматически настраивается и поддерживается оптимальное давление в автоклаве, соответствующее температуре чугуна.

Режим заключается в том, что перед введением колокола с Mg в автоклаве создается давление 3 кгс/см², в момент введения оно от нагрева газов повышается до 3,5—4,2 кгс/см², а сразу после введения открывается клапан непрерывного сброса давления. При $t = 1270 \div 1350^\circ\text{C}$ и большой массе Mg реакция не начинается сразу, а вокруг Mg и колокола создается оболочка из затвердевшего чугуна, и имеет место дореакционный период, обусловленный затвердеванием и последующим расплавлением оболочки. Клапан сброса давления выбирается таким, чтобы

за этот дореакционный период начальное давление в автоклаве к моменту начала реакции снизилось до оптимального рабочего. В начале реакции из-за барботирования металла и усиления теплоизлучения резко возрастает нагрев газов, не прекращающийся в течение всей реакции. Поэтому при реакции давление оказывается под воздействием двух факторов: непрерывного снижения вследствие

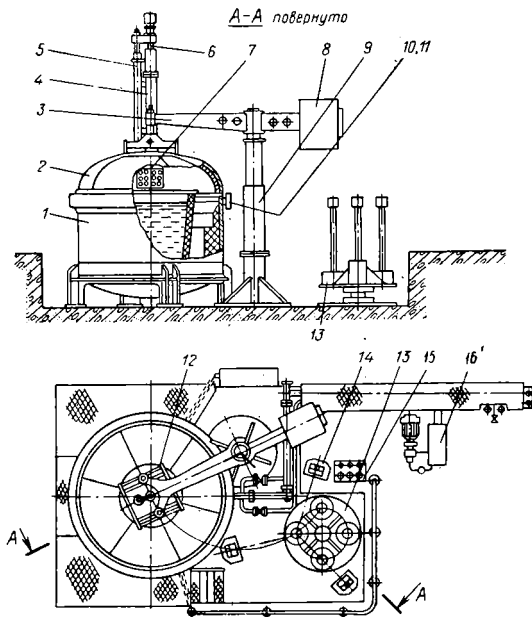


Рис. VII.8. Схема автоклава, применяемого на «Уралмаше»:

1 — корпус; 2 — крышка; 3 — траверса; 4 — механизм ввода магния; 5 — гидроцилиндр; 6 — шток; 7 — колокол; 8 — противовес; 9 — подъемно-поворотная колонна; 10 — байонетный затвор; 11 — резиновая манжета; 12 — подвеска; 13 — подъемно-поворотный стол для колоколов; 14 — опоры; 15 — пульт управления; 16 — маслonaсосная установка

сброса газов через клапан и непрерывного повышения от нагрева их. Сечение клапана выбирается таким, чтобы оба фактора компенсировали друг друга и давление, зафиксированное на момент начала реакции, оставалось постоянным и обеспечивало эффект авторегулирования давления при реакции. Это с достаточным приближением обеспечивается непрерывным отводом газов из автоклава через клапан постоянного сечения, независимого от температуры чугуна. Таким образом, режим давления должен обеспечивать создание постоянного начального давления и открывание клапана сброса давления в момент окончания опускания колокола

с Mg, что легко автоматизируется. Все сказанное должно уточняться опытным путем при разработке авторегулируемого режима*.

Состав обычно применяемого чугуна: 3,3—3,7% C; 2,0—2,5% Si; 0,4—0,8% Mn; до 0,1% P; до 0,08% S; до 0,1% Cr; до 0,2% Ni; а после модифицирования: 2,6—3,1% Si; 0,06—0,12% Mg. Для повышения температуры после модифицирования в ковш добавляется до 20% немодифицированного чугуна.

Формовка и заливка

Наряду с песчано-глинистыми пластичными формовочными смесями для стержней и форм на крупном литье применяются ЖСС. На крупных стержнях и формах их применение наиболее эффективно. На «Уралмаше» широко применяется смесь состава (массовые доли): песок 95%, отвердитель 5%, жидкое стекло 10—13%; пенообразователь (контакт Петрова или ДС-РАС) до 0,5%. Жидкие компоненты предварительно смешиваются и в смесь вводятся в совмещенном виде. К исходным материалам предъявляются следующие требования: кварцевый песок марок 1K016, 2K016, 1K02, 2K02 должен быть сухим, просеянным через сито 3×3 мм, влажностью не более 0,5% и $t = 15 \div 30^\circ \text{C}$; отвердитель без крупных включений, влажность его не более 0,3%; продолжительность твердения пробы (шлак + жидкое стекло) не более 30 мин; жидкое стекло — модуль 2,7—3,2 и плотность 1,3—1,35 г/см³; контакт Петрова марок КПК-1 и КПК-2 по ГОСТ 463—53; ДС-РАС—по ВТУ 31—56. Свойства смеси представлены в табл. VII.8.

Таблица VII.8

Свойства ЖСС в зависимости от ее выдержки

Показатель	Исходная смесь	Через 2 ч после изготовления	Через 4 ч после изготовления	Через 24 ч после изготовления
σ_c , кгс/см ²	0	Не регламентируется	3,5 и более	7 и более
Газопроницаемость	Не регламентируется	То же	Не регламентируется	100 и более
Влажность, %	6,5—8,0	—	—	—
Плотность смеси, г/см ³	1,35—1,4	—	—	—

Смесь ЖСС приготавливают в установках непрерывного действия с винтовым лопастным смесителем или в установках периодического действия с лопастным смесителем. Стержневые ящики и модели, предназначенные для работы, окрашиваются химически стойкими лаками (ХСЛ или полиуретановыми). При изготовлении небольшого количества стержней (до 5 шт.) можно пользоваться разовыми разделительными покрытиями: контактом Петрова, ДС-РАС, мыло-нафтом, эмульсолом и т. п. Ящики и опоки заливаются смесью с небольшим припуском на усадку — до 2%. До заливки и в процессе заливки устанавливают кар-

* Приблизленно оптимальное избыточное давление (кгс/см²) газов в автоклаве

$$p_{\text{газ}} = e^{\frac{11,88t_{\text{ч}} - 13\,260}{t_{\text{ч}} + 273}} - (p_{\text{ч}} + 1),$$

где $p_{\text{ч}}$ — металлостатическое давление чугуна на уровне колокола.

касы, крючки, прутки и холодильники. Удаление излишков смеси и выравнивание открытой поверхности, извлечение вкладышей и ослаблений производят до полного затвердевания смеси. Выем моделей из форм и стержней из стержневых ящиков производят после полного затвердевания смеси. Смесь считается затвердевшей, если под нажимом руки твердый, острый предмет (гладилка) не вдавится в нее.

Для упрочнения поверхностного слоя стержни и отдельные части их перед покрытием противопопригарной краской опрыскиваются из пульверизатора упорочияющим водным раствором патоки плотностью $1,15\text{--}1,17\text{ г/см}^3$; глубина пропитки 3—4 мм. С целью предотвращения образования пригара на отливках стержни и формы тщательно окрашиваются (графито-бентонитовой краской плотностью $1,32\text{--}1,35\text{ г/см}^3$). Краску наносят пульверизатором или кистью. Стержни и

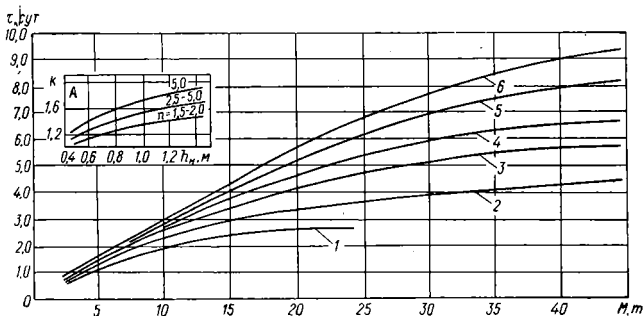


Рис. VII.9. Диаграмма для определения продолжительности выдержки отливок в форме:

1 — толщина стенок отливок до 35 мм; 2 — то же — 36—70 мм; 3 — то же — 71—100 мм; 4 — то же — 101—125 мм; 5 — то же — 126—200 мм; 6 — то же — более 200 мм

формы подвергают подсушке в камерных печах-сушилах. Режим подсушки стержней: температура посадки в печь 150°C ; повышение температуры в течение 1 ч до $240\text{--}250^\circ\text{C}$; выдержка 1 ч; охлаждение с печью 1 ч; общая продолжительность 3 ч.

Для крупных отливок предусматриваются прибыли значительных размеров и предъявляются особые требования к заливке форм и последующему уходу за прибылями. В этих случаях чугун заливают в форму через литниковую систему до тех пор, пока уровень его не поднимется на $1/3$ высоты прибыли, на металл в прибыль забрасывается древесный уголь, после чего чугун заливают непосредственно в прибыль до ее заполнения. После заливки прибыль засыпают сухим песком слоем 30—50 мм.

Процесс заливки форм с применением ЖСС имеет специфические особенности. Форма после заливки (через небольшой промежуток времени) увеличивает свою металлоемкость, уровень жидкого чугуна в ней резко понижается по причинам, связанным не с усадкой металла, а с повышенной податливостью стержней и форм через некоторое время после заливки. Поэтому при заливке форм нельзя ограничиться заполнением формы, как обычно, а необходимо в течение 5—10 мин добавлять металл, пока не прекратится понижение уровня его в форме, после чего осуществляется уход за прибылями, который заключается в том, что прибыли периодически доливаются «горячим» чугуном из отдельного ковша от 2 до 5 раз в течение 1—3 ч. Эти операции позволяют уменьшить размер прибылей вследствие частичного восполнения усадки металла в процессе затвердевания отливки за счет добавки его в прибыли. Если перед очередной добавкой на поверхности

металла в прибыли образовалась твердая корочка, ее необходимо пробить подогретым ломиком. Продолжительность выдержки отливок в формах обусловлена закономерностями охлаждения их и допустимой температурой, при которой они могут извлекаться из формы без опасности образования трещин. Допустимая температура зависит от многих факторов конструктивного и технологического характера. На основании производственного опыта продолжительность t в зависимости от массы отливки M , толщины ее стенок и разностенности n (соотношения толщин стенок) определяется по диаграмме (рис. VII.9). Для отдельных склонных к напряжениям и трещинам групп отливок вводятся поправочные коэффициенты. Так, для сложных отливок массой 10 т и более с большой разницей толщин стенок и затрудненным теплоотводом при большой глубине h_n нижней полуформы, а также для отливок колесных центров выдержку, определенную по диаграмме, следует увеличить путем умножения на коэффициент k , определяемый по графику A (см. рис. VII.9). Так, для шестерен, блоков, шкивов и колесных центров за толщину стенки принимают толщину обода; при этом, если обод или ступица разрезные, выдержка назначается по диаграмме; если неразрезные, то выдержка удваивается. Для отливок из ВЧШГ продолжительность выдержки, полученную по диаграмме, следует увеличивать в 1,5 раза.

4. ЛИТЬЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Основными потребителями чугунного литья в электротехнической промышленности являются предприятия, выпускающие электродвигатели общемашиностроительного назначения. Доля отливок в этих изделиях составляет по массе 25—65%, в зависимости от габарита электродвигателя. Из всего объема литья, производимого в электротехнической промышленности, чугунные отливки составляют

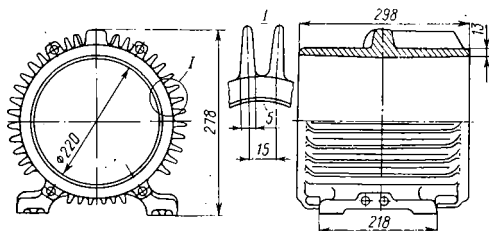


Рис. VII.10. Эскиз отливки станины электродвигателя 4A112

64%. Это в основном детали электродвигателей (станины, подшипниковые и фланцевые щиты и т. д.). Наиболее сложной и тонкостенной отливкой является станина электродвигателя (рис. VII.10).

В соответствии с требованиями, предъявляемыми к электродвигателям, отливки станин должны иметь: наиболее облегченную конструкцию (наименьшую толщину стенок); многочисленные тонкие ребра на внешней поверхности (для лучшего теплообмена); гладкую оребренную поверхность, не имеющую пригара (для исключения необходимости шпаклевки, ухудшающей условия поверхностного теплообмена).

Кроме того, в связи с тем, что механическая обработка станин электродвигателей производится на высокопроизводительных автоматических линиях, к отливкам станин предъявляются жесткие требования по твердости, обрабатываемости, шероховатости и геометрической точности. Отбел на торцах станин недопустим, так как периодическое попадание на автоматические линии отливок с отбелом выводит из строя режущий инструмент, замена которого резко снижает производительность линий. Таким образом, отливки должны иметь: равномерную

твердость, не превышающую *HB* 229 (с диапазоном разброса не более 20); 2-й класс шероховатости поверхности по ГОСТ 2789—73; допускаемые отклонения по размерам по 1 классу точности по ГОСТ 1855—55.

Выполнение этих требований значительно усложняет производство и практически исключает литье станин в обычные песчано-глинистые формы, так как при этом трудно получать формы с требуемой степенью уплотнения и увеличивается опасность получения брака по засорам вследствие спаривания полуформ по методу земля-земля. Кроме того, у станин малых габаритов расстояния между ребрами соизмеримо с размерами комочков формовочной смеси, что является причиной неудовлетворительного заполнения смесью пространства между ребрами.

В связи с изложенным при изготовлении отливок станин электродвигателей с высотами осей вращения 71—250 мм наиболее эффективно применение комбинированных способов формообразования (встряхивания с одновременным пресованием, пескодувно-прессового) или специальных способов литья (в оболочковые формы, облицованные кокнли) с использованием автоматических формовочных линий.

Состав металла для отливок станин электродвигателей с высотами осей вращения 71—250 мм колеблется в пределах: 3,2—3,6% С; 2,2—2,6% Si; 0,4—0,7% Mn; до 0,3% P; до 0,15% S. Механические свойства чугуна должны соответствовать марке СЧ 15-32.

Плавка чугуна производится чаще всего в обычной вагранке с использованием собственного возврата примерно при следующем составе шихты: чушковый чугун литейный — 50%; чушковый чугун передельный — 4%; лом чугуна — 15%; возврат собственного производства — 30%; ФС18 — 1%. Жидкий чугун доводят до $t = 1400 \div 1450$ °С и до нужного состава в индукционном миксере. При необходимости (в случае получения отбела на клиновой пробе более 1,5 мм) чугун при выпуске из миксера модифицируют в заливочном ковше ФС75 в количестве 0,3% от массы металла. Заливка производится при $t = 1300 \div 1380$ °С (в зависимости от габарита станин). Очистку отливок производят в дробеметных камерах, а обработку и зачистку — шлифовальными машинками. Далее отливки грунтуют способом электрофореза.

Кроме duplex-процесса, применяется и монопроцесс в ИП, причем в этом случае обычно выплавляется синтетический чугун на базе стального лома и около 30% своих отходов, что обеспечивает не только повышение свойств чугуна, но и снижение себестоимости, в особенности на заводах, где образуются большие количества тонколистовых отходов динамной и трансформаторной стали. Печи работают обычно на кислой футеровке примерного состава: 98,0—98,5% кварцевого песка (с содержанием кремнезема не менее 97%); 1,5—2,0% борной кислоты; по гранулометрическому составу смесь содержит до 45% фракции песка с размером зерен свыше 1 мм; до 20% — 0,63—0,1 мм; до 35% маршалита. Средняя стойкость такой футеровки составляет 1,5 мес непрерывной работы. Получила распространение и нейтральная футеровка из высокоглиноземистых материалов, при которой уменьшаются угар и безвозвратные потери металла на 20%; создается возможность проводить высокотемпературную обработку чугуна при $t = 1500 \div 1550$ °С; исключается пригар кремния из футеровки даже при его содержании в чугуне 0,1—0,2% и др. Примерный состав шихты для выплавки синтетического чугуна на заводах электротехнической промышленности: 68% отходов динамной стали; 24% возврата собственного производства; 4,5% карбюризатора (кокс сланцевый электродный); 3% ФС75; 0,5% ФМн1,0.

Состав отходов динамных сталей марок Э-11 и Э-12: 0,04% С, 0,8—1,8% Si, 0,2% Mn, до 0,025% P, до 0,03% S. Состав возврата собственного производства: 3,5—3,7% С, 2,2—2,4% Si, 0,35—0,4% Mn, до 0,1% P, до 0,03% S. В составе карбюризатора 93,03% С. Режим плавки не отличается от обычного.

5. САНИТАРНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ЛИТЬЕ

Характерной особенностью отливок для санитарно-технического оборудования является тонкостенность (4—8 мм). Номенклатура отливок разнообразна: секции отопительных радиаторов; секции отопительных котлов и гарнитура к ним; ванны купальные; трубы канализационные и фасонные части к ним; ребристые

трубы; раковины и др., общим объемом около 10% от всего выпуска чугуниного литья страны. Все это литье изготавливается почти целиком из СЧ; КЧ применяется в объеме около 2% от общего выпуска. Производство отливок механизировано и частично автоматизировано. Широко применяются машинная и пескометная формовка, центробежное и кокильное литье.

Плавку производят в вагранках производительностью 10—15 т/ч, оборудованных устройствами для охлаждения плавильного пояса, дожигания СО в отходящих газах и мокрого пылеулавливания. Состав и марки металла, применяемого для различных отливок, приводятся в табл. VII.9. Как видно из таблицы, особенностью состава чугуна является высокое содержание С и Р, что обеспечивает необходимую жидкотекучесть для тонкостенных отливок с развитой поверхностью.

Таблица VII.9

Химический состав чугуна

Типы отливок и марки применяемого чугуна	Массовая доля элементов, %				
	C	Si	Mn	P	S
Радиаторные секции, СЧ 12-28	3,4—3,7	1,6—2,1	0,6—1,0	0,3—0,6	До 0,15
Котельные секции, СЧ 15-32	3,5—3,7	1,7—2,2	0,8—1,1	0,25—0,4	» 0,15
Купальные ванны, СЧ 12-28	3,4—3,6	2,2—2,4	0,4—0,6	0,2—0,6	» 0,12
Канализационные трубы, СЧ 12-28	3,4—3,7	2,3—2,6	0,5—0,7	0,4—0,6	» 0,12
Фасонные части, СЧ 12-28	3,4—3,6	2,2—2,4	0,7—0,8	0,3—0,4	» 0,12

Таблица VII.10

Состав и свойства единых формовочных смесей

Типы отливок	Массовая доля, %			Физико-механические свойства		
	Оборотная смесь	Песок кварцевый	Глинистая суспензия	Газопроницаемость	Прочность, кгс/см ² , (10 ⁶ Па)	Влажность, %
Секции: радиаторов	96—92	2—3	2—4 *	>100	0,9—1,2	4,8—5,6
котельные	96—94	3—5	1,0—1,5 *	60—80	0,45—0,6	5,0—5,5
Купальные ванны	96,5—95,5	1,5—2,0	Глинисто-угольная суспензия 1,5—2,0 **	65—80	0,55—0,65	5—6

* Плотность глинистой суспензии 1,15—1,2 г/см³; состав: 30% глины + 70% воды.

** Плотность суспензии 1,1—1,15 г/см³; состав: 10% глины + 8% угля + 82% воды.

Состав и свойства стержневых смесей

Назначение смеси	Массовая доля, %			Физико-механические свойства			
	Кварцевый песок	Молотый бой стержней	Связующее (сверх 100%)	Газопроницаемость	Прочность всухую, кгс/см ² (10 ⁴ Па)	Прочность всухую, кгс/см ² (10 ⁴ Па)	Влажность, %
Стержни: радиаторов	90	10	НПК 2,2+ +ССБ 3,0	>100	0,045— 0,060	>12	2,4— 3,2
котельных секций	90—80	10—20	УКС 2,0+ +ССБ 3,0	>100	0,050— 0,060	>15	3,0— 3,6
фасонных частей (сырые стержни)	13	Оборотная смесь 65	Песок глинистый тощий 22	>65	0,5—0,6	—	5—6

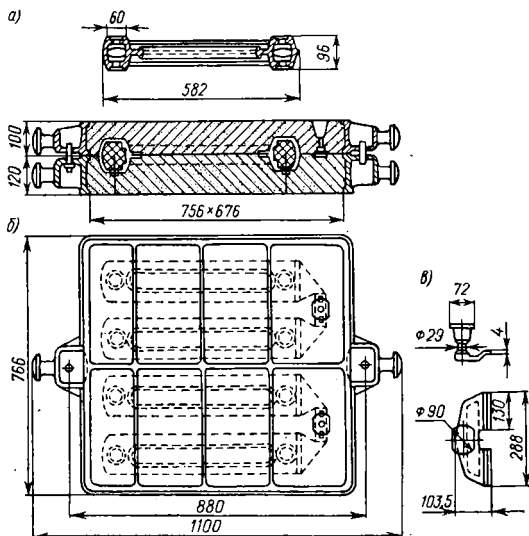


Рис. VII.11. Форма для отливок радиаторных секций: а — радиаторная секция; б — форма; в — литниковая система

Формовочные и стержневые смеси, составы которых приведены в табл. VII.10 и VII.11, готовятся в бегунах моделей 115, 116М и 1А12 соответственно, причем в последние годы внедряются еще более производительные бегуны непрерывного действия.

Формообразование отливок радиаторов осуществляется на машинах челночного типа модели ПФ-4 с нижним прессованием. В опоках с размерами в свету 756×676 мм и высотой 100—120 мм располагаются четыре отливки (рис. VII.11). Машину обслуживают 5 чел. Производительность машины 60—70 форм в час. В настоящее время на московском заводе им. Войкова уже работает автоматизированная линия марки ПФО (прессовая формовочная однопозиционная), созданная институтом Гипросантехпром в содружестве с заводом, на которой все операции, включая установку стержней, автоматизированы. Производительность труда формовщиков при этом возросла в 1,7 раза.

Отливки секций отопительных котлов разных размеров формуется в опоках с размерами в свету от 1600×800 до 1900×1200 мм на машинах ПНГ-100 и ПНГ-200 (прессовые с нижним прессованием, гидравлические, созданные на базе машины ПФ-4). Производительность машин до 25 форм в час. Формы для отливок чугуновых ванн размером $1500 \times 700 \times 445$ мм изготавливаются на машинах фирм «Герман», «Герман—Гартунг» грузоподъемностью 10000 фунтов и модели 235М. Достигнутая производительность на первых двух машинах составляет в среднем 20, а на последней машине — до 17 форм в час.

Трубы канализационные диаметром 50, 100 и 150 мм, со строительной длиной от 500 до 2100 мм (наиболее распространенными являются трубы длиной 2000 мм), отливаются на многороторных центробежных машинах, а фасонные части к трубам — на конвейерных линиях, оснащенных автоматизированными кокильными станками. Производительность многороторной машины составляет 60 труб в час, а кокильных конвейеров — 240—260 заливок в час.

Стержни для отливок радиаторных секций изготавливаются на пескодувных стержневых полуавтоматах модели АС-3С, производительностью 150 стержней в час. Стержни изготавливаются по половинкам и спариваются в сыром состоянии на полуавтомате. Принятый способ позволяет выполнять в стержне вентиляционный канал. Стержни для отливок котельных секций массой до 60 кг изготавливаются в основном на ручных станках с уплотнением смеси пневматическими трамбовками, а также на пескодувных машинах модели 28Б9. Сушка стержней для отливок радиаторных и котельных секций производится в горизонтальных конвейерных сушилках. Стержни для отливок фасонных частей применяются в сыром состоянии и изготавливаются на формовочных машинах модели 91271Б, производительностью до 60 съемов в час.

Операции заливки форм и выбивки повсеместно механизированы и автоматизированы. Очистка отливок производится в барабанах перюдического и непрерывного действия и в дробебетных камерах.

В. ЛИТЬЕ ЧУГУННЫХ ВАЛКОВ И ВАЛОВ *

Общая характеристика литья, состав металла, его структура и свойства

Основными требованиями к валкам и валам являются износостойкость, прочность и термостойкость. В зависимости от того, какие требования преобладают, отливки изготавливают из БЧ, ОЧ, СЧ и ВЧШГ. При этом свойства колеблются: $\sigma_b = 10 \div 90$ кгс/мм² [$(10 \div 90) 10^7$ Па], HB 200—675. Сочетанию всех указанных свойств наилучшим образом удовлетворяет отбеленный чугун (ОЧ), который может быть с ПГ или ШГ [23] и в той или иной степени легирован.

Сортамент чугуновых валков и валов, изготавливаемых в настоящее время, представлен семью укрупненными типами (табл. VII.12), а их состав и свойства приведены в табл. VII.13, VII.14 и VII.15. Структурная классификация матрицы

* Валами называют рабочий инструмент бумагоделательных машин; валы из отбеленного чугуна применяют в каландровых батареях.

Сортамент валков и валов

Назначение (тип)	Обозначение типа	Вид	Основные размеры бочек, мм	
			Диаметр	Длина
Листопрокатные	Л	Гладкие, массивные	400—1200	750—4000
Сортопрокатные	С	Гладкие, грубокалиброванные; массивные	150—1300	400—2500
Трубопрокатные, трубосварочные и трубоэлектросварочные	С	Грубокалиброванные, гладкие, массивные и пустотелые	150—1300	80—1500
Бумаго- и картоноделательные	К	Гладкие, массивные и пустотелые	200—1300	900—8000
Резино-технические	Р	Гладкие, массивные и пустотелые	200—1000	500—2500
Мукомольные	М	Гладкие, массивные с запрессованными после сверловки стальными осями	180—350	400—1000
Маслобойные и краскотерочные	М	Гладкие, пустотелые и массивные с запрессованными после сверловки стальными осями	350—450	600—1300

рабочего отбеленного слоя представлена микрофотографиями (рис. VII.12), которые могут содержать большее или меньшее количество ПГ или ШГ. Твердость валков и валов в нормативно-технической документации принято указывать по Шору; однако испытание можно производить и другими способами (табл. VII.16).

О механических свойствах нелегированного и низколегированного чугуна валков можно судить по твердости (рис. VII.13), а о твердости и износе белого слоя валков — по структуре (обозначения см. в табл. VII.13):

Структура	П+К	П+Б+К	Б+М+К
Твердость HSh	52—72	62—78	75—85
Относительный износ	0,07—0,25	0,04—0,14	0,01—0,05

При этом с увеличением концентрации белой составляющей макроструктуры, количества карбидов и дисперсности матрицы в отбеленном слое повышается твердость и уменьшается износ (см. «Отбеленный чугун». — В кн.: Энциклопедия неорганических материалов. Т. 2, с. 126—129).

Термостойкость, которую лучше всего определять по удельной протяженности трещин, возрастает с уменьшением количества карбидов и улучшением формы графита (табл. VII.17). Таким образом, повышение твердости в этом отношении уже играет отрицательную роль. Однако следует отметить, что при одинаковом количестве карбидов безграфитный рабочий слой имеет лучшую термостойкость, чем при наличии даже небольшого количества ПГ.

В соответствии с требованиями, предъявляемыми к валкам и валам, применяют различные методы контроля их структуры и свойств. Глубину рабочего слоя и переходной зоны отбеленных валков измеряют по обработанным торцам от их поверхности до заметных невооруженным глазом серых точек и начала серой зоны соответственно. Твердость поверхности бочки отбеленных валков определяется переносными приборами ТБП типа Шора и распределяется практически равномерно по всей глубине рабочего слоя; при наличии графита в рабочем слое

* Здесь и далее относительный износ дан по отношению к износу СЧ с HV 200.

Структура, состав и свойства рабочего слоя листопрокатных валков

№ п/п	Структура рабочего слоя	Исполнение (марка)	Твер- дость HSh	Глубина отбелен- ного слоя, мм	Массовая доля элементов, %							
					C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
						не более						
1	МБК	ЛПХНМд-76	76—85	12—30	3,0—3,4	1,0	1,2	0,1	0,1	1,4—1,8	4,4—4,8	0,3—0,5
2	БМК	ЛПХНд-70	70—80	12—30	2,6—3,0	0,5	1,2	0,5	0,1	0,6—1,1	3,5—4,5	(0,3—0,5)
3	ПБК	ЛПХНд-62	62—70	12—30	2,6—3,0	0,5	1,0	0,5	0,1	0,5—1,0	2,5—3,5	—
4	ПК	ЛП-57	57—65	10—25	2,7—3,2	0,8	0,5	0,5	0,1	—	—	(0,2—0,4)
5	ПК	ЛШ-57	57—65	12—32	2,9—3,4	1,0	0,9	0,5	0,02	—	—	—
6	ПКГ	ЛШНМ-52	52—63	—	2,9—3,5	1,8	0,7	0,2	0,02	—	1,2—2,0	0,3—0,5
7	ПКГ	ЛШ-53	53—61	—	3,0—3,6	1,3	0,9	0,4	0,02	—	—	—
8	ПКГ	ЛШН-50	50—58	—	3,0—3,6	1,8	1,0	0,2	0,02	—	1,2—2,0	—
9	ПКГ	ЛШ-48	48—58	—	3,0—3,6	1,8	0,9	0,4	0,02	—	—	—
10	ПКГ	ЛШН-44	44—53	—	3,0—3,6	2,0	0,9	0,2	0,02	—	1,2—2,0	—
11	ПГ; ПКГ	ЛШ-40	40—47	—	3,0—3,6	2,2	0,9	0,4	0,02	—	—	—
12	ПГ; ПКГ	ЛШ-37	37—45	—	3,0—3,6	2,2	1,0	0,2	0,02	—	1,0—1,6	—

Примечания.

1. В марке валков: первая буква (Л, С, К, М) — тип валка (листопрокатный, сортопрокатный и т. д.), П — пластинчатый графит; Ш — шаровидный; Х — хром; Н — никель; М — молибден, д — означает, что валки имеют двухслойное строение; цифры — нижний предел твердости. При обозначении структуры: М — мартенсит, Б — бейнит, К — карбиды, П — перлит, Г — графит.

2. Содержание Мо, указанное в скобках, — факультативное.

3. Прочерк в графе «Глубина отбеленного слоя» означает, что отбела в чистом виде нет, и рабочий слой содержит графит в количестве, нарастающем по его глубине.

Структура, состав и свойства рабочего слоя сорто- и трубoproкатных валков

№ п/п	Структура рабочего слоя	Исполнение (марка)	Твердость, HSh	Глубина от- беленного слоя, мм	Массовая доля элементов, %								
					C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al
						не более							
1	ПБК	СПХНМ-66	66—78	8—25	3,5—3,9	0,8	0,6	0,4	0,16	0,2—0,6	1,7—2,5	0,3—0,5	—
2	ПБК	СПХН-65	65—74	15—30	3,5—3,9	0,6	0,6	0,3	0,16	0,2—0,6	1,5—2,5	—	—
3	ПК	СП-60	60—72	15—40	3,4—3,8	0,7	0,7	0,5	0,16	—	—	—	—
4	ПК	СПХН-62	62—72	—	3,5—3,9	1,0	0,8	0,3	0,16	0,6—1,2	1,5—2,5	—	—
5	ПКГ	СПХНМ-64	64—75	—	3,5—3,9	0,7	0,8	0,3	0,16	0,2—0,6	1,7—2,5	0,3—0,5	—
6	ПК, ПКГ	СПХЮ-55	55—70	10—80	2,7—3,1	3,0	2,0	0,1	0,05	4,5—6,5	—	—	0,8—1,5
7	ПК	СПХ-50	50—62	Сквоз- ной	2,5—3,4	1,0	0,7	0,12	0,10	13,0— 17,0	—	—	—
8	ПКГ	СПХН-48	48—60		2,7—3,6	1,5	1,0	0,3	0,16	0,4—1,0	0,8—1,4	(0,3—0,5) *	—
9	ПКГ	СПХН-45	45—55		2,6—3,4	1,4	1,0	0,3	0,10	0,4—0,8	0,8—1,4		—
10	ПКГ	СПХН-40	40—50		3,5—3,9	1,8	1,0	0,3	0,16	0,6—1,0	0,8—1,4	—	
11	ПКГ	СПХН-37	37—45	—	2,6—3,4	2,0	1,0	0,3	0,10	0,4—0,8	0,8—1,4	—	—
12	ПКГ	СПХН-48	48—60	—	3,5—3,9	1,8	0,7	0,3	0,02	0,1—0,4	0,8—1,6	(0,3—0,5) *	—
13	ПКГ	СПХН-45	45—55	—	3,4—3,8	1,8	0,7	0,3	0,02	0,2—0,8	0,8—1,4		—
14	ПКГ	СПХН-41	41—50	—	3,4—3,8	2,0	1,0	0,3	0,02	0,2—0,8	0,8—1,4	—	—
15	ПКГ	СП-40	40—48	—	3,4—3,8	2,2	1,0	0,3	0,02	—	—	—	—
16	ПКГ	СПХН-38	38—46	—	3,4—3,8	2,2	0,7	0,2	0,02	0,1—0,4	1,0—2,0	(0,3—0,5) *	—

Примечание.
Обозначения см. табл. VII.13.

* По требованию заказчика.

Структура, состав и свойства рабочего слоя неметаллургических валков

№ п/п	Назначение валков	Структура	Исполнение (марка)	Твердость HSh	Глубина от- беленного слоя, мм	Массовая доля элементов, %							
						C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
							не более						
1	Бумаго- и кар- тоноделательные	ПКБ	КЛХНМ-66	66—75	10—40	3,3—3,8	0,5	0,4	0,6	0,16	0,1—0,4	1,8—3,0	0,3—0,6
2		ПК	КПХН-62	62—72	10—40	3,3—3,8	0,7	0,6	0,6	0,16	0,1—0,4	2,0—2,5	—
3		ПК	КП-60	60—68	8—25	3,5—3,9	0,7	0,7	0,6	0,16	—	—	—
4		МБК, ШГ	КШНМ-70	70—80	—	3,3—3,8	1,4	0,6	0,6	0,02	≤0,2	3,3—4,5	0,3—0,8
5	Резино-техниче- ские и пластмассо- вые	БПК	РПХНд-68	68—76	8—30	2,6—3,5	0,7	0,8	0,5	0,15	0,7—0,9	3,0—4,5	—
6		БПК	РПХНМ-68	68—76	8—25	3,4—3,8	0,6	0,4	0,6	0,16	0,1—0,3	2,0—2,5	0,3—0,5
7		ПК	РП-58	58—72	8—25	2,8—3,8	0,8	0,6	0,5	0,16	—	—	—
8	Мукомольные	БПК	МПХНд-65	65—80	10—30	3,2—3,8	0,5	0,6	0,4	0,16	0,4—0,6	1,8—2,5	—
9		ПК	МПН-60	60—70	8—25	3,4—3,8	0,8	0,8	0,5	0,16	≤0,2	0,5—0,8	—
10	Маслобойные и краскотерочные	МБК	МПХНд-70	70—85	8—28	2,6—3,0	0,5	1,2	0,5	0,10	0,6—1,1	3,5—4,5	—
11		ПК	МП-60	60—65	8—28	3,2—3,8	0,6	0,7	0,5	0,16	—	—	—

Примечание.
Обозначения см. табл. VII.13.

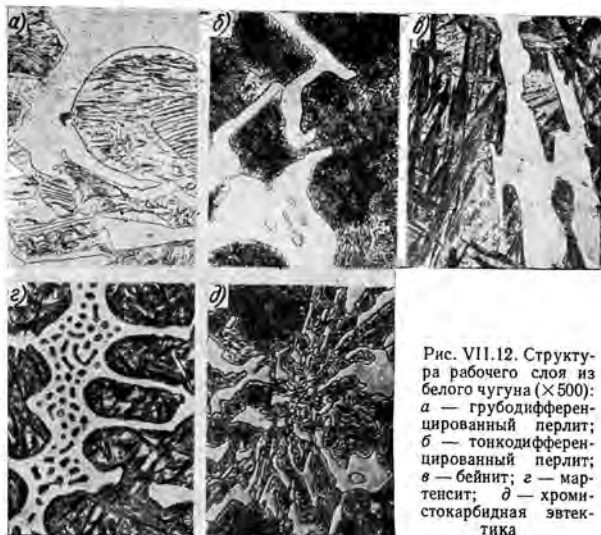


Рис. VII.12. Структура рабочего слоя из белого чугуна ($\times 500$): а — грубодифференцированный перлит; б — тонкодифференцированный перлит; в — бейнит; г — мартенсит; д — хромистокарбидная эвтектика

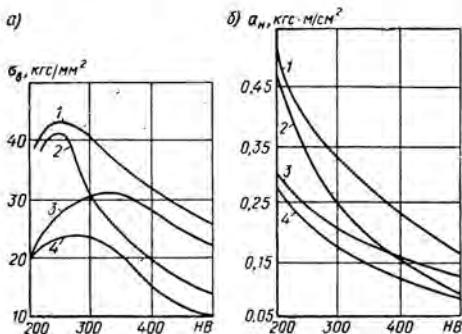


Рис. VII.13. Зависимость механических свойств от твердости валков:

1, 2 — при шаровидном графите; 3, 4 — при пластинчатом графите; 1, 3 — образцы радиальные; 2, 4 — образцы тангенциальные

Таблица VII.16

Взаимосвязь значений твердости по различным шкалам

HSh	HB	HRC	HSh	HB	HRC
32	200	13	64	440	47
36	228	20	68	473	50
40	255	25	72	506	53
44	285	29	76	538	55
48	315	33	80	571	58
52	345	37	84	605	61
56	375	40	88	640	63
60	407	44	92	675	65

Таблица VII.17

Влияние количества карбидов и формы графита на термостойкость (протяженность трещин) валков с ПКГ рабочим слоем

Количество карбидов, %	Удельная протяженность трещин, мм/см ²	
	при ШГ	при ПГ
5	4	10
10	8	17
15	13	28
20	19	37
25	28	53
30	43	68
35	54	79

твердость в соответствии с ГОСТ 11143—65 определяется с помощью приборов Бринеля на образцах, отрезаемых от торца бочки, на глубине 10—100 мм от поверхности в зависимости от назначения и марки валков и глубины используемого рабочего слоя. Оценку структуры рабочего слоя производят по образцам от торца бочки при увеличении $\times 500$ (см. рис. VII.12), а структуры сердцевин — по ее характеру на глубине до 30 мм в образцах от обработанной поверхности нижней шейки валков при увеличении $\times 100$ по 4-балльной шкале для оценки как формы включений графита (1-й балл — ПГ, 2-й — ВГ, 3-й — компактный графит, 4-й — ШГ), так и хрупкой составляющей матрицы (менее 3%, 3—10%, 10—20% и более 20%).

Износостойкость и эксплуатационную прочность отбеленных валков целесообразно выражать показателем качества [11]

$$A_k = \frac{x}{x+z},$$

где x — глубина чистого отбела, а z — нереходной зоны.

Особенности изготовления форм

Для отливки валков и валов применяют кокильные формы одноместные и многоместные (рис. VII.14), в которых отливают по 2—4 валка. Песчано-глинистые части формы, выполняющие нижнюю и верхнюю шейки, прибыль и литниковую сифонную тангенциально направленную литниковую систему, применяют только в сухом виде. Кокили, в зависимости от конфигурации бочки, могут быть гладкими цилиндрическими (рис. VII.14) и профилированными разъемными (рис. VII.15). Толщину кокилей δ_k определяют, исходя из диаметра бочки валков D_6 и необходимого технологического припуска на переточки Δh , который находится в пределах 80—120 мм,

$$\delta_k = 0,18D_6 + \Delta h. \quad (\text{VII.3})$$

Расчет конструктивных размеров профилированных кокилей проводят по формуле:

$$h = k \left(d_6 \operatorname{tg} \alpha + \frac{2\delta_{\text{нам}}}{\varepsilon} \right), \quad (\text{VII.4})$$

где h — высота неподатливой части кокиля, мм; α — угол наклона бурта, град; d_6 — диаметр буртов валка, мм; k — коэффициент торможения усадки валка,

равный 1,0—2,0 в зависимости от стойкости кокилей; $\delta_{\text{нам}}$ — толщина намазки буртов кокиля, мм; ϵ — коэффициент усадки чугуна валков, равный 2% для ОЧ, БЧ и 1,5% для ПЧ.

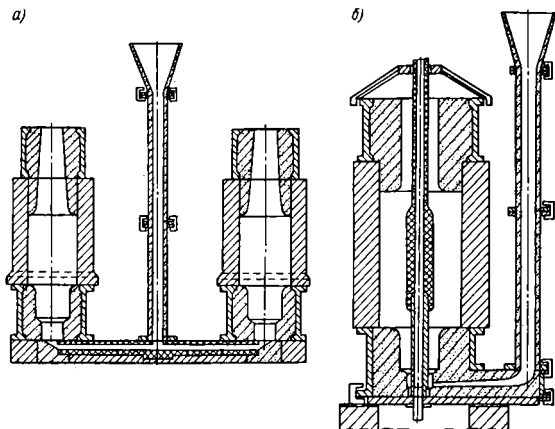


Рис. VII.14. Формы с гладким цилиндрическим кокилем: а — форма двухместная для отливки сплошных валков; б — форма одностенная для отливки полого вала

При разработке технологии высота прибыльной части принимается:

$$h_{\text{пр}} = qd_6 + 0,12l_6. \quad (\text{VII.5})$$

Здесь q — коэффициент, зависящий от теплового сопротивления формы (при отливке в покрашенные кокили $q = 0,8$, а в кокили с намазкой — $q = 0,9$); l_6 — длина бочки вала, мм.

Диаметр прибыли у основания равен черновому диаметру верхней шейки. Уклон от низа к верху прибыли принимается 3%. Диаметр питателя

$$D_{\text{п}} = 5 \sqrt{\frac{m}{\mu \tau_{\text{зал}}}}, \quad (\text{VII.6})$$

где m — масса заливаемого чугуна, кг; μ — коэффициент расхода; $\mu = (1,42-0,81) \lg D_6$; $\tau_{\text{зал}}$ — продолжительность заливки, с; $\tau_{\text{зал}} = 3\sqrt[3]{m}$.

Длина стойка:

$$l_{\text{ст}} = l_{\text{в}} + \Delta l, \quad (\text{VII.7})$$

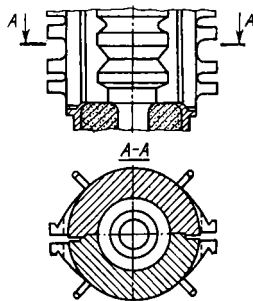


Рис. VII.15. Профилированные кокили для валков

где l_b — общая длина отливки валка вместе с прибылью, мм; Δl — участок стояка, создающий дополнительный напор при заполнении формы, равный обычно $(0,15 \div 0,25) l_b$, мм.

Плавка и заливка чугуна

Чугун для производства валков и валов плавят в печах практически всех видов (мартеновских, пламенных, ДЭП, ИП, вагранках), выбор которых производится по техническим и экономическим соображениям. К плавильным агрегатам предъявляют следующие требования: возможность получения чугуна с 2,2—4,0% С, различными видами и степенью легирования и модифицирования; обеспечение высокой чистоты чугуна от неметаллических включений и газов; перегрев чугуна в пределах 1400—1600 °С и выдача его кратным количеством для отливки валков массой от 0,1 до 75 т; гибкость в управлении (особенно во время доводки), обеспечение работы по строгому графику, так как отклонения выдачи плавки приводят к нарушению температурных условий заливки форм; максимальное использование крупногабаритного лома валков, возвратов собственного производства и стружки. Сравнительная эффективность печей с точки зрения указанных требований характеризуется данными табл. VII.18.

Таблица VII.18

Сравнительная эффективность плавильных печей

Печь	Оценка эффективности, балл						Средний балл
	Химический состав	Чистота расплава	Перегрев	Гибкость в доводке	Выдача чугуна к заливке	Использование лома и возврата	
Вагранка	2	1	1	1	2	2	1,5
ПП *	3	3	3	3	3	5	3,3
МКП *	3	4	4	5	4	4	4,0
ИП	5	5	5	4	3	5	4,5
ДЭП	4	5	5	5	5	4	4,7

* ПП — пламенная печь, МКП — мартеновская качающаяся печь.

Эффективность применения печей и особенно вагранок заметно повышается при использовании индукционных мнксеров.

Качество жидкого чугуна для отливки валков контролируют по показателю отбеливаемости n_o на пробе (рис. VII.16), который характеризует степень чистоты валковых расплавов от неметаллических центров кристаллизации и величину переохлаждения ΔT [12]. При $n_o = 25 \div 50\%$ расплавы имеют значительную замутненность и мало пригодны для отливки качественных отбеленных валков; наоборот, при $n_o = 75 \div 95\%$ они имеют минимальную замутненность, весьма склонны к ΔT и этим обеспечивают получение высококачественных отбеленных валков. В повышении и регулировании отбеливаемости валковых расплавов кроме состава чугуна большую роль играет печной шлак, а именно содержание в нем FeO, которое не должно превышать 5% при плавке в вагранке, 15% при плавке в ИП, 20% при плавке в пламенных, мартеновских печах и ДЭП. В этих условиях обеспечиваются $n_o = 75 \div 95\%$ и $A_k = 0,3 \div 0,4$. Если же содержание FeO в шлаке превышает указанные допустимые его пределы, то отбеливаемость расплавов снижается до $n_o = 25 \div 50\%$ и качество валков снижается до недопустимого уровня $A_k = 0,15 \div 0,25$.

В связи с этим следует проводить при необходимости раскисление шлака плавыковым шпатом, молотым ФС75, мелкодробленым ФМн75 — порознь или смесью, состоящей из этих компонентов. При составлении раскисляющей смеси

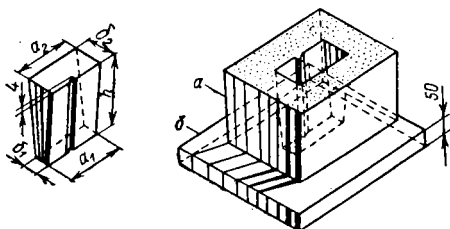


Рис. VII.16. Технологические пробы и вид собранной формы

Проба	a_1	a_2	b_1	b_2	h
I	100	105	40	45	120
II	95	100	30	35	120

следует их применять в следующих относительных количествах (%): $\text{CaF}_2 = 0,05 \Delta(\text{FeO})$; $\text{ФС} = 0,03 \Delta(\text{FeO})$; $\text{ФМн} = 0,10 \Delta(\text{FeO})$, где $\Delta(\text{FeO})$ — избыток закиси железа в шлаке, которую необходимо восстановить. Например, если в шлаке содержится 25% FeO и его нужно снизить на 10%, то CaF_2 нужно присадить $0,05 \cdot 10 = 0,5\%$ от массы чугуна; или $\text{ФС}75 = 0,03 \cdot 10 = 0,3\%$; или $\text{ФМн} = 0,10 \cdot 10 = 1\%$.

Макроструктура отбеленных валков и показатель их качества зависят также от перегрева металла в печи $\Delta t_{\text{пер}}$. При этом оптимальное значение $\Delta t_{\text{пер}}$, обеспечивающее наиболее высокие показатели A_k , достигается при выпуске чугуна с $\Delta t_{\text{пер}} = 20 \div 80^\circ\text{C}$ выше равновесной температуры реакции $\text{SiO}_2 + 2\text{C} = \text{Si} + 2\text{CO}$ (рис. VII.17) в зависимости от типа шихты (табл. VII.19) и степени легирования чугуна (табл. VII.20).

Модифицирование чугуна применяется для корректирования отбеливаемости расплавов и для образования ШГ. Первое обеспечивается присадками ФС75 в количестве 0,01% для уменьшения отбела на 1 мм по технологической пробе и 0,0001% Те — для увеличения отбела на 1 мм. Присадку производят в ковше: ФС75 — за 10—15 мин, Те — за 2—5 мин до заливки форм. Для сфероидизации графита присаживают в расплавы металлический Mg или лигатуру из Mg и PЗМ, Ni и Mg и др.

Модифицирование Mg (0,2—0,35% от массы чугуна) осуществляют в закрытом ковше под давлением около 3 кгс/см² (давление чугуна и атмосферы) путем обработки всего или 30—60% чугуна, предназначенного для заливки форм. Для этого применяют металлические сосуды-испарители, погружаемые в расплав, покрытый слоем содистого шлака при $t = 1360 \div 1380^\circ\text{C}$, так, чтобы в конечном итоге полу-

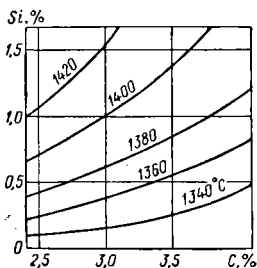


Рис. VII.17. Критические температуры ($t_{\text{кр}}$) равновесия реакции восстановления SiO_2 в зависимости от содержания C и Si

Применяемые шихты при плавке в разных печах

Компоненты шихт	Среднее содержание компонентов, %							
	Мартеновские и пламенные печи		Дуговые печи		Индукционные печи		Вагранки	
	1	2	3	4	5	6	7	8
Чугун ВК-2	25	25	25	—	15	—	20	20
Чугун ВД-2	10	—	—	—	—	—	20	—
Чугун М-2, М-3	—	10	15	—	—	—	—	10
Лом валков и отходы собственного производства	60	60	52	70	52	60	40	40
Лом стали	—	—	5	24	20	34	15	25
Подшихтовочные материалы, ферросплавы	5	5	3	6	3	6	5	5
Примечание. 1—8 — номера шихт.								

Таблица VII.20

Оптимальный перегрев чугуна при плавке

Номер шихты из табл. VII.19	$\Delta t_{\text{пер}}$ (°C) в зависимости от массовой доли легирующих элементов, %			
	Менее 1	1—3	3—5	Более 5
1; 7	20—30	35—45	50—60	60—70
4; 6; 8	35—45	40—50	55—65	65—75
2; 3; 5	50—60	55—65	60—70	70—80

промывной чугун содержал 0,03—0,06% Mg. Когда возможно образование в рабочем слое валков «черных пятен», чугун предварительно обрабатывают присадкой 0,05—0,10% сплава ФЦ или ФЦМ-5. Для отливки листопрокатных валков с ПК или ПКГ структурой в рабочем слое из чугуна с ШГ способом полупромывки промывной расплав приготавливают следующим образом. После окончания смешивания в заливочном ковше всего чугуна и систики шлака из него сливают 20—30% металла во вспомогательный ковш, вводят в него ФС75, чтобы получить в полупромывном чугуне 4—8% Si; если необходимо еще добавить 0,01—0,02% Mg, то его вводят присадкой 0,3—0,6% ЖКМ взамен 0,25—0,50% ФС75.

При производстве сортопрокатных валков и ряда листовых валков со структурой ПКГ или ПГ с ШГ в рабочем слое модифицирование чугуна осуществляют в заливочном ковше описанными способами или с помощью лигатур (ЖКМ, ЖКМК, Ni—Mg) с добавкой или без добавки РЗМ. При выпуске чугуна из ДЭП или ИП применяют ввод магниевых лигатур в заливочный ковш. При плавке в мартеновской или пламенной печи металл выпускают в промежуточный ковш и после систики шлака сливают в заливочный ковш, на дне которого помещена лигатура.

Лигатуры типа ЖКМ, ЖКМК и др. с размером фракций не более 50 мм помещают на дно ковша и пригружают металлическим ломом или вводят в расплав с помощью сосудов-испарителей. Этим снижают пирозэффект и исключают всплы-

вание комплексных лигатур на поверхность чугуна в ковше. Расход лигатур с 5—10% Mg составляет 2—3%. При обработке чугуна лигатурами температура не должна превышать 1380—1420 °С.

Получение валков с заданной глубиной отбеленного рабочего слоя обеспечивают путем контроля и регулирования отбеливаемости чугуна в процессе плавки с помощью указанных выше технологических проб (см. рис. VII.16). Пробы заливают в сухие песчано-глинистые формы с металлической плиткой. Пробы типа I применяют при отливке валков из чугуна с содержанием С менее 3,4%, а типа II — с содержанием С более 3,4%. Технологические пробы заливают при температуре близкой к той, при которой заполняют им формы валков. Охлаждают залитые пробы по строго определенному режиму (табл. VII.21).

Отливку отбеленных валков с заданной по техническим условиям глубиной отбеленного рабочего слоя обеспечивают при получении строго определенной глубины чистого отбела по технологической пробе (табл. VII.22).

Таблица VII.21

Продолжительность охлаждения проб

Операция	Продолжительность, мин	
	Проба I	Проба II
Охлаждение пробы:		
в форме до 700—800° С	8	5
на воздухе до 350—450° С	5	3
в воде до 60—80° С	2	1

Таблица VII.22

Глубина чистого отбела технологических проб (мм)
при плавке чугуна для отбеленных валков

№ п/п	Исполнение валков	Глубина отбеленного рабочего слоя валков, мм	Средняя глубина чистого отбела пробы (± 5 мм) при работе на шихтах (см. табл. VII.19)					
			1	2	3; 5	4; 6	7	8
1	ЛПХНМд-76, ЛПХНд-70	12—30	48	52	48	—	—	—
2	ЛПХНд-62	12—30	45	50	45	—	—	—
3	ЛП-58	10—25	38	42	40	—	—	—
4	СПХНМ-66	8—25	—	—	30	34	30	35
5	СПХН-58	15—30	—	—	35	38	35	38
6	СП-60	15—40	—	—	34	36	32	38
7	КПХНМ-66, КПХН-62	10—40	40	45	34	—	32	35
8	КП-60	8—25	35	40	30	—	29	32
9	РПХНМд-68, РПХНМ-68	8—30	38	42	35	—	32	36
10	РП-58	8—25	36	39	30	32	30	34
11	МПХНд-70, МПХНд-65	10—30	—	—	28	30	28	33
12	МПН-60, МП-60	8—25	—	—	23	25	22	25

Примечание.
Обозначения см. табл. VII.13.

Перегрев чугуна при отливке валков

Диаметр бочки валков, мм	Средняя $\Delta t_{\text{пер}}$ ($\pm 10^\circ\text{C}$) при использовании чугуна		
	нелегированного и низколегированного	средне- и высоколегированного	модифицированного магнием
С рабочим слоем из белого чугуна			
Менее 400	80	70	90
400—700	70	60	80
700—1000	60	50	70
Более 1000	50	40	60
С рабочим слоем из половинчатого чугуна			
Менее 400	85	80	95
400—700	75	70	85
700—1000	65	60	75
Более 1000	55	50	65

Кроме способа заливки всей литейной формы металлом из ковша без перерыва струи имеются специальные методы заливки: промывка и полупромывка. При любом способе заливки (в том числе при центробежном литье) необходимо строго выдерживать $\Delta t_{\text{пер}}$ металла согласно табл. VII.23.

При отливке валков методами промывки и полупромывки применяют два вида жидкого чугуна: первый, формирующий слой из БЧ и частично переходную зону из ПЧ, и второй, формирующий переходную и серую зоны. Процесс происходит в следующей последовательности: заполнение литейной формы до уровня ее верхней шейки жидким чугуном, предназначенным для образования рабочего слоя валка (номера 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8 в табл. VII.13; 5, 8, 10 в табл. VII.15); выдержка чугуна, залитого в форму, для затвердевания рабочего слоя валка; дальнейшее чередование доливок из второго ковша и выдержек для формирования переходной зоны с применением в первом случае нелегированного и низколегированного магниевого высококремнистого чугуна (1, 2 табл. VII.24) при полупромывке и относительно низкокремнистого (3—5, табл. VII.24) чугуна для промывки; доливка необходимой порции чугуна для обеспечения образования серой структуры в сердцевине и шейках валков.

Различие между этими методами состоит в том, что при промывке часть легированного чугуна сливают за пределы формы через летку, устроенную в опоке верхней шейки, а при полупромывке весь чугун из обеих ковшей идет на заполнение форм, без слива за их пределы.

На процесс формирования белого слоя и переходной зоны большое влияние оказывает продолжительность этапов заливки, полупромывки и промывки валков. Для расчетов может быть использована формула

$$\tau = ax + b \Delta t_{\text{пер}}, \quad (\text{VII.8})$$

где τ — продолжительность этапа, с; x — глубина макроструктурных зон (слоя чистого отбела или переходной зоны), мм; a и b — коэффициенты, зависящие от скорости затвердевания (когда формируется слой чистого отбела $a = 0,7 \div 0,8$, $b = 1,5 \div 2,0$; при формировании глубины общего отбела $a = 1,8 \div 2,0$, $b = 5,5 \div 6,0$). В частном случае для валков из чугуна с ШГ при глубине чистого отбела 25 мм и общего отбела 45 мм формула (VII.8) приобретает вид: для определения глубины чистого отбела $\tau = 18 + 1,7 \Delta t_{\text{пер}}$; для определения глубины общего отбела $\tau = 86 + 5,9 \Delta t_{\text{пер}}$.

Таблица VII.24

Химический состав и количество чугуна, применяемого в процессе полупромывки и промывки

№ п/п	Метод заливки форм	Массовая доля элементов, %						Количество чугуна от заливочной массы валков, %		
		C	Si	Mn	P	S	Ni	на полупро- мывку вал- ков	на промывку валков	
					не более				среднелеги- рованных	высоколеги- рованных
1	Полупромывка	3,0—3,2	4,0—8,0	0,5—1,0	0,4	0,02	—	20—25	—	—
2	»	3,1—3,4	3,0—6,0	0,5—1,0	0,2	0,02	0,8—1,6	15—20	—	—
3	Промывка	3,0—3,4	0,7—1,2	0,4—0,6	0,3	0,15	—	—	25—35	40—50
4	»	3,0—3,4	0,6—1,0	0,4—0,6	0,2	0,10	1,0—1,5	—	25—35	35—45
5	»	3,0—3,4	0,7—1,2	0,4—0,6	0,1	0,10	—	—	30—40	50—60

Режимы доливки и питания прибыли

Типы валков	Период доливки прибыли после заливки, мин	Дополнительная подпитка прибыли
Отливаемые в кокили с покраской, массой до 10 т	15—25	Не производится
То же, массой более 10 т	25—35	» »
Отливаемые в кокили с намазкой, массой до 5 т	5—10	Через 20—30 мин, 2 раза
То же, массой 5—10 т	10—15	Через каждые 20—30 мин до затвердевания прибыли
То же, массой более 10 т	15—20	То же

После окончания процесса заливки (любым методом) недолитую часть прибыли (100—300 мм) заполняют люнкеритом состава: 5% боксита молотого; 10% алюминиевого порошка; 25% ФС75 молотого; 35% древесного угля молотого; 25% шамотного порошка или древесным углем — после чего, через определенный промежуток времени (табл. VII.25), производят доливку и питание прибыли жидким чугуном.

7. ЛИТЬЕ ИЗЛОЖНИЦ

Классификация изложниц, условия их работы и требования к металлу

Чугунные изложницы, применяемые в металлургии, насчитывают свыше 300 типоразмеров массой от 0,1 до 27 т; их потребление у нас сейчас уже значительно превышает 2 млн. т в год. Кроме того, они применяются еще для кузнечных слитков массой до 250 т. По ТУ 14-12-14—71 изложницы делятся по развесу, назначению, конструкции, форме внутреннего сечения и наружной поверхности, характеру усиления бандажми, способу выплавки чугуна и его составу, типам заливаемых сталей, способу утепления верха слитка, обработке торцевых поверхностей и качеству (I и II сорт). Техническими условиями регламентированы чистота и наличие дефектов на внутренней, наружной, торцевых поверхностях и на дне изложниц, размеры дефектов, подлежащих заварке, а также допускаемые отклонения от номинальных размеров по чертежу. Конструкция и характеристика применяемых изложниц приведены в атласе [8]. На рис. VII.18 и VII.19 показаны изложницы: сквозная (массой 13,5 т) и глухонная (массой 14,8 т).

Расход изложниц в большой мере зависит от свойств материала, конструкции и условий их эксплуатации. При наполнении сталью внутренняя поверхность изложницы нагревается до 900—1000 °С, температура наружной поверхности достигает 400—700 °С. Наиболее резкий перепад температур в стенке появляется сразу после заливки. Сильнее нагреваются длинные стороны в середине, короткие стороны и особенно углы остаются холодными. В результате этого между различными частями и внутри стенок возникают напряжения. В процессе разогрева металл внутренней поверхности изложницы испытывает сжатие, а в наружных слоях — растяжение. После разведения слитков знак напряжений меняется на обратный. Кроме того, при нагреве изложниц возникают напряжения, связанные с изменением структуры и объема чугуна. В результате этого иногда образуются трещины, которые по А. А. Горшкову [6] классифицируются как трещины

первого рода, возникающие в результате одностороннего нагревания в начальный период после заливки металла, образующиеся на первых наливах, как правило, на наружной, менее нагретой стороне и обычно проходящие на всю толщину стенки; трещины второго рода, возникающие обычно постепенно с внутренней стороны и проходящие через всю стенку; трещины третьего рода, которые называют также сеткой разгара, возникающие в результате многократного повторения цикла нагрев—охлаждение, имеющие разную глубину

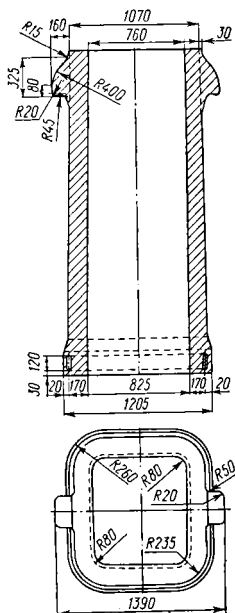


Рис. VII.18. Сквозная уширенная книзу квадратная изложница массой 13,5 т для 12,5-тонного слитка

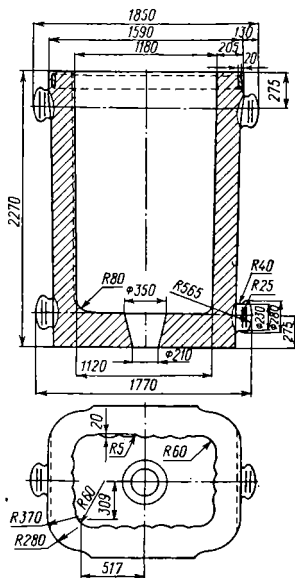


Рис. VII.19. Глухонная прямоугольная изложница с волнистой внутренней поверхностью массой 14,8 т для 13,1-тонного слитка

и ширину в зависимости от свойств металла, длительности и условий эксплуатации. В результате развития напряжений наблюдается коробление изложниц, что особенно характерно для изложниц из ВЧШГ и стали. Кроме того, они испытывают также непосредственное воздействие жидкой стали, причем происходит разрыв стенки или дна, а также приваривание слитка. При эксплуатации бывают также случаи механических повреждений: обрыв ушей и цапф при стрипперовании.

В соответствии с типовой инструкцией по учету стойкости изложниц различают: продольные трещины; поперечные трещины; выгар и вырыв стенки; разрыв стенки; сетку разгара; механические повреждения и застревание слитка.

Состав изложниц первого сорта по ТУ 14-12-14—71

Группа	Массовая доля элементов, %							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mg	Ti *
				не более				
Из доменного чугуна первой плавки	4,0	0,7—1,2	0,6—1,3	0,15	0,04	0,10	—	0,05—0,10
Из модифицированного Mg доменного чугуна первой плавки	3,6	1,3—2,6	До 1,2	0,15	0,015	0,10	0,04—0,07	
Из ваграночного чугуна	3,6	1,6—2,3	0,5—0,9	0,15	0,10	0,10	—	
Из ваграночного чугуна для сортовых и блюминговых изложниц массой до 5 т	3,6	1,5—2,2	0,6—0,9	0,15	0,10	0,10	—	
Из модифицированного Mg ваграночного чугуна	3,5	1,3—2,6	До 0,8	0,15	0,015	0,10	0,04—0,07	

* Модифицирование Ti производится только на некоторых заводах.

* Модифицирование Ti производится только на некоторых заводах.

С учетом специфических условий работы материал изложниц должен иметь высокие значения λ и δ , низкий E и малый α . На работоспособность изложниц большое влияние оказывают также циклическая вязкость, температуропроводность, ростоустойчивость и окалиностойкость металла. При этом, учитывая масштабы производства изложниц, материал для их изготовления должен быть недорогим (табл. VII.26). Изложницы из обычного и низколегированного СЧ должны иметь серый или темно-серый однородный зернистый излом без усадочных раковин и пористости. Металлическая основа должна быть Fe—П или П. Наличие структурно-свободного Ц не допускается.

В изложницах из СЧ, выходящих из строя по трещинам, рекомендуется иметь больше крупного графита. Однако следует иметь в виду, что оптимальный состав чугуна в сильной степени зависит не только от массы и способа производства изложниц, но и от способа плавки и наследственных факторов [24].

Изложницы из ВЧШГ должны иметь светлый мелкозернистый однородный излом без усадочных рыхлотов и пористости. Графит должен быть шаровидный, допускается компактный *. Для мелких изложниц металлическая основа должна быть П—Fe с содержанием П до 80%. Такие изложницы характеризуются повышенной стойкостью благодаря большей прочности, пластичности, росто- и окалинустойчивости металла по сравнению с СЧ.

Технология изготовления форм, плавки и заливки

В большинстве цехов отливка изложниц осуществляется в разовых формах; некоторые старые цехи применяют полупостоянные формы, но при этом скорость кристаллизации наружных и внутренних слоев неодинакова, что снижает стой-

* Перспективным является также ЧВГ, характеризующийся более высокими механическими свойствами, чем СЧ, меньшим E и большей λ , чем ВЧШГ.

кость отливок. Кроме того, точность размеров и качество наружной поверхности у них хуже. Изготовление разовых форм обычно производят по чистой металлической модели с набивкой пневматическими трамбовками. Более совершенными являются уплотнения с помощью пескометов ПН-40 и процессы с применением ЖСС. Состав и свойства смесей некоторых заводов приведены в табл. VII.27.

Состав красок, применяемых при изготовлении форм, различен. Так, на Магнитогорском металлургическом комбинате для этого используют пасту ГБ плотностью 1,2—1,5 г/см³; на заводе «Запорожсталь» — 40% пасты ГБ и 60% сербристого графита, плотность 1,4 г/см³; на заводе «Криворожсталь» — 70% молотого кокса, 26% черного графита, остальное эмульсия глин, плотность 1,4 г/см³. Покраску осуществляют в два-три приема с перерывами между покрытиями не менее 30 мин, затем заглаживают кистью (замывают), используя краску плотностью 1,05—1,10 г/см³. Толщина слоя краски должна быть 2—3 мм.

Сушка форм и стержней осуществляется в течение 8—20 ч. Так, на Магнитогорском металлургическом комбинате режим сушки крупных форм в камерных сушилках после посадки в камеру при 80 °C составляет: подъем температуры и выдержка при 100 °C — 3 ч; подъем температуры до 250 °C — 2 ч; выдержка при 250 °C — 1 ч; подъем температуры до 350 °C — 3 ч; выдержка при 350 °C — 6 ч. После покраски формы и стержня, а также сборки формы производят подсушку при 350 °C в течение 2 ч; глубина просушенного слоя должна быть не менее 100 мм. Мелкие и средние формы сушат в конвейерном рециркуляционном проходном сушиле в течение 8 ч. Глубина просушенного слоя должна быть не менее 60 мм.

Сборку форм производят с прокладкой глиняных валиков. Скрепление форм осуществляют при помощи скоб. В последние годы на многих заводах сквозные изложницы (на заводе «Запорожсталь» и глухонные) отливают без верхней опоки.

На ряде заводов изложницы отливают из доменного передельного чугуна, поступающего в чугуновозных ковшах, причем для удаления спели и снижения температуры часто выдерживают металл в отстойниках в течение 1—3 ч. Для доведения состава до требуемого в отстойники иногда вводят ФМи и ФС. При работе без отстойников для снижения температуры с тем же успехом присаживают в чугуновозные ковши чушки массой около 1 т каждая. Для отливки таких чушек используют остатки металла в ковшах. Заливку форм изложниц из доменного чугуна осуществляют из 30—60 т створных ковшей; во избежание попадания спели в форму в створном ковше всегда оставляют 3—7 т чугуна. При применении ваграночного чугуна шихта согласно ТУ 14-12-14—71 должна содержать до 50% литейных чугунов марок ЛК1, ЛК2 и ЛК3, остальное — бой изложниц и передельный чугун; не допускается применение стали в шихте. Заливку форм в этих цехах производят из поворотных ковшей через носок, после чего производят двух-трехразовую подпитку. При заливке форм температура обычно находится в пределах 1180—1220 °C. Исследования показали, что при повышении $t_{зал}$ до 1250 °C стойкость изложниц возрастает; однако при этом повышаются требования к качеству покраски форм, причем необходимо усилить подпитку отливки. На заводе «Запорожсталь» при отливке изложниц без верхних опок для подпитки устанавливают специальные воронки из шамота. Образовавшуюся корку затвердевшего металла перед подпиткой прожигают O₂; при этом в воронку дают измельченную титановую губку.

Производство изложниц из ВЧШГ в нашей стране пока мало распространено (табл. VII.28), но, несомненно, будет в дальнейшем расширяться.

Для получения ВЧШГ при производстве изложниц применяют различные способы модифицирования: чушковым Mg в открытых ковшах, автоклавах, герметизированных ковшах, вдуванием порошкового Mg в открытых ковшах и лигатурой, вводимой через реактор и др. (более подробно о методах модифицирования см. гл. III). Применяемые при этом составы металла на разных заводах различны (табл. VII.29).

На заводе «Криворожсталь» модифицирование доменного чугуна производят порошковым Mg. Изложницы массой 13 т охлаждаются в форме 48 ч. Металлическая основа изложниц получается П—Fe; графит по всему сечению шаровидный и компактный. Стойкость изложниц на 60% выше, чем из СЧ. Расход Mg 1,8—2,0 кг/т, а ФС — 6—8 кг/т. На Керченском металлургическом заводе порош-

Состав и свойства формовочных смесей, применяемых при отливке изложниц

Таблица VII.27

Завод	Объемная доля, %					Физико-механические свойства		
	Отработанная смесь	Песок	Глина	Опилки	Шлак феррохромового производства	Газопроницаемость	Сырая прочность, кгс/см ² (10 ⁵ Па)	Влажность, %
Магнитогорский металлургический комбинат	70	20	10	—	—	100	0,4—0,6	7—9
«Криворожсталь»	60	30	10	—	—	90	0,6—0,8	5—6
Нижнетагильский металлургический завод	75	10	15	—	—	100	0,5—0,7	8—10
Череповецкий металлургический комбинат	88—80	10—13	2—7	—	—	80	0,45—0,60	6,0—6,5
«Запорожсталь»	68—73	12	15—20	—	—	80—130	0,5—0,7	4,5—6,5
»	—	95—97 *	—	—	3—5	150	1,5—3,0	4,5—5,4
Карагандинский металлургический комбинат	60—65	10—25	5—8	10—12	—	85	0,25—0,40	5,5—6,5

* ЖСС; связующее и добавки 7,4—8,4% сверх 100%.

Производство изложниц из ВЧШГ на отечественных металлургических заводах

Завод	Масса изложниц, т	Объем производства, тыс. т		Способ модифицирования
		1969 г.	1974 г.	
Нижнетагильский *	До 3,8	2,00	3,0	В открытом ковше
Северский **	1,1	6,30	6,8	То же и в автоклаве
Ревдинский ***	0,5	2,48	2,5	В открытом ковше
Нижнесергинский	1,2	—	1,3	» » »
Руставский	5,2	17,70	22,0	» » »
Краматорский	0,6	3,47	4,1	» » »
Алапаевский	1,0	—	3,5	В автоклаве
Лысьвенский	0,8	4,40	4,4	» »
Донецкий	4,0	3,60	0,5	В чугуновозном ковше
«Электросталь»	1,4	2,10	1,5	В герметизированном ковше
«Запорожсталь»	3,8	5,36	5,7	Лигатурой в реакторе
им. Дзержинского	6,7	1,48	2,0	Вдуванием порошкового Mg
Керченский	8,5; 3,4	0,84	20,5	» » »
«Криворожсталь»	13,5	—	10,0	» » »
«Красный Октябрь»	6,2	—	1,2	» » »
Всего		49,73	89,0	

* Металлургический комбинат.
 ** Трубный завод им. Меркулова.
 *** Метизно-металлургический завод.

Таблица VII.29

Состав ВЧШГ, применяемого для отливки изложниц на металлургических заводах

Завод	Массовая доля элементов, %					
	C	Si	Mn	P	S	Mg
«Криворож-сталь»	4,0—4,3	0,7—1,4	0,5—1,3	До 0,06	До 0,008	0,025—0,07
Керченский	3,6—4,0	1,3—2,4	До 0,8	» 0,18	» 0,01	0,03—0,08
«Запорож-сталь»	3,7—4,0	1,5—2,8	0,6—1,2	—	» 0,01	0,03—0,07
Лысьвенский	>3,2	2,4—2,8	0,1—0,5	До 0,16	» 0,02	0,03—0,08

ковым Mg модифицируют ваграночный чугун, причем расход Mg 2,2—2,4 кг/т, а ФС — 6—8 кг/т. Изложницы массой 8,5 и 4 т имеют соответственно стойкость в 1,6 и 2,0 раза выше, чем из СЧ. На заводе «Запорожсталь» модифицируют доменный чугун Si—Mg лигатурой. Расход лигатуры с 5% Mg составляет 30—35 кг/т. Содержание Si при этом повышается на 1,2—1,8%. Отливают глухондонные

изложницы массой 4 т (вследствие повышения содержания Si отливать более крупные изложницы нельзя). Отливки выдерживают в форме не менее 40 ч. На Лысьвенском металлургическом заводе модифицирование металла для изложниц массой 0,8 т производят в автоклаве. Расход Mg составляет 2,5 кг/т, а ФС — до 10 кг/т. Структура чугуна получается Fe—P (не более 40% P, иначе производят отжиг изложниц)*.

Исследования и опыт показывают, что уже в настоящее время имеется возможность более широкого применения ВЧШГ при производстве изложниц мелкого, среднего и крупного развеса. Объем производства их уже может достигать более 500 тыс. т в год. Трудности возникают при отливке прямоугольных изложниц для листовых слитков. Однако японская фирма «Кубота» за счет создания новой конструкции и применения ВЧШГ с содержанием Si = 1,60÷1,85% при $S_2 = 0,99 \div 1,05$ получила повышенные стойкости и этих изложниц [7]. Прежде всего из ВЧШГ следует отливать сквозные квадратные и круглые изложницы, а также глухонные для разливы стали на слитки такого же сечения.

Для получения ВЧШГ следует отдавать предпочтение процессам, при которых используется чистый Mg с последующим вторичным модифицированием ФС. В этом отношении наибольший интерес представляет модифицирование чугуна вдуванием порошкового либо гранулированного Mg. Этот процесс полностью отвечает требованию массового производства при применении ковшей большой емкости и зарекомендовал себя простотой и надежностью работы оборудования, стабильностью получения заданного содержания Mg, отсутствием вынужденного повышения содержания Si, что имеет место при модифицировании Si—Mg, и комплексными Si—Ca—Mg лигатурами, возможностью модифицирования чугуна с практически любым содержанием S, низкими затратами на модифицирование, стабильным повышением стойкости изложниц крупного, среднего и мелкого развеса из доменного и ваграночного чугуна. Для дальнейшего увеличения объема производства изложниц из магнито-чугуна в специализированных цехах может быть использована продувка металла гранулированным Mg непосредственно в чугуновозных ковшах [13]. По-видимому, целесообразно соорудить такие установки для продувки Mg в одном ковше прямо в литейном цехе.

Для отливки средних и крупных изложниц из ВЧШГ следует рекомендовать содержание 4,0% C, 0,6—1,0% Si, так как при снижении массовой доли Si стойкость изложниц повышается. Следует также отметить, что при использовании чугуна с таким содержанием Si ШГ и компактный графит в изложницах получают при толщине стенки около 200 мм по всему сечению при 0,025—0,035% Mg, что позволяет понизить расход Mg.

В отношении крупных и средних изложниц необходимо принимать меры против раннего коробления. Поэтому следует содержание Mn иметь 1,0—1,3%, т. е. на уровне, который обеспечивает перлитизацию структуры; при этом получается P более устойчивый против ферритизации матрицы в процессе эксплуатации. Более жесткая структура P лучше противостоит короблению стенок изложниц. Значительным резервом дальнейшего снижения расхода изложниц из ВЧШГ является создание конструкций, устойчивых против коробления, при одновременном снижении их массы на 20—30% и больше. Так, на заводе «Криворожсталь» расход облегченных изложниц из ВЧШГ для 12,5-тонного слитка был снижен до 8,4 кг/т стали против 12,5 кг/т при обычном процессе.

Длительность выдержки отлитых изложниц в форме зависит от их массы и толщины стенок. При ранней выливке, например при $t = 600 \div 700^\circ\text{C}$, эксплуатационная стойкость изложниц понижается в связи с литейными напряжениями. После заливки форм производят следующие операции: через 15—20 мин после ее окончания снимают верхнюю кокильную форму; через 2—6 ч после окончания заливки для облегчения усадки производят подрыв или выемку каркаса стержня; далее изложница охлаждается в опоке и в «шубе» (спекшейся формовочной массе). Длительность охлаждения регламентируется на разных заводах исходя из наличия опочной оснастки, площадей и места охлаждения (в опоках и в «шубе») в пределах от 24 до 100 ч (суммарно).

* Данные по «Уралмашу» см. выше (с. 560).

Выбивку стержней производят в гидрокерах, на установках с электрогидравлическим эффектом и вручную. Обрубка и очистка изложниц остается трудоемкой операцией. На некоторых заводах для удаления крупных дефектов применяют электровоздушную резку. Обрубку и зачистку производят пневматическими зубилами и абразивными кругами. Механическая обработка торцов и дна глухонных изложниц производится на фрезерных станках.

Пути дальнейшего повышения стойкости изложниц

Большая металлоемкость производства изложниц требует изыскания путей дальнейшего повышения их стойкости и снижения расхода; основные направления в этом отношении должны быть: совершенствование конструкции; повышение стойкости рабочего слоя за счет легирования; улучшение условий эксплуатации; ремонт изложниц; более широкое применение ВЧШГ и ЧВГ и более равномерное температурное поле в стенках изложниц.

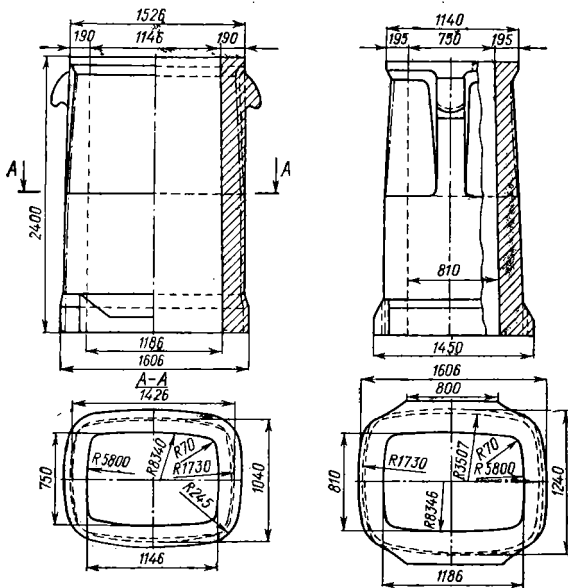


Рис. VII.20. Термоуравновешенная сквозная изложница завода «Запорожсталь»

Однако последнее очень важное условие не достигается равномерной толщиной стенок, так как изложницы с одинаковой толщиной стенок прогреваются неравномерно, что приводит к появлению напряжений. Поэтому при разработке новых конструкций изложниц для снижения напряжений и повышения стойкости стремятся к тому, чтобы нагрев их был более равномерным. Как показали исследования [16], для этого необходимы термоуравновешенные изложницы с соблюдением для всех участков равенства

$$S \sqrt{\Delta t t_{cp}} = S_{max} \sqrt{(\Delta t t_{cp})_{max}}, \quad (VII.9)$$

где Δt — разность температур между внутренней и внешней поверхностями стенки в любом участке изложницы; $t_{\text{ср}}$ — значение средней температуры; S — толщина стенки в том же участке; $(\Delta t t_{\text{ср}})_{\text{max}}$ — максимальное значение произведения, полученное в процессе эксплуатации изложницы-модели с одинаковой толщиной стенки, которая определяется по формуле $S_{\text{max}} = 0,2\sqrt{ab}$, где a и b — размеры полости изложницы. При этом Δt и $t_{\text{ср}}$ определяют экспериментально на изложнице с одинаковой толщиной стенки.

На рис. VII.20 показана конструкция термоуравновешенной изложницы за- вода «Запорожсталь». Расход таких изложниц составляет 10 кг/т против ранее

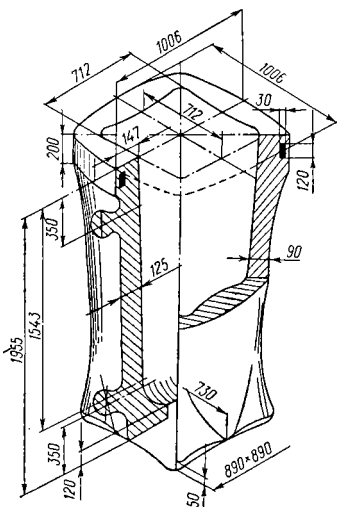


Рис. VII.21. Глухонная изложница с криволинейной наружной поверхностью

1,45 г/см³, примененная на заводе «Криворожсталь»: 42% борной кислоты; 5% асбестовой крошки; 5% мертеля; 2% патоки или сульфитного щелока; 46% воды.

Улучшение структуры и повышение стойкости изложниц с ПГ достигнуты также за счет добавки Ti как в доменный, так и ваграночный чугун, причем добавка Ti (в виде губки) в ковш и особенно в литниковую чашу обеспечивает несколько больший эффект, чем при вводе его в вагранку (при одинаковом остаточном содержании 0,05%). Модифицирование Ti, способствующее укрупнению графита, эффективно для замедления процесса образования сквозных трещин. При этом стойкость тяжелых изложниц из доменного передельного чугуна повышается на 5—15%. Точно так же повышение стойкости изложниц массой 7—25 т в среднем на 12% получено при обработке передельного чугуна путем вдувания N₂ в металл через две пористые огнеупорные пробки в днище 60-тонного разливочного ковша [16]. При продувке снижается содержание C в среднем на 0,15% и понижается газонасыщенность чугуна; установлено, что при этом повышается прочность чу-

нмевших место 17 кг/т. Совершенствование конструкции изложниц возможно также экспериментально-расчетным методом определения напряжений с помощью тензометрирования на моделях из оргстекла [16]. Волгоградским политехническим институтом разработаны с использованием этого метода конструкции облегченных изложниц с криволинейной поверхностью (рис. VII.21). Расход их на 20—25% ниже ранее применявшихся. Такая уравновешенность получена также при оформлении стенки изложницы с переменной толщиной (рис. VII.22) [14].

Для предупреждения приваривания слитка и раннего образования разгара внутренней поверхность изложницы легируется Al, Fe, В и др. Для этого на стержень поверх обычной краски наносят слой, содержащий легирующие элементы, которые диффундируют на глубину до 10 мм и изменяют микроструктуру поверхностного слоя. В частности, при окраске стержней алюминиевой краской образуется защитная пленка Al₂O₃, за счет чего повышается стойкость изложницы против приваривания. Предложена для этого также легирующая краска на основе борной кислоты [16] плотностью 1,40—

гуна, что объясняется снижением в нем содержания графитовой спели, усреднением состава металла, равномерным распределением графита и уменьшением пористости.

Таким образом, имеются значительные резервы для повышения качества изложниц как из ВЧШГ, так и СЧ. Большое значение в этом отношении имеют, конечно, и условия эксплуатации. Для этого температура изложниц перед разливкой стали должна быть в пределах $50-100^{\circ}\text{C}$. При повышении температуры до $120-130^{\circ}\text{C}$ происходит выгорание каменноугольного лака и в связи с этим не создается защитная газовая пленка в процессе заполнения изложницы сталью. Для повышения стойкости рекомендуется также подогревать новые изложницы перед установкой на поддоны до $80-100^{\circ}\text{C}$. Кроме того, следует обеспечивать

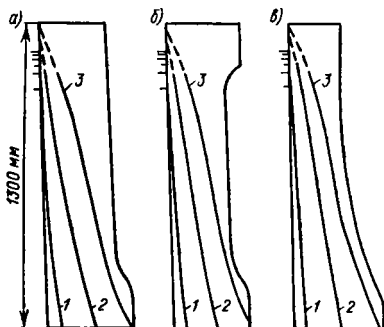


Рис. VII.22. Температурные поля в стенках изложниц: а — при широких гранях; б — при узких гранях; в — при переменной по высоте толщине граней; 1 — $t = 600^{\circ}\text{C} = \text{const}$; 2 — $t = 300^{\circ}\text{C} = \text{const}$; 3 — $t = 30^{\circ}\text{C} = \text{const}$

сталеплавильные цехи необходимым количеством изложниц, поддонов и тележек, а также требуемую протяженность путей отстоя с целью исключения охлаждения изложниц душированием. По данным [16] замена душирования охлаждением на воздухе на Макеевском металлургическом заводе позволила повысить стойкость с 55—70 наливов до 86. Разливать сталь следует с минимально допустимой температурой; ее повышение способствует привариванию слитков; следует также ограничивать время выдержки слитков в изложницах.

Для повышения срока службы изложниц применяют восстановительный или профилактический их ремонт. Дефекты на внутренней поверхности устраняют электросваркой. Технология ремонта включает следующие операции: удаление с поверхности дефекта слоя окисленного чугуна путем механической обработки, вырубки пневматическими зубилами или воздушно-дуговой зачистки (при ремонте изложниц с трещинами производится установка скрепляющих элементов, например скоб и др.); наплавка поверхности дефекта стальными электродами УОНИ 13/45 или УОНИ 13/55; заправка всего объема дефекта порошковой проволокой ППЧ-2; зачистка (при необходимости) наплавленного слоя.

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что при соблюдении оптимальных условий эксплуатации, а также организации ремонта изложниц возможно дальнейшее значительное снижение их расхода. Поэтому упорядочение эксплуатации наряду с другими факторами является одним из основных резервов снижения расхода изложниц. Если же вопросам эксплуатации не уделять должного внимания, то никакие работы по повышению стойкости изложниц не смогут дать ожидаемых результатов.

8. ЛИТЬЕ НАПОРНЫХ ТРУБ

Производство труб центробежным способом

Чугунные напорные трубы производятся из СЧ методом центробежного или полунепрерывного литья по ГОСТ 9583—75 с обычным соединением под зачеканку и по ТУ-14-3-259—74 с соединениями под резиновое уплотнение (рис. VII.23, а, б). Трубы должны иметь однородную плотную структуру и легко поддаваться механической обработке. Основными характеристиками механических свойств являются твердость и прочность. Поверхностная твердость труб не должна превышать 230 ед., а в центре толщины стенки она не должна превышать 215. Прочность металла, определяемая при механических испытаниях

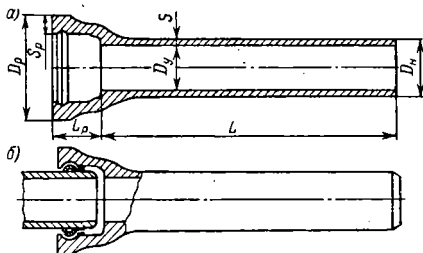


Рис. VII.23. Конструкции труб с обычными (а) и резиновыми (б) уплотнителями

кольцевых образцов (отрезанных от труб при D до 300 мм включительно), рассчитывается по формуле

$$R_T = \frac{3P(D_n - S)}{\pi b S} \quad (\text{VII.10})$$

и должна быть не менее 40 кгс/мм² ($40 \cdot 10^7$ Па), а при $D > 300$ мм может определяться как на кольцевых, так и на других специальных образцах.

В формуле (VII.10) R_T — модуль кольцевой прочности, кгс/мм² (10^7 Па); P — разрушающая нагрузка, кгс (10 Н); D_n — наружный диаметр кольца, мм; S — толщина стенки кольца, мм; b — ширина кольца, мм.

Основные размеры чугунных труб и нормы их гидравлических испытаний приведены в табл. VII.30. Коррозионная стойкость чугунных труб составляет не менее 70 лет. В среднем трубопроводы из чугунных труб эксплуатируются 100—150, а иногда даже 400—500 лет. С целью защиты от коррозии, главным образом на время транспортировки и укладки, внутренняя и наружная поверхности труб покрываются нефтебитумом.

В последние годы в СССР осваивается выпуск труб из ВЧШГ; основные требования к ним изложены в международных рекомендациях ИСО 2531 1974 (Е), по которым эти трубы должны иметь $\sigma_b \geq 42$ кгс/мм² ($42 \cdot 10^7$ Па), $\sigma_{0,2} \geq 30$ кгс/мм² ($30 \cdot 10^7$ Па), $\delta \geq 10\%$. Сортамент и характеристика этих труб приведены в табл. VII.31.

Центробежным способом изготавливают напорные трубы диаметром 65—300 мм, длиной 3, 4, 5, 6 м. Они отливаются в интенсивно охлаждаемые формы с применением центробежных машин, характеристики которых приведены в табл. VII.32, а параметры их настройки — в табл. VII.33. Все они выполняются по одной конструктивной схеме с различиями, вытекающими из сортамента труб. Наиболее совершенными оказались машины модели ЛН-104 [1]. Химический состав металла для литья труб различных диаметров дан в табл. VII.34 [22].

Таблица VII.30

Основные размеры и нормы испытаний чугунных напорных труб, изготовляемых центробежным и полунепрерывным способами литья (ГОСТ 9583—75)

Условный про- ход D_y , мм	Номинальный наружный диа- метр D_n , мм	Номинальный диаметр растру- ба D_p , мм	Минимальная строительная длина трубы L , м	Номинальная длина раструба L_p , мм	Номинальная тол- щина стенки s , мм			Давление при гид- роиспытании труб, кгс/см ² (10 ⁶ Па)		
					Класс			Класс		
					ЛА	А	Б	ЛА	А	Б
100	118	131	3—6	80	7,5	8,3	9,0	25	35	40
150	170	183	3—6	85	8,3	9,2	10,0	25	35	40
200	222	235	4—6	85	9,2	10,1	11,0	25	35	40
250	274	287	4—6	90	10,0	11,0	12,0	25	35	40
300	326	339	4—6	95	10,8	11,9	13,0	25	35	40
400	429	442	4—6	100	12,5	13,8	15,0	20	30	35
500	532	546	4—10	105	14,2	15,6	17,0	20	30	35
600	635	650	4—10	115	15,8	17,4	19,0	20	30	35
700	738	753	4—6	120	17,5	19,3	21,0	20	25	30
800	842	857	4—7	130	19,2	21,1	23,0	20	25	30
900	945	960	4—7	135	20,8	22,9	25,0	20	25	30

Таблица VII.31

Характеристика труб из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом по ИСО 2531 1974 (Е)

Номинальный диаметр, мм	Ствол			Масса растру- ба, кг	Общая масса (кг) при рабочих длинах, м				
	Наружный диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Масса * 1 м, кг		4	5	5,5	6	7
80	98	6	12,2	3,4	52	64,5	70,5	76,5	—
100	118	6,1	15,1	4,3	64,5	80	87,5	95	—
125	144	6,2	18,9	5,7	81,5	100	110	119	—
150	170	6,3	22,8	7,1	98,5	121	133	144	—
200	222	6,4	30,6	10,3	133	163	179	194	—
250	274	6,8	40,2	14,2	175	215	235	255	—
300	326	7,2	50,8	18,6	222	273	298	323	—
350	378	7,7	63,2	23,7	277	340	371	403	—
400	429	8,1	75,5	29,3	331	407	446	482	—
500	532	9	104,3	42,8	460	564	616	669	—
600	635	9,9	137,1	59,3	608	745	813	882	1019
700	738	10,8	176,9	79,1	775	949	1036	1123	1296
800	842	11,7	215,2	102,6	963	1179	1286	1394	1609
900	945	12,6	260,2	129,9	1171	1431	1561	1691	1951
1000	1048	13,5	309,3	161,3	1399	1708	1862	2017	2326

* Масса указана приближенно.

Характеристики основных отечественных центробежных машин для изготовления напорных труб

Модель машины	Сортамент труб		Производительность, труб в час		Угол наклона формы	Масса машины, т	Максимальные габаритные размеры, м			Частота вращения формы, об/мин	Количество опор в форме	Усилие извлечения труб, тс (10 ⁴ Н)
	Диаметр, мм	Длина, м	по паспорту	фактическая			Длина	Ширина	Высота			
ЛН-104	200	5	25	25	3° 26'	98,0	22,1	6,9	4	400	3	5,0
	250	5	24	24						350		
	300	5	23	23						300		
ЛН-102	100	4	30	30	3° 26'	13,7	13,7	3,23	3,2	1000	2	5,0
	125	4	30	30						750		
	150	4	29	29						600		
543	200	4	15	24	4°	46,3	15,8	6,6	4,0	370	2	5,0
	250	4	15	22						320		
	300	4	15	20						280		
7031	150	6	22	25	3° 26'	30,5	17,6	4,8	3,5	550	3	1,5

Таблица VII.33

Технологические параметры настройки центробежных машин для литья чугунных труб (ГОСТ 9583—75)

Сортамент труб		Частота вращения формы, об/мин	Скорость слива металла в форму, кг/с	Продолжительность, с		Объемный расход охлаждающей воды, м³/ч
Диаметр, мм	Длина, м			заполнения раструбной части формы металлом	движения корпуса машины до торможения	
100	4	730—750	5,0—5,5	1,5—2,0	11—12	12—13
125	4	670—700	6,5—7,0	1,5—2,0	11—12	12—13
150	6	550—650	8,0—9,0	2—3	20—21	16—17
200	5	400—500	10—11	2—3	17—20	22—25
250	5	350—450	13—14	2—3	18—21	25—30
300	5	300—350	17—19	2—3	18—22	30—35

Термическую обработку центробежнолитых труб производят по режиму: нагрев до $t = 910 \div 930^\circ \text{C}$, выдержка при этой температуре 15—20 мин, охлаждение с печью до $t = 650 \div 700^\circ \text{C}$ и выдача на воздух.

При заливке гладкостенной части трубы скорость слива металла в форму должна соответствовать скорости перемещения корпуса машины, т. е. должно соблюдаться постоянство расхода металла на удельной длине формы

$$v_{\text{т}} = \text{const},$$

(VII.11)

Состав чугуна для центробежного литья труб

Сортамент труб		Массовая доля элементов, %				
Диаметр, мм	Длина, м	G	Si	Mn	P	S
150	6	3,5—3,7	2,2—2,5	0,6—0,8	0,6—0,8	До 0,12
100—150	3	3,4—3,6	1,8—2,2	0,6—0,8	0,3—0,8	» 0,12
200—300	4	3,2—3,5	2,0—2,2	0,5—0,6	0,3—0,5	» 0,12

где τ — продолжительность движения центробежной машины на определенном участке, с; v — скорость слива металла в форму на этом участке, кг/с. Нарушение этого соотношения приводит к получению труб с разностенностью по длине. Расчет частоты вращения формы — основной вопрос при конструировании центробежных машин и разработке технологии литья. Для определения числа оборотов формы при изготовлении труб и отливок общего назначения одной из употребительных является формула [10]

$$n = \frac{5520}{\sqrt{r_0}}, \quad (\text{VII.12})$$

где r_0 — радиус свободной поверхности трубы, см.

В формуле (VII.12) не учитываются наружные размеры отливки по тем соображениям, что при достаточном утяжелении металла на внутренней поверхности отливки во всех других точках ее объема эффективная масса тем более значительна. Однако созданное в этих условиях поле центробежных сил не гарантирует качество получаемой отливки во всех случаях. Если отливка толстостенная (отношение радиуса формы R к радиусу свободной поверхности r_0 велико), то на наружной ее поверхности эффективная масса металла может оказаться настолько большой, что вызовет появление продольных трещин или других дефектов, характерных при повышенной частоте вращения. Формула (VII.12) дает надежные результаты, если R/r_0 не превышает 3. Указанное ограничение в отношении геометрических размеров отливки касается не только формулы (VII.12), но и всякой другой этого же назначения. Так как центробежная сила увеличивается с радиусом вращения, то при изготовлении очень толстостенной отливки при некотором числе оборотов на ее наружной поверхности могут наблюдаться продольные разрывы, свидетельствующие о чрезмерной величине центробежных сил, а на свободной поверхности — дефекты, характерные для заниженной частоты вращения.

При получении центробежных отливок в футерованной форме, в особенности сырой, приобретает большое значение вопрос о допустимом давлении жидкого металла на форму, так как давлением предопределяется предельная возможность раздутья формы и образования пригара. Формула для определения допустимой частоты вращения (об/мин) при этих условиях имеет вид

$$n = 423 \sqrt{\frac{P_d}{\gamma (R^2 - r_0^2)}}, \quad (\text{VII.13})$$

где P_d — допустимое давление, зависящее от прочности формы.

Производство труб полунепрерывным способом

Сущность способа полунепрерывного литья заключается в том, что расплавленный металл равномерно поступает в охлаждаемую водой металлическую форму — кристаллизатор и в виде затвердевшей трубы вытягивается с другого конца [17]. Кристаллизация металла происходит вследствие отдачи тепла через стенки кристаллизатора охлаждающей воде. На рис. VII.24 представлена схема

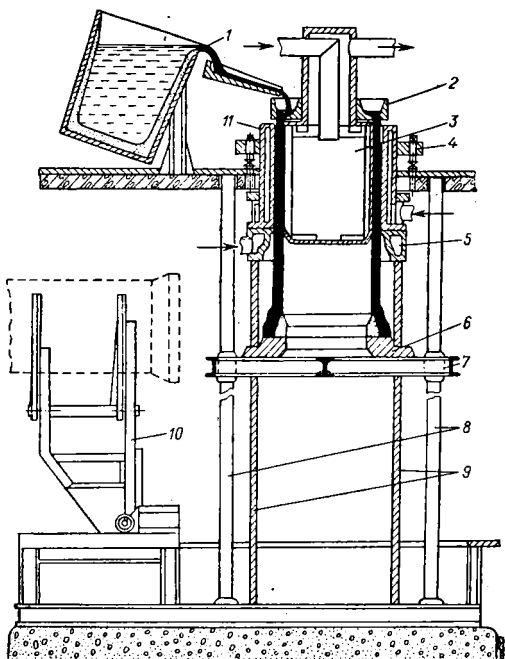


Рис. VII.24. Схема установки полунепрерывной отливки труб

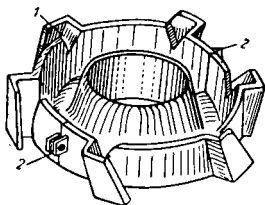


Рис. VII.25. Вращающаяся литейная чаша для полунепрерывной установки

Оптимальные значения основных технологических параметров полунепрерывного литья чугунных труб

Диаметр трубы, мм	Температура заливаемого чугуна, °C	Длительность заполнения кристаллизатора, с	Скорость извлечения трубы, м/мин	Усилие		Параметры движения кристаллизатора		Параметры литниковой системы			Частота вращения заливочной чаши, об/мин		Толщина корочек на выходе из кристаллизатора, мм
				срыва трубы (среднее), тс (10 ⁴ Н)	извлечения трубы (среднее), тс (10 ⁴ Н)	частота циклов в минуту	амплитуда, мм	Количество питателей	Размеры питателей, мм	Площадь сечения, мм ²	при заполнении кристаллизатора	при извлечении трубы	
100	1300—1280	18—22	2,6—2,9	0,280	0,040	130	8—9	2	18×12	215	21	40	4,5
150	1300—1280	20—25	2,5—2,8	—	—	115	10	2	19×13	250	17	35	4,5
200	1280—1260	22—28	2,4—2,7	—	—	105	11	4	20×14	280	15	30	4,5
250	1280—1260	25—30	2,3—2,5	—	—	95	12	4	20×14	280	14	30	4,8
300	1280—1260	28—35	2,0—2,2	0,420	0,160	80	13	4	20×14	280	13	25	5,3
400	1270—1250	35—45	1,7—2,0	—	—	70	14	6	21×14	295	12	22	5,9
500	1270—1250	37—47	~1,7	1,130	0,470	68	15	6	23×16	370	10	20	5,9
600	1270—1250	45—55	~1,5	—	—	63	16	8	23×16	370	10	18	6,1
700	1260—1240	47—58	1,1—1,3	2,390	0,760	51	17	8	24×16	385	9	17	6,9
900	1260—1240	60—75	0,9—1,1	5,950	1,000	43	18	8	25×16	400	9	17	8,4

Состав серого чугуна при полунепрерывном литье труб

Сортамент труб		Массовая доля элементов, %				
Диаметр, мм	Длина, м	C	Si	Mn	P	S
100—300	5	3,4—3,8	2,0—2,3	0,5—0,6	До 0,3	До 0,1
400—500	5	3,4—3,8	2,0—2,2	0,5—0,7	» 0,3	» 0,1
500—600	10	3,3—3,7	1,9—2,1	0,5—0,7	» 0,3	» 0,1
700—800	5	3,3—3,7	1,8—2,0	0,6—1,0	» 0,3	» 0,1
900—1000	5	3,3—3,7	1,8—2,0	0,6—1,0	» 0,3	» 0,1

машины полунепрерывного литья труб [17]. Заливочный ковш 1 наклоняется гидроприводом или электроприводом, жидкий металл поступает во вращающуюся чашу 2, из которой он попадает в кольцевую щель, равномерно распределяясь в ней между наружным кристаллизатором 11 и внутренней оправкой 3. Нижняя часть кристаллизатора снабжена приставкой 5 для образования наружной конфигурации раструба. Внутренняя конфигурация раструба образуется стержнем, установленным на поддоне 6, который в первоначальный момент закрывает снизу кристаллизатор и дает возможность заполнить его жидким металлом на необходимую высоту. Как только кристаллизатор заполнен, а в нижней его части металл затвердел с образованием достаточно прочных «корочек» по всей поверхности трубы, стол машины 7 с помощью троса 9 по направляющим колоннам 8 начинает опускаться и вытягивать из кристаллизатора постепенно затвердевающую трубу. Для облегчения извлечения трубы кристаллизатору сообщается возвратно-поступательное движение по направляющим штырям 4. Привод механизма возвратно-поступательного движения (на рисунке не показан) может быть кулачкового типа от электродвигателя или гидравлическим. После окончания заливки отлитая труба кантователем 10 переводится в горизонтальное положение и передается на конвейер трубоотделочного отделения. На рис. VII.25 отдельно показана вращающаяся литниковая чаша с питателями 1, состоящая из двух половин, которые скрепляются между собой замком 2. Оптимальные параметры этого процесса представлены в табл. VII.35.

Состав чугуна для полунепрерывного литья труб зависит от сортамента труб (табл. VII.36).

В последнее время разработан эффективный метод получения труб полунепрерывным методом из ВЧШГ [5], получаемого путем вдувания порошкового Mg.

9. ЛИТЬЕ ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ

Производство поршневых колец двигателей внутреннего сгорания можно осуществлять двумя способами: из индивидуальных заготовок и из маслост. Оба способа получили широкое применение.

Поршневые кольца карбюраторных и дизельных двигателей небольшого диаметра (автотракторные кольца и другие аналогичного размера) отливаются главным образом индивидуально. Этот способ производства является наиболее экономичным, однако требует жесткого соблюдения химического состава для получения необходимой структуры, особенно в области малых сечений отливок. Кольца отливают в песчаные формы (четыре и более колец в каждой), собранные стопкой *. Индивидуальный способ отливки характеризуется наличием общей литниковой системы для всех отливок стопки. Кольца из индивидуальных заго-

* В последнее время на Ставропольском металлургическом заводе поршневых колец применяется индивидуальная отливка колец центробежным способом.

товок используются в отечественных двигателях ЗИЛ, ГАЗ, Д-54, СМД-14 и др., а также двигателях фирм «Перфект Циркл» (США), «Перкинс» (Англия), ФИАТ (Италия) и др.

Кольца диаметром свыше 200 мм получают как индивидуально, так и из маслот, причем в последнем случае используют преимущественно центробежный способ литья, который в массовом производстве обеспечивает экономичность процесса и позволяет получить достаточно высокие физико-механические свойства.

Если для колец диаметром до 400—500 мм наряду с центробежной отливкой иногда применяют и стационарное литье, то для колец диаметром свыше 500 мм используется преимущественно стационарное литье маслот в песчаные формы. Кольца, полученные из маслот, используются для двигателей А-01 (верхние компрессионные), Ч 15/18 и ряда других, а также фирмами «Роллс-Ройс» (Англия), «Форд» (США) и др.

Поршневые кольца современных карбюраторных и дизельных двигателей должны обладать повышенными как физико-механическими свойствами, так и износостойкостью, и не только в паре с гильзой, но и в паре с поршнем. Применявшиеся в течение многих лет кольца из обычного ПЧ, получаемые как методом индивидуальной отливки, так и из маслот, в настоящее время перестают удовлетворять предъявляемым к ним все возрастающим требованиям. Структура таких колец формируется в процессе затвердевания и охлаждения отливки без последующей ТО (двигатели ЗИЛ, ГАЗ, Д-54, СМД-14, Д-37М, фирмы «Перкинс»).

Улучшение свойств колец, особенно износостойкости, являющейся лимитирующим фактором, достигается разными путями: 1) закалкой с последующим отпуском для получения троостито-мартенситной или троостито-сорбитной структуры, что используется, например, для верхних компрессионных колец в ряде зарубежных двигателей («Перкинс», ФИАТ и др.); 2) высокотемпературным отпуском колец с троостито-мартенситной или аустенитно-мартенситной структурой, полученной в сыром состоянии путем легирования чугуна Mo , V , Ni и другими элементами, которая после ТО становится перлитно-сорбитной; кольца этого типа применяются в двигателях ряда зарубежных фирм и в отечественных двигателях КДМ-46, 8ДВТ; 3) высокотемпературным отжигом с последующей закалкой и отпуском колец из легированного или нелегированного чугуна, который при кристаллизации затвердевает белым или половинчатым, а после ТО приобретает перлитно-сорбитно-троостито-графитное строение, хорошо сопротивляющееся износу; 4) легированием бором и другими элементами, что повышает твердость отдельных составляющих колец, в структуре которых содержатся включения структурно-свободных карбидов в перлитной или троостито-мартенситной матрице и которые при излишнем количестве карбидов подвергаются отжигу для частичного их разложения; поршневые кольца из этого чугуна обладают очень хорошей износостойкостью и физико-механическими свойствами, значительно превышающими свойства колец предыдущих групп, и применяются в двигателях ряда зарубежных фирм («Форд», «Перкинс», «Роллс-Ройс»).

Перспективным материалом для производства поршневых колец является чугун с повышенным содержанием серы $S = 0,3 \div 0,5\%$ и $Mn < 0,3\%$. После высокотемпературного отжига кольца имеют перлитную и сорбитную структуру, $HRB\ 98-102$, предел прочности $100-120\text{ кгс/мм}^2$ [$(100 \div 120) 10^7\text{ Па}$], $E = 14\,000 \div 16\,000\text{ кгс/мм}^2$ [$(14-16) 10^{10}\text{ Па}$] и остаточную деформацию, практически равную нулю.

Весьма интересен также состав чугуна для поршневых колец, разработанный в ЛПИ, отличающийся легированием Al при низком содержании Si и повышенном содержании S и P , а именно $3,3-4,0\%$ C ; $0,4-0,6\%$ Mn ; $1,5-2,5\%$ Al ; $0,4-0,6\%$ P ; $0,5-1,0\%$ Ni ; $0,2-0,4\%$ Mo ; до $0,5\%$ Si ; до $0,06\%$ S ; с механическими свойствами: прочность $52-55\text{ кгс/мм}^2$ [$(52 \div 55) 10^7\text{ Па}$], остаточная деформация $3-4\%$, условный $E\ 8800-10\,000\text{ кгс/мм}^2$ [$(8,8 \div 10) 10^{10}\text{ Па}$], $HRB\ 98-102$.

Составы и свойства чугуна поршневых колец весьма разнообразны, как это можно видеть из табл. VII.37 и VII.38, даже при одном и том же характере двигателя. Следует, кроме этого, указать еще на состав чугуна, обусловленный ОСТ 190106: $2,9-3,2\%$ C ; $0,7-1,1\%$ $C_{св}$; $1,9-3,3\%$ Si ; $0,6-1,0\%$ Mn ; $0,25-0,4\%$ P ; $0,6-1,3\%$ Cr ; $0,6-0,9\%$ Mo ; $\leq 0,4\%$ Ni .

Химический состав и механические свойства чугуна поршне

Завод-изготовитель, фирма	Массовая доля элементов, %							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
Макинский завод поршневых колец	3,7—3,9	2,5— 2,7	0,6— 0,8	0,4— 0,6	До 0,12	0,1— 0,2	0,1— 0,2	0,4— 0,5
Ставропольский завод поршневых колец	3,6—3,8	2,5— 2,7	0,6— 0,8	0,5— 0,7	До 0,12	0,2— 0,3	0,1— 0,2	0,2— 0,4
Одесский завод поршневых колец	3,7—3,9	2,5— 2,7	0,6— 0,8	0,4— 0,6	До 0,12	0,2— 0,3	0,1— 0,2	0,2— 0,4
Мичуринский за- вод поршневых колец	3,6—3,8	2,5— 2,7	0,6— 0,8	0,4— 0,6	До 0,12	0,2— 0,4	0,1— 0,2	—
ГАЗ	3,7—3,9	2,7— 3,1	0,6— 0,8	0,45— 0,6	До 0,10	0,1— 0,3	—	—
Клинцовский завод поршневых колец	2,9—3,1	1,7— 1,9	0,8— 1,0	0,3— 0,5	До 0,10	0,2— 0,3	0,4— 0,6	—
«Перфект Циркл» (США)	3,8—4,0	2,6— 2,8	0,6— 0,8	0,2— 0,4	До 0,15	0,2— 0,4	0,1— 0,2	0,1— 0,2
«Велл Ворси» (Англия)	2,7—2,9	1,8— 2,0	0,7— 0,9	0,2— 0,4	До 0,1	0,6— 0,8	До 0,2	0,1— 0,2
«Форд» (США)	2,9—3,1	2,1— 2,3	0,6— 0,8	0,2— 0,4	До 0,1	0,8— 1,0	До 0,2	0,1— 0,2
«Перкинс» (Англия)	3,2—3,4	2,3— 2,5	0,6— 0,8	0,3— 0,5	До 0,1	0,2— 0,3	До 0,2	0,2— 0,4
ФИАТ (Италия)	3,5—3,7	2,6— 2,8	0,6— 0,8	0,3— 0,5	До 0,1	0,3— 0,5	0,4— 0,6	0,4— 0,6

Примечание.

В автореф. канд. дисс. О. Н. Крючкова (1978 г.) показана эффективность при тром 60—150 мм); 3,5—4,0% С; 3,0—3,6% Si; 0,4—0,7% Mn; 0,1—0,4% Cr; 0,7—1,0% Cu; нии подвергается трехкратной обработке; 1) электродным боем. ФС, СК — для устрани дения образования большого количества цементита. В результате структура содержит

* Предел прочности, определяемый по ГОСТ 7133—67.

вых колец современных автотракторных двигателей

			Механические свойства			Способ отливки	Термическая обработка
Т1	Мо	V	E	σ*	HRB		
			кгс/мм² (10⁷ Па)				
До 0,15	0,2— 0,4	—	10 600	53	106	Индивидуальный	Без термообработки
До 0,15	—	—	10 150	52	102	То же	То же
До 0,15	0,2— 0,4	—	8 900	48	101	»	»
—	0,2— 0,4	—	8 900	45	99	»	Отпуск для снятия внутренних напряжений
0,07— 0,15	—	—	10 200	51	103	»	То же
—	—	—	10 400	53	101	Маслотный	Без термообработки
До 0,15	0,8— 1,0	—	9 700	49	100	Индивидуальный	Отпуск до перлитной структуры (в литье — троостит-мартенсит)
До 0,1	0,6— 0,8	До 0,1	15 000	76	HRC 33	Центробежный (маслота)	Литая структура — белый чугун, отжиг с целью частичного разложения карбидов
—	0,4— 0,6	—	15 000	59	HRC 55	То же	Литая структура — белый чугун, отжиг с последующей закалкой
—	—	—	10 000	54	102	Индивидуальный	Без термообработки
—	1,0— 1,2	До 0,15	11 600	120	HRC 44	То же	То же

менения поршневых колец из ВЧШГ. Рекомендуемый состав чугуна (для колец диаметром 0,015—0,035% Mg; до 0,15% P; до 0,015% S; до 0,5% Ni. Чугун в жидком состоянии отбеля; 2) магниевой легатурой — для сфероидизации; 3) ФС — для предупреждения более 15% Fe и 12% C.

Массовая доля элементов, %							
C	Si	Mn	P	S	Al	Ni	Cr
М а с л о							
3,3—3,5	2,4—2,6	0,5—0,8	0,4	<0,08	—	0,4—0,6	0,2—0,4
3,5—3,7	2,4—2,6	0,5—0,8	0,4	<0,08	—	0,3—0,5	0,3—0,5
К о м п р е с							
3,5—3,7	<0,5	0,5—0,8	0,25—0,35	<0,05	2,2—2,4	0,2—0,4	0,2—0,4
3,5—3,7	<0,5	0,5—0,8	0,25—0,35	<0,05	2,2—2,4	1,8—2,1	0,2—0,4
3,6—3,8	<0,5	0,5—0,8	0,25—0,35	<0,05	—	2,0—2,4	0,2—0,4
3,6—3,8	<0,5	0,5—0,8	0,25—0,35	<0,05	—	4,0—4,4	0,2—0,4

П р и м е ч а н и я:

1. Модифицирование производилось в ковше силикокальцием и ферросилицием
2. σ — предел прочности колец, определяемый по ГОСТ 7133—67.
3. P_y — усилие сжатия кольца при зазоре в замке 0,78—1,07 мм.
4. $D_{ост}$ — остаточная деформация после испытания на сжатие.

10. МНОГОСЛОЙНОЕ И БИМЕТАЛЛИЧЕСКОЕ ЛИТЬЕ

Сочетание различных материалов в многослойных и биметаллических изделиях позволяет объединить полезные свойства отдельных составляющих и получить новые свойства, которыми не обладают исходные металлы. В многослойных отливках, как правило, используются чугуны различного химического состава (например, легированные и обычные) и физико-механических свойств; в биметаллических — чугун используется вместе с другими металлами для придания отдельным частям детали специальных свойств (повышенной твердости и износостойкости, демпфирующей способности и т. д.).

Многослойное и биметаллическое литье имеет ряд экономических, технологических и эксплуатационных преимуществ. Экономические преимущества состоят в возможности значительного сокращения расхода дефицитных сплавов. Технологические преимущества заключаются в возможности изготовления сложных многослойных изделий путем применения различных методов литья. При этом можно выравнять условия структурообразования в тонких и толстых сечениях; снизить трудоемкость механической обработки или совсем ее исключить. Эксплуатационные преимущества заключаются в том, что отдельным частям этих отливок можно придать именно те свойства, которые требуются для конкретных условий работы, и тем самым уменьшить массу машин и оборудования при более высоком их техническом ресурсе.

Получение многослойных и биметаллических отливок производится путем заливки различных сплавов на жидкую, жидко-твердую и твердую металлическую основу при стационарной или вращающейся форме. При этом сплошность метал-

по данным работы кафедры теории и технологии литых сплавов ЛПИ

		Механические свойства				
Mo	Cu	σ	E	HRB	$P_{0.2}$	$D_{ост.} \%$
		кгс/мм ² (10 ⁷ Па)			кгс (10Н)	
съемные						
—	—	48—52	8 500— 10 000	95—98	10	4,5—5,5
0,5—0,7	0,3—0,5	50—52	9 000— 11 000	95—98	10	4,0—5,0
сложные						
0,1—0,3	0,6—0,9	50—54	10 500— 11 500	102—104	5—6	3,5—4,0
0,5—0,7	0,2—0,3	52—56	10 000— 11 000	102—104	6—7	3,5—4,0
0,5—0,7	0,6—0,9	56—60	14 000— 16 000	106—109	9—10	3,5—4,0
0,5—0,7	—	56—60	13 000— 14 000	98—100	6—7	4,5—5,5

в количестве 1,0% от массы жидкого металла.

лической основы изделий и деталей с диффузионной связью выгодно отличает их по служебным характеристикам (теплопровод, демпфирующая способность), а также по геометрической и размерной точности от деталей с механической связью. Этим способом можно получать тела вращения различного назначения (трубы, цилиндрические гильзы, поршни, прокатные валки), станины станков и другие отливки. Отливают также биметаллические чугуно-стальные заготовки для дальнейшего экстрагирования. В настоящее время существует большое количество различных методов получения многослойных изделий, в частности последовательная заливка в форму жидких сплавов и заливка сплава на твердую заготовку, установленную в литейную форму или изложницу.

По своим технологическим возможностям, геометрическим размерам и массе получаемых изделий первый способ обладает большой универсальностью: он с успехом применяется как для изготовления крупных базовых станочных деталей массой 20—25 т и слитков массой до 13 т, так и для изготовления мелких деталей типа пустотелых толкателей клапанов массой до 1 кг. Сущность этой технологии состоит в том, что заливку литейной формы осуществляют двумя или более различными по составу и свойствам чугунами через самостоятельные литниковые системы, питатели которых расположены на различных уровнях. Так, при изготовлении корпусных и базовых станочных деталей легированным чугуном заливаются только те части отливки, которые образуют направляющие или другие плоскости трения; остальная часть формы заливается чугуном обычных марок (рис. VII.26). Особенностью этого метода является то, что получение качественных отливок связано с необходимостью регулировать величину переходной зоны, т. е. степень взаимного проикновения заливаемых металлов в зоне контакта.

Поэтому второй металл подается в форму по первому слою спустя определенный отрезок времени, в течение которого температура залитого в форму первого металла понижается, а плотность становится выше заливаемого, что тормозит их перемешивание. Для определения этого времени при получении корпусных

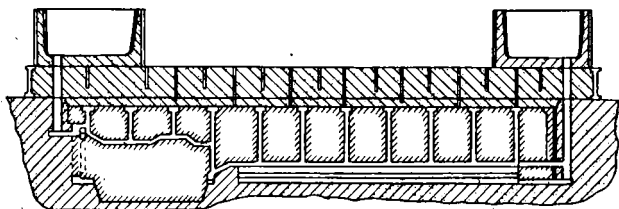


Рис. VII.26. Схема технологии послойной заливки формы станины с различных уровней при помощи самостоятельных литниковых систем

и базовых станочных отливок в зависимости от оптимальных размеров переходной зоны в Т-образных сечениях, толщины направляющих и стенок и $t_{\text{зал}}$ можно пользоваться номограммой (рис. VII.27). Благодаря более благоприятному сочетанию структуры в тонких и толстых сечениях, двухслойные чугунные отливки обладают повышенной демпфирующей способностью и, следовательно, более

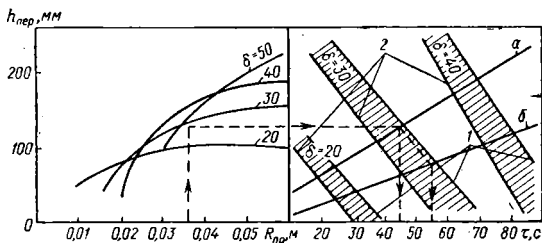


Рис. VII.27. Номограмма для определения времени выдержки между заливкой в форму легированного и нелегированного чугунов в зависимости от высоты $h_{\text{пер}}$ переходной зоны и зоны теплового влияния, приведенной толщины направляющих $R_{\text{пр}}$, толщины сопряженных стенок δ , $t_{\text{зал}}$ легированного чугуна и длины отливки:

1 — $t_{\text{зал}} = 1330 \pm 10^\circ \text{C}$; 2 — $t_{\text{зал}} = 1270 \pm 10^\circ \text{C}$; а — длина отливки 6 м;
б — то же, 2 м

высокой износостойкостью по сравнению с монолитными. Иногда находит применение также способ одновременной или последовательной заливки двух жидких чугунов в форму с разделительной перегородкой. При этом перегородка остается в отливке, причем толщину ее выбирают такой, чтобы происходило двустороннее оплавление ее, но без смешения заливаемых металлов. Типичный пример такой технологии — отливка валков для углеродистых установок, наружный слой которых заливается износостойким легированным чугуном, а внутренний — обычным перлитным. Способ получения многослойных чугунных отливок нашел применение при производстве многослойных труб и трубных заготовок, цилин-

дровых гильз, прокатных валков и т. д. В частности, центробежным способом отливают двухслойные валки бумагоделательных машин массой 14 т, диаметром более 1900 мм и длиной 10,2 м. Сначала в форму заливается 9,675 т белого чугуна при $t = 1320 \div 1400^\circ \text{C}$ при скорости заливки 77—122,5 кг/с. После заливки первой дозы металла форма вращается 25—30 мин. При достижении первым слоем t_d в форму вводят защитный флюс массой 2,5 кг на 1 м² площади внутренней поверхности. Заливку второй порции металла начинают после того, как температура первого слоя будет примерно на 5°C ниже t_0 . Вторая порция (4,5 т) заливается со скоростью 27—39 кг/с. При этом имеет место подплавление первого слоя за счет теплоты второй порции чугуна.

Второй способ — заливка жидкого сплава на твердую заготовку, предварительно установленную в литейную форму или изложницу, — по своим техноло-

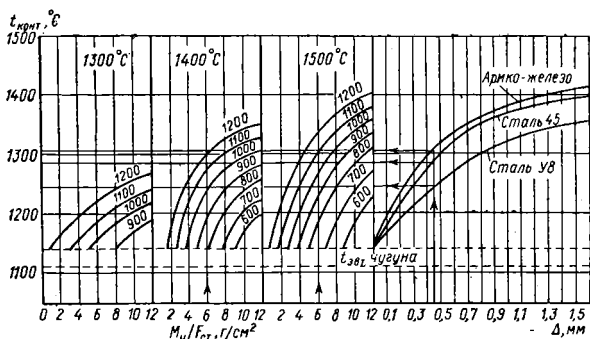


Рис. VII.28. Номограмма для определения температурных режимов получения биметаллических отливок для сочетаний сталь 45 — чугун, сталь У8 — чугун, армако-железо — чугун по заданной степени растворения металла-основы Δ и при известном отношении массы заливаемого чугуна $M_{\text{ч}}$ к контактной площади стальной заготовки $F_{\text{ст}}$

гическим возможностям, номенклатуре отливаемых изделий, видам соединяемых металлов также универсален. Примером могут служить биметаллические цилиндры двигателей внутреннего сгорания с воздушным охлаждением. Технология процесса заключается в предварительной подготовке поверхности стальной или чугунной гильзы и последующей заливке ее алюминиевым сплавом [2]. Точно так же производится сплавление жидкого чугуна с твердым чугуном и сталью. Так, при производстве базовых станочных деталей с направляющими из легированного чугуна достигается высокая прочность сцепления, близкая к прочности основного металла, при нагреве поверхности планки до температуры, близкой к плавлению.

Снижение температуры поверхности до 970—980°С приводит к снижению прочности вдвое [3]. При этом требуется дополнительное нанесение на поверхность планки тонкого защитного слоя более легкоплавкого металла или флюса, например буры, борного ангидрида, фтористого калия, тетраборнокислого натрия, которые при заливке жидкого металла на планку смываются, обнажая чистую поверхность. Рекомендуется также дополнительная очистка вставки от окислов, что осуществляется кратковременной обработкой ее в активном сплаве, каким для сталей и чугунов являются цинк и его сплавы.

По номограмме рис. VII.28 для определения температурных режимов получения биметаллических отливок в сочетании чугуна со сталью марок 45, У8

и армо-железом задаются степенью растворения металла-основы Δ (мм) и находят усредненную контактную температуру $t_{\text{конт}}$ по оси Y , которая является определяющей для получения надежной диффузионной связи. В номограмме варьируются температуры заливаемого чугуна (1300—1500° С) и подогрева поверхности стальной заготовки (600—1200° С), определение которых производится по степени растворения металла-основы и массе чугуна (M_0), приходящейся на 1 см² контактной поверхности стальной заготовки $F_{\text{ст}}$.

При разработке технологии получения биметаллических отливок и слитков чугун—сталь и чугун—чугун рекомендуется окончательную обработку твердых пластин и стержней производить бурой либо вести заливку под слоем флюса, отвечающего по свойствам системе $\text{Na}_2\text{O}—\text{B}_2\text{O}_3—\text{SiO}_2$. На практике применяется также изготовление биметаллических деталей машин центробежным способом с электродуговым плавлением шихты внутри заготовки для нанесения слоев металла с требуемыми свойствами, например для наплавки износостойким сплавом сормайт, бронзой и т. д. Способ получения многослойных литых изделий при заливке жидкого металла на твердую основу посредством применения разогрева наплавляемой поверхности т. в. ч. либо высокотемпературной обработки заготовки в жидком флюсе с последующей заливкой жидкого сплава положен в основу ряда технологических процессов и конструкций специального оборудования.

11. ХУДОЖЕСТВЕННОЕ ЛИТЬЕ

Художественное литье — процесс изготовления художественных отливок — известно с глубокой древности. Литые украшения (как в виде самостоятельных отливок, так и в виде литого рельефа на изделиях прикладного назначения) появились почти одновременно с возникновением процессов фасонного литья. Однако ранние художественные отливки изготавливались преимущественно из сплавов цветных металлов.

Чугунные художественные отливки также известны издавна, особенно там, где был недостаток бронзы и других сплавов цветных металлов. Но они представляли собой преимущественно изделия прикладного назначения.

Началом настоящей эры чугунного художественного литья следует считать период XVIII—XIX вв., когда чугунные отливки стали широко применяться в архитектуре, особенно когда уральские литейщики придали чугунным отливкам особую воспроизводимость. Подлинным шедевром литейного искусства является знаменитый «Павильон», изготовленный специально для Всемирной выставки в Париже и получивший там в 1900 г. самую высокую награду — Гран При. И так по сей день наши чугунные художественные отливки пользуются в Союзе и за рубежом большим успехом. Они изготавливаются на Каслинском, Каменском, Верх-Исетском, Кушвинском, Кусинском и на других заводах.

Значительной составной частью отечественных художественных литых изделий являются архитектурные и хозяйственные отливки. В нашей стране можно встретить целые архитектурные ансамбли из чугуна. Чугунные художественные отливки разнообразны.

По виду и назначению чугунные художественные отливки классифицируются как монументальные (памятники, монументы), кабинетные (статуэтки, чернильницы), хозяйственные (печные дверки, горшки), архитектурные (ограды, скамьи). По конфигурации они делятся на три типа: трехмерные (статуи), горельефы (литые панно, портреты), плоские (плакетки, тарелки). По конструкции: монолитные (бюсты, простые статуэтки), составные (фонари, павильоны), слитые (отливки со стальными вставками, цепочки). По серийности выпуска художественные отливки относятся к массовым (детали оград), серийным (статуэтки), единичным (скульптурные группы). По размерам они делятся на крупные (колонны, статуи), средние (детали оград) и мелкие (письменные принадлежности). И, наконец, по сложности они являются простыми (детали оград, подставки), сложными (скульптурные группы, фонари) и ажурными (вазы, столешницы).

Для изготовления художественных отливок используются различные способы литья. Правильный выбор способа литья зависит от вида, назначения, особенностей конфигурации, размеров и сложности литого произведения и серийности

его выпуска. При этом часто художественные изделия различной сложности изготавливаются одинаковыми способами, так как мастера широко используют метод расчленения сложных отливок на составные части. Ниже дается примерная классификация способов изготовления различных художественных отливок.

1. По-сырому с применением разъемных моделей изготавливают простые мелкие и средние отливки без ажюра при крупносерийном и массовом производстве.

2. Отливки с тонким и несквозным рельефом при мелкосерийном производстве выполняют по образцу или по цельной модели в формах по-сырому, причем для получения четкого рисунка форму подчеканивают.

3. Сложные толстостенные отливки без тонкого ажюра при крупносерийном производстве формируют по-сырому по специальным модельным плитам.

4. В многоопочных формах по-сырому с применением специальных опок и разъемных моделей изготавливают сложные отливки при серийном производстве.

5. Подсушенные (подчеканенные) формы с использованием фальшивых опок применяют при производстве толстостенных отливок со сквозным ажуром.

6. В кусковых сырых формах (куски из сырой смеси, с подложкой) изготавливают небольшие сложные, с одним—тремя выступами, отливки.

7. Сложные отливки с большим количеством выступов получают в сухих кусковых формах (высушиваются куски, а иногда и форма).

8. При крупносерийном производстве таких отливок применяют формы, состоящие полностью или частично из сухих стержней, изготовленных по стержневым ящикам.

9. Сложные отливки с большим количеством поднутрений формируют с использованием разборных моделей, причем части модели удаляются с обратной стороны плиты.

10. По разрушаемым моделям (выплавляемым и выжигаемым) изготавливают отливки сложной конфигурации — единичные крупные и мелкие при массовом производстве.

11. Оболочковые формы применяют в условиях массового изготовления отливок простой конфигурации.

12. Для несложных деталей архитектурных ансамблей используют металлические формы (литье в кокиль), иногда с песчаными стержнями и вставками.

В зависимости от особенностей конструкции и назначения отливки, квалификации литейщиков, оснащения литейного цеха и опыта литья для одних и тех же изделий могут быть применены различные способы, тем более, что каждый из указанных выше способов имеет ряд разновидностей. Так, при литье в сырые формы, изготавливаемые по неразъемным моделям, иногда применяют специальные модельные плиты, осуществляют формовку с подрезкой, фальшивой опокой, болванками (в случае полых моделей), а также применяют стержни, отъемные части и т. п.

Формовка по специальным модельным плитам (см. п. 3) осуществляется с подчеканкой, если на модели имеется сложный и ажурный рельеф. Кусковая сырая формовка (см. п. 6) может быть заменена (при серийном производстве) обычной формовкой по моделям с отъемными частями. Иногда литье в сухие кусковые формы совмещается с литьем в стержневые формы. Имеется много разновидностей способа литья по разрушаемым моделям. В некоторых из них оригинал не используется для изготовления каждой формы, например при точном литье по выплавляемым или выжигаемым моделям. В других же случаях оригинал (гипсовый, восковой, пластилиновый и пр.) используется для получения каждой разрушаемой модели, а в редких случаях сам оригинал может быть использован для этой цели.

В качестве примеров на рис. VII.29 и VII.30 приведены схемы кусковой формовки. Модель барельефа (рис. VII.29, а) на лицевой поверхности имеет выступы а, б и в, препятствующие съему с модели верхней части формы. «Сглаживание» поверхности модели выполняется в процессе формовки путем набивки около этих выступов отдельных кусков (рис. VII.29, б) из формовочной смеси повышенной крепости. Куски, если они прилегают друг к другу, разделяют слоем древесно-угольного порошка или линолея. По поверхности кусков вырезают знаки для закрепления их в форме. По модели с изготовленными в поднутрениях кусками уплотняют нижнюю опоку Б. После переворота фальшивую опоку снимают, а на оставшейся нижней опоке с моделью набивают верхнюю опоку А

(рис. VII.29, а). Перевернув обе опоки, нижнюю снимают так, чтобы модель с прилегающими к ней кусками осталась на верхней опоке. Прилегающие к модели куски отнимают от модели в порядке, обратном их набивке, т. е. сначала 3, затем 2, затем 1 (рис. VII.29, в). Снятые с модели куски отделяют и согласно их знаку укладывают на соответствующие места в форме, укрепляя их шпильками (рис. VII.29, д). Части формы с укрепленными кусками, как правило, сушат, так как куски набивают из недостаточно газопроницаемой формовочной смеси.

При формовке мелких отливок обычно большую часть отливки располагают в нижней полуформе, чтобы удобнее было крепить съемные куски. При массовом и серийном производстве в таких случаях применяют формовку в стержнях. Причем и формы, и стержни изготавливают сухие, окрашенные огнеупорной краской.

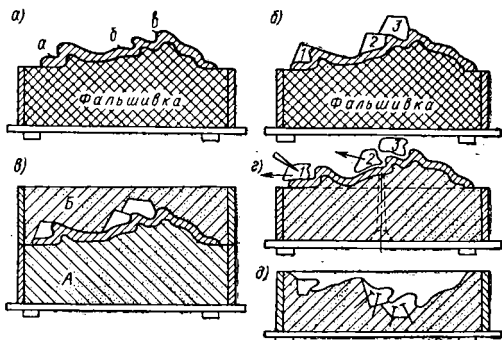


Рис. VII.29. Основные операции кусковой формовки барельефа: а — набивка «фальшивой» формы по модели с выступами а, б, в; б — формовка съемных кусков; в — формовка нижней (Б) и верхней (А) полуформ; г — удаление съемных кусков в порядке 3, 2, 1 и извлечение модели; д — укладка съемных частей в нижнюю полуформу

В соответствии с рис. VII.30 формовка ступочки производится по металлической модели с съемным дном. Процесс заключается в следующем: модель (рис. VII.30, а) устанавливают на подмодельную плиту съемным доньшком вверх, обжимают облицовочной смесью и покрывают средней опокой (рис. VII.30, б); опоку набивают наполнительной смесью, придерживая доньшко модели рукой; срезают излишки смеси и ставят вторую опоку; в дно модели устанавливают щелевой литник (рис. VII.30, в); набивают верхнюю опоку (рис. VII.30, г); удаляют модель литника, переворачивают обе опоки вместе с подмодельной плитой, снимают подмодельную плиту, внутреннюю часть модели наполняют до половины облицовочной смесью и легко уплотняют ее от руки; в середину болвана устанавливают каркас (рис. VII.30, д) и продолжают набивку болвана до конца, разрыхляют смесь по разему опок, устанавливают третью опоку и набивают ее (рис. VII.30, е); переворачивают все три опоки (рис. VII.30, ж), снимают верхнюю с литником, удаляют съемную часть (рис. VII.30, з), снимают вторую опоку, удаляют модель (рис. VII.30, и), а затем собирают всю форму (рис. VII.30, к). Все приемы и правила сборки применяют как при обычной формовке. Болван перед сборкой заглаживают и увлажняют для повышения прочности.

Требования к формовочным смесям представлены в табл. VII.38. Чем тоньше рельеф на отливке, тем должны быть мельче исходные материалы и пластичней смесь. Помимо сведений, приведенных в табл. VII.39, следует отметить, что применяемые пески должны быть огнеупорными. Для изготовления стержневой смеси применяют в качестве крепителей масла и жиры, канифоль, каменноугольный пек, сульфитный щелок, декстрин, муку, патоку и некоторые сорта цемента, рыбный клей. Для улучшения податливости применяют в крупных стержнях конский навоз, рубленую солому, опилки, торф, асбестовую крошку и пр.

Литниковые системы используются чаще всего сифонные или комбинированные.

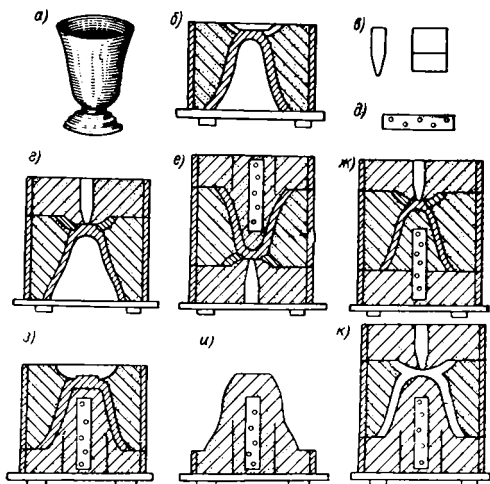


Рис. VII.30. Основные операции формовки ступочки в трех опоках: а — эскиз заготовки; б — набивка средней опоки; в — щелевой литник; г — набивка верхней опоки; д — каркас; е — схема набивки нижней полуформы; ж — кантовка формы; з — съем верхней опоки и удаление отъемной части доннышка; и — нижняя полуформа с болваном; к — собранная форма ступочки в трех опоках

Что касается состава чугуна, то, как правило, для художественного литья используются его «мягкие» марки. Отбел чугуна в отливках не допускается, так как в этом случае их почти невозможно чеканить, а составные части трудно собирать. Важно применять чугун с достаточной $\lambda_{ж}$; однако достигать этого за счет большого перегрева нецелесообразно из-за возможности появления пригара. Поэтому желательно для ажурных отливок, а также отливок с тонким рельефом использовать чугун с высоким содержанием Р (до 1%).

Способы обрубки и очистки художественных отливок в большинстве случаев такие же, как и для аналогичных чугунных отливок; однако очистка их в барабанах недопустима из-за возможного боя и искажения тонкого рельефа. Важной операцией в художественном литье является операция чеканки. Она призвана

Формовочные и стержневые смеси

Классификация смесей	Область применения	Свойства			
		Прочность, кгс/см ² (10 ⁵ Па)		Газопроницаемость	
		по-сырому	по-сухому	по-сырому	по-сухому

Ф о р м о в о ч н ы е					
По способу изготовления:					
естественные	В производстве тонкостенных, ажурных, ответственных отливок	0,8	2	19	—
искусственные	В серийном производстве скульптурных отливок, статуй, бюстов	0,6—0,7	—	16—17	60—70
По состоянию формы перед заливкой:					
для сырой формовки	Для простых неотвественных отливок	0,3—0,4	—	—	84
для сухой формовки	Формовка ажурных отливок, статуй, бюстов	0,6—0,9	2	—	60
По способу применения:					
облицовочная	Тонким слоем 20—30 мм накладывается на модель как при сырой, так и при сухой формовке	0,7	—	—	60—70
наполнительная	Для неотвественных отливок	0,3—0,4	—	—	80

С т е р ж н е в ы е					
По составу:					
песчаоглинистые	Для отливок простой конфигурации, неотвественного назначения	Высокая	Высокая	—	Высокая
песчано-масляные	Для отливок сложной конфигурации, архитектурного литья	0,15—0,2	0,8	—	—

- * Возможна замена очень жирным песком; крупность 01—005.
- ** Крупность 016—005.
- *** Крупность 016—01; возможна замена жирным песком.
- **** Крупность 05—016.

для художественного литья

			Массовая доля, %					
Пластич- ность	Огне- упор- ность	Ограбо- танная смесь	Песок			Глина огне- упор- ная	Влаж- ность смеси, %	Добавки, %
			очень жирный	жирный	тощий			

с м е с и

Высо- кая	Высо- кая	50	—	50 *	—	—	8—10	—
—	—	45—50	—	—	45 **	5—10	7—8	—
—	—	80—45	—	—	10— 45 **	10	4—5	—
—	—	40—60	—	—	24— 50 **	10—20	—	Древесные опилки 2—2,5
Высо- кая	Высо- кая	50	50 ***	—	—	—	—	—
—	—	92—93	7— 8 ****	—	—	—	—	—

с м е с и

—	Высо- кая	5	—	22— 5 ***	73— 90 ***	—	5—6	—
—	—	40	—	—	60	—	5—6	Декстрин 1,5, суль- фитный шелок 2,0

образовывать ту часть рельефа, которая в литье получилась недостаточно четкой или вовсе не выполнялась: фактура и изгибы тканей на статуэтках; волосы и тонкие черточки на лице барельефов и т. п. Все операции чеканки должны выполняться специально предназначенным для каждой операции инструментом.

Сборка расчлененных отливок производится только из хорошо пригнанных частей. Она осуществляется путем их свинчивания, пайкой, сваркой или склеиванием.

Небольшие и средние отливки подвергают отжигу для снижения твердости и устранения возможного отбела в тонких частях и в заливах. При этом во время отжига ажурных отливок и отливок с тонким рельефом не следует допускать образования большой окалины, так как это ухудшает четкость рисунка.

Готовые отливки покрывают защитным слоем или окрашивают, иначе грязно-серый цвет (а со временем с примесью ржавчины) придает изделиям неприглядный вид. Малоэстетичны также отливки, окрашенные масляными красками и лаками. Более приемлемо их гальваническое покрытие или придание «естественного» черного цвета. Это достигается путем окрашивания (после шпаклёвки) отливок олифой с примесью голландской сажи. Готовую отливку покрывают такой смесью и нагревают до появления легкого дымка, повторяя операцию два-три раза.

ФИНИШНЫЕ ОПЕРАЦИИ ПО ОБРАБОТКЕ ЧУГУННЫХ ОТЛИВОК

1. ВЫБИВКА, ОЧИСТКА, ОБРУБКА И ЗАЧИСТКА ОТЛИВОК

Выбивку отливок из опок и частично стержней из отливок производят различными выбивающими установками с эксцентриковыми, инерционными и инерционно-ударными решетками (табл. VIII.1). Установки для выбивки крупных форм (табл. VIII.2) представляют собой блок, состоящий из четырех, шести и восьми серийно выпускаемых решеток моделей 428С и 429, устанавливаемых на общей фундаментной раме. В автоматических и комплексно-механизированных формовочных линиях выбивающие устройства встраиваются в поток и делятся на провальные инерционные проходные (табл. VIII.3) и провальные проходные с выдавливанием форм пуансоном*.

Для *выбивки стержней* и удаления «шубы» при крупном и среднем литье наибольшее применение получили гидравлические камеры. Струя воды под давлением $100\text{—}200\text{ кгс/см}^2$ [$(10\div 20) 10^6\text{ Па}$] и выше с помощью струйного аппарата направляется на стержень, разрезает его на части и вымывает. Основные преимущества гидрокамер: универсальность; простота обслуживания; улучшение условий труда и повышение производительности по сравнению с выбивкой стержней пневмоинструментом. Недостатки гидрокамер: низкие производительность и коэффициент полезного времени работы (30—60%) вследствие больших затрат времени на вспомогательные операции; нестабильная работа основных узлов и недостаточный коэффициент унификации. Производительность гидрокамер составляет 3—12 т/ч. Объемный расход воды высокого давления на 1 т отливок колеблется от 4 до 25 м³/ч и определяется прочностью стержней в отливке. Наибольшее распространение получили гидрокамеры периодического действия тупиковые с самоходной тележкой (табл. VIII.4).

Типажом литейного оборудования предусматривается изготовление более совершенных гидрокамер с грузоподъемностью тележки 50 и 100 тс [$(50\div 100) 10^4\text{ Н}$]. Длинномерные отливки предусматривается обрабатывать в двоядных или строенных камерах основного ряда размером 4,5×9; 5×12 м и т. д., изготавливаемых по специальному заказу.

На некоторых заводах используют гидрокамеры собственного изготовления; в частности, представляет интерес гидрокамера новосибирского завода «Тяжстанкогидропресс» им. А. И. Ефремова со следующими характеристиками: масса очищаемых отливок 0,5—50 т; габаритные размеры отливок до 9,5×5,5×4 м; рабочее давление воды на входе в сопло 200—1000 кгс/см² [$(2\div 10) 10^7\text{ Па}$]; установленная мощность насосов 970, потребляемая — 500 кВт.

Кроме того, применяются конвейерные гидрокамеры, например на тихвинских производствах объединения «Ленинградский Кировский завод». Гидрокамеры всех типов работают в комплексе с установками осветления воды и зачастую с установками регенерации песка.

* Завод литейного оборудования «Амурлитмаш» изготавливает такие установки модели А453 для опок с размерами в свету 0,8×0,7×0,3 м производительностью 90 форм в час; установленная мощность электродвигателей 9 кВт; габаритные размеры 6,3×5,9×1,36 м.

Техническая характеристика выбивных решеток Тбилисского завода литейного оборудования им. М. И. Калинина

Модель	Грузоподъемность, тс (10^4 Н)	Размеры полотна решетки, м	Пределы наклона решетки, ... °	Число наклон- ных по- ложений решетки	Количество резиновых амортизато- ров или пружин	Эксцентри- ситет вала решетки от- носительно оси враще- ния, мм	Частота колеба- ний в минуту	Установ- ленная мощность электро- двигате- ля, кВт
Эксцентрикoвые								
421 (31211)	1,0	1,25×1	0—6	3	8	3	800	2,2
422М (31212)	1,6	1,6×1,25	0—6	4	8	3	830	4,5
423 (31213)	2,5	2×1,6	—	—	8	3	830	7,5
Инерционные								
424 (31214)	4,0	2,24×1,8	0—6	3	16	—	880	15,5
4A25 (31215)	6,3	2,5×2	0—6	2	16	—	760	22
Инерционно-ударные								
426У (31216)	10 (сила удара 5 тс или $5 \cdot 10^4$ Н)	1,8×1,8	—	—	—	—	—	7,5
427У (31217)	16 (сила удара 8 тс или $8 \cdot 10^4$ Н)	1,8×1,8 (3,55×2,5)	—	—	—	Амплитуда 15 мм	—	10
ИР-120	7,5 (сила удара 2 тс или $2 \cdot 10^4$ Н)	1,9×1,4	—	—	—	То же 28 мм	598	5,5

Примечание.

Здесь и в последующих таблицах в скобках дано новое обозначение моделей решеток.

Техническая характеристика установок для выбивки крупных форм новосибирского завода литейных машин и автоматических линий «Сиблитмаш»

Модель	Грузоподъемность, тс (10^4 Н)	Рабочие размеры решеток, м	Грузоподъемность секции, тс (10^4 Н)	Количество секций, шт.	Частота колебаний в минуту	Максимальные размеры выбиваемых опок, м	Установленная мощность электродвигателей одной секции, кВт	Габаритные размеры установки, м
428С (31218)	25	3,5×2,5 (4,0× ×3,15)	—	—	—	—	75	4,0× ×3,94× ×1,73
429 (31219)	40	4,1× ×3,15	—	—	—	—	100	4,47× ×4,06× ×1,80
431И4	100	7×5	25	4	700	4×2,5	75	10,35× ×8,8× ×0,74
432И6	160	9,5×5	40	6	725	8,9×4× ×1,2	100	12,8× ×10,5× ×0,65
432У8	250	10×7	—	8	500	9×6× ×1,5	112	13,42× ×11,44× ×0,50

Таблица VIII.3

Техническая характеристика автоматических выбивающих провальных инерционных проходных установок

Модель	Размер опок в свету, мм	Производительность, форм/ч	Завод-изготовитель
31411	500×400	400	«Амурлитмаш», г. Комсомольск-на-Амуре
31412	600×500	300	
31413	800×700	240	
31414	1000×800	200	
31415	1200×1000	160	«Сиблитмаш»
31416	1600×1200	125	
31417	2000×1600	60	

Перспективным технологическим процессом является электрогидравлическая выбивка стержней, основанная на электрогидравлическом эффекте (автор Л. А. Юткин), использующем высоковольтный разряд в жидкости. Вокруг зоны высоковольтного импульсного разряда напряжением примерно 50—70 кВ возникают импульсные сверхвысокие давления до 1500—2000 кгс/см² [(15÷÷20) 10⁷ Па] и более. Современные установки снабжены узлами крепления и перемещения электродов, механизмами загрузки и выгрузки отливок, системами электрической защиты, водоснабжения, пульпоудаления, вентиляции и т. д. Главным преимуществом электрогидравлического способа является повышение эффективности выбивки стержней. Его применение улучшает условия труда и

Техническая характеристика гидрокамер периодического действия завода «Амурлитмаш»

Модель	Производительность, т/ч	Грузоподъемность тележки, тс (10 ⁴ Н)	Внутренние размеры камеры, м	Максимальные габаритные размеры обрабатываемых отливок, м	Количество гидромониторов, шт.	Рабочее давление воды, подаваемой к гидромониторам, кгс/см ² (10 ⁶ Па)	Максимальный объемный расход воды на один гидромонитор, м ³ /ч	Давление сжатого воздуха, кгс/см ² (10 ⁶ Па)	Установленная мощность электродвигателей (общая), кВт
ЛН-408 (37113)	3—6,6	50	4,8×4,5×4	Ø 3,5×2,5	2	До 200	30	5—6	442
ЛН-415 (37116)	3,6—9	100	6,0×6,0	Ø 3,4×3,3	2	» 200	35	5—6	460

Таблица VIII.5

Техническая характеристика электрогидравлических установок завода «Амурлитмаш»

Модель	Размеры рабочего пространства, м	Максимальная масса загрузки, т	Масса очищаемых отливок, т	Производительность, т/ч	Расход на 1 т литья			Установленная мощность, кВт	Технологические параметры				Количество обслуживающего персонала, чел.
					электроэнергии, кВт·ч (3,6·10 ⁶ Дж)	технической воды, м ³	сжатого воздуха, м ³		Выходное напряжение импульсов тока, кВ	Емкость конденсаторной батареи, мкФ	Максимальная энергия импульса, кДж	Частота импульсов, Гц	
36121А	1,8×1×0,7	2,5	0,01—2,5	2—4	6	0,2—0,5	16	90	50	4	5	1—2	2
36131А	3,5×2×1	8	0,02—5	3,6—4,7	6	0,2—0,5	70	245	50	8	10	1—2	2
36141А	5,6×3×2	25	0,02—15	4—6,5	5	0,2—0,5	100	255	50	8	10	1—2	2

в 3—4 раза удешевляет выбивку. Наибольшее распространение получили серийно изготавливаемые тупиковые установки периодического действия (табл. VIII.5). Установки обеспечивают выбивку стержней сложных конфигураций с высокой остаточной прочностью из песчано-глинистых, жидкостекольных, жидких самотвердеющих и других смесей. Они должны снабжаться установками гидроудаления вымытого песка, регенерации его и осветления воды.

Очистка отливки дробью основана на абразивном и скалывающем действии потока дробы на поверхностный слой отливки, покрытой корочкой пригара и окарины. Различают дробеметную и дробеструйную очистки. При дробеструйной очистке дробь с помощью сжатого воздуха направляется на очищаемую отливку со скоростью до 20—80 м/с. Оптимальное расстояние между соплом и очищаемой поверхностью отливки 300—500 мм. Техническая характеристика наиболее распространенных дробеструйных аппаратов, изготавливаемых Усманским заводом литейного оборудования, приведена в табл. VIII.6.

Таблица VIII.6

Техническая характеристика дробеструйных аппаратов

Модель	Емкость камеры, м ³	Производительность сопла, кг/ч	Радиус действия, м	Масса дробы в аппарате, кг	Рабочее давление, кгс/см ² (10 ⁶ Па)
334М	0,140	1500	3	375	6
44122	0,035	1800	5	150	6

При дробеметной очистке дробь на очищаемую отливку подается с помощью дробеметного аппарата (табл. VIII.7), имеющего вращающееся рабочее колесо с лопатками, на которые дробь может подаваться с помощью распределительного колеса (импеллера), гравитационным и гравитационно-воздушным способами. Одной из главных проблем, возникающих при эксплуатации дробеметных аппаратов, является повышение срока службы лопаток, который обычно не превышает 30 ч. Применение низколегированных чугунов при соответствующих режимах термообработки и технологии отливки лопаток увеличивает их стойкость до 100—120 ч, а легированных чугунов (например, высокохромовых с В и Ti) до 220—240 ч. Применение высокопрочных материалов в сочетании с рациональным профилем лопатки и системами подачи дробы сжатым воздухом увеличивает срок службы лопаток до 2000 ч.

Таблица VIII.7

Техническая характеристика дробеметных аппаратов завода «Амурлитмаш»

Модель		Производительность (количество выбрасываемой дробы), кг/мин	Число лопастей, шт.	Диаметр ротора, мм	Установленная мощность, кВт	Скорость вылета дробы, м/с
правая	левая					
2М393	2М392	160	8	500	17	До 80
42115	42125	250	8	500	22	» 80
42116	42126	400	8	500	40	» 80
42117	42127	630	8	500	55	» 80

**Техническая характеристика дробебетных барабанов
периодического и непрерывного действия завода «Амурлитмаш»**

Модель	Объем загрузки, м³	Масса очищаемых деталей, кг	Максимальный размер очищаемых деталей, мм	Производительность, т/ч	Установленная мощность, кВт
Барабаны периодического действия					
323М	0,3	2—80	400	2—3,2	26,6
326М2	1,2	25—400	600	5—7	54,4
42216	1,2	До 400	600	6	85,0
42213	0,3	10—80	400	3—4,5	36,6
42223	0,3	До 40	400	4—4,5	36,6
Барабаны непрерывного действия					
317М	—	До 25	До 400	2—5	45,4
42322 (317М2)	—	» 25	» 400	3,5—7	60,6
42313	—	16—40	» 550	10	198,5
Примечание. Модель 317М с 1975 г. заменена моделью 42322 (317М2); модель 323М снята с производства в 1976 г.; модель 326М2 снята с производства в 1975 г. и заменена моделью 42216.					

Таблица VIII.9

**Техническая характеристика очистных камер периодического действия
завода «Амурлитмаш»**

Модель	Тип камеры	Производительность, т/ч	Внутренние размеры, м	Грузоподъемность тележки, тс (10 ⁴ Н)	Диаметр поворотного круга, м	Количество аппаратов, шт.	Установленная мощность электродвигателя, кВт
ДК 10М	Дробебетно-дробеструйная, проходная	3,0	3,4× ×3,2× ×2,4	3	2,0	1 дробебетный + 2 дробеструйных	37,6
372М	Дробебетно-дробеструйная	5,0	3,8× ×3,8× ×2,25	5	2,5	3 дробебетных + 1 дробеструйный	66,5
374С	Дробебетная, челночная	4,0	9,0×4,5	20	3,5	10 дробебетных	210,0
42612	Дробебетная, проходная	7,4	4,5×4,5	10	3,2	2 дробебетных	69,0
Примечание. Завод выпускает по заказу камеры моделей 42634, 42638, 42639 с производительностью 8—30 т/ч.							

**Техническая характеристика дробеметных очистных камер
непрерывного действия завода «Амурлитмаш»**

Модель	Модификация	Производительность, подвесок в час	Грузоподъемность одной подвески, кгс (10 Н)	Максимальные размеры очищаемых отливок, мм	Количество дробеметных аппаратов, шт.	Установленная мощность электродвигателей, кВт
375С	—	100	160	Ø 600×700	6	118,6
376	376-А-3 376-Б-6 376-В-9 376-Г-12	20—24 35—50 60—69 69—86	315	Ø 800×1400	3 6 9 12	57,3 111,3 165,3 219,3
378	378-Б-6 378-В-9 378-Г-12	11—14 16—19 20—24	1250	Ø 1200×2000	6 9 12	116,0 172,0 228,0
Примечание. Модель 376 с 1976 г. заменена моделью 42723 с аналогичными параметрами; модель 378 заменена моделью 42725 с 1977 г.						

Таблица VIII.11

Техническая характеристика дробеметных столов завода «Амурлитмаш»

Модель	Тип	Диаметр стола, м	Грузоподъемность стола, тс (10 ⁴ Н)	Максимальная масса очищаемых деталей, кг	Время очистки одной позиции, мин	Количество дробеметных аппаратов, шт.	Установленная мощность электродвигателей, кВт
353М	Периодического действия	3,2	1,6	530	1—5	2	43,6
345М	Непрерывного действия	1,6	0,6	150	3—5	1	23,3

Дробеметный способ очистки в 10 раз эффективнее дробеструйного; при этом энергоемкость его в 10 раз меньше. Недостатком дробеметной очистки следует считать затрудненность очистки внутренних полостей отливок сложной конфигурации.

Дробеметные барабаны, столы и камеры различают периодического и непрерывного действия (табл. VIII.8—VIII.11). По компоновке камеры периодического действия выполняются тупиковыми и проходными.

Техническая характеристика галтовочных барабанов периодического и непрерывного действия

Модель	Тип	Объем загрузки, м ³	Максимальная масса загрузки (без звездочек), кг	Производитель- ность, т/ч	Длина рабочей части, м	Диаметр барабана, м	Размеры загрузоч- ного люка, м	Частота вращения барабана, об/мин	Установленная мощ- ность электродви- гателей, кВт	Завод-изготовитель
ОБ800	Периодиче- ского действия	0,5	1600	3,0	1250	0,8	1,2× ×0,55	30	7,0	Завод литейного обо- рудования им. М. И. Ка- линина, Тбилиси
ОБ900		0,8	1800	3,5	1250	0,9	1,2× ×0,57	30	7,5	
314	Непрерыв- ного действия	—	—	5	4800	1,2	0,80	77	21,7	Завод химического ма- шиностроения, г. Гла- зов, Удмуртская АССР
Перспек- тивные		—	—	10—12	5600	1,9	—	27	28	
		—	—	15	6000	1,5	—	6; 10; 12	30	

**Техническая характеристика очистных вибрационных машин
Волковского завода литейного оборудования**

Модель	Объем камеры, л	Масса загрузки, кг	Максимальная амплитуда колебаний, мм	Максимальная частота колебаний в минуту	Установленная мощность электродвигателей, кВт
Машины с прямолинейной рабочей камерой					
ВМ-12М *	12	25	3	2000	1,1
МВ-12	12	25	3	2000	1,1
ВМП-25	25	50	4	2000	1,1—1,5
ВМП-50	50	100	4	2000	2,2
ВМ-100	100	200	4	2000	4,45
ВМ-200	200	400	4	2000	7,5
ВМ-400 (1УВ3)	400	800	4	1440	21,2
ВМ-800 (1УВ4)	800	1600	4	1440	64,1
Машина с прямолинейной рабочей камерой непрерывного действия					
ВМП-400Н **	400	800	4	1440	21,0
Машины с тороидно-винтовой рабочей камерой					
ВМПВ-100	100	200	4	2000	1,6—5,0
ВМПВ-200	200	400	4	2000	5,5
ВМПВ-400	400	800	4	1600	10,0
ВМПВ-800 ***	800	1600	4	1250	22,0
ВМПВ-1600 ***	1600	3200	4	1000	40,0
* Для обработки тонкостенных плоских деталей, серийный выпуск с 1981 г. ** Серийный выпуск с 1980 г. *** Серийный выпуск с 1984 г.					

Галтовочные барабаны используются для поверхностной очистки отливок, выбивки стержней, отбивки литников, удаления заусенцев и заливов. Очистка отливок происходит в результате трения и соударения отливок между собой и с наполнителем, а также со стенками барабана при его вращении. Отливки загружают в барабаны на 70—80% объема; в количестве 30—35% от массы отливок в барабан загружаются звездочки из белого чугуна диаметром от 20 до 66 мм. Продолжительность очистки составляет 0,5—2 ч. Крупные отливки с выступающими частями закрепляются внутри барабана и очищаются только в результате соударения с наполнителем.

Различают галтовочные барабаны периодического и непрерывного действия (табл. VIII.12). Барабаны периодического действия применяются в основном для очистки отливок в условиях мелкосерийного и единичного производства, а барабаны непрерывного действия — в условиях серийного и массового производства.

Техническая характеристика электрохимических установок

Производительность, т/год	Максимальная масса отливки, кг	Размеры ванны распада, м	Состав электролита, %			Продолжительность очистки, мин	Массовый расход щелочи на 1 отливку, кг	Объемный расход воды на 1 отливку, м³	Число обслуживаемых рабочих, чел.	Место использования установки
			NaOH	KOH	NaCl					
2 300	300	0,9 × 1,5	70—80	20—30	—	50	20	—	1	Компрессорный завод, Ленинград
15 000	7500	3 × 2	90—95	—	5—10	45—100	70	9	4	
2 400	210	1,5 × 1,6	100	—	—	38	80	8,6	1	
3 800	1,5	1 × 0,55 × 1,1	100	—	—	40	23	—	1	Завод топливной аппаратуры, Вильнюс
3 000	200	2,5 × 2,5	75	25	—	30—60	15	—	2	Машиностроительный завод, г. Касли
4 500	800	2 × 4	65	35	—	60	10	9	2	Промышленное объединение «Мелитопольхолодмаш»
2 600	500	1,8 × 0,8 × 0,4	100	—	—	24	8	2,2	4	«Уралмашзавод», Свердловск
3 500	16,8	1,1 × 0,7 × 0,5	93	—	7	25	43	—	1	Завод агрегатов, г. Чаплыгин
										Завод им. Лихачева, Москва

Таблица VIII.15

Техническая характеристика серийно выпускаемых пневматических рубильных молотков

Тип	Энергия удара, кгс·м (10 Дж)	Число ударов в минуту	Объемный расход сжатого воздуха, м³/мин	Давление воздуха в секунду, кгс/см² (10³ Па)	Диаметр ударника, мм	Длина (без рабочего инструмента), мм	Масса (без рабочего инструмента), кг
ИП-4112 (М4)	0,8	2800	1,15	5	25	328	4,2
ИП-4113 (М5)	1,2	2200	1,2	5	25	351	5,0
ИП-4114 (М6)	1,6	1600	1,2	5	25	390	6,0

Вибрационная очистка в зависимости от характера применяемой среды представляет собой механический или химико-механический процесс. При этом отливки с наполнителем помещаются в рабочую камеру и подвергаются вибрации с движением по круговой или спиральной траектории.

В качестве наполнителя применяют: синтетические абразивы — электрокорунд нормальный (Э), белый (ЭБ) и бой абразивных кругов на бакелитовой и керамической связке зернистостью 80, 100, 160 и твердостью СТ1—СТ3; звездочки из отбеленного чугуна; штамповки разной геометрической формы; бракованные мелкие детали и другой металлический наполнитель. Рекомендуемый диапазон амплитуды колебаний 3—6 мм; частоты колебаний в минуту 1250—2000.

Техническая характеристика пневматических рубильных и клепальных виброзащитных молотков

Тип	Диаметр/ход ударника, мм	Число ударов в минуту	Энергия удара, кгс·м (10 Дж)	Масса (без рабочего инструмента), кг	Сила нажатия, кгс (10Н)	Длина (без рабочего инструмента), мм	Масса обрабатываемых отливок, кг	Максимальная толщина удаляемого залива, мм
ИП-4120	28/100	2800	0,8	5,0	15	435	До 50	4—6
ИП-4119	28/110	2300	1,25	5,5	16	455	50—100	5—10
ИП-4118	28/135	1700	1,6	6,0	17	490	100—1500	10—15
ИП-4009 *	28/135	1500	2,25	7,5	20	450	1500—5000	13—18
ИП-4010 *	28/230	1000	3,6	10	20	560	>5000	16—20

* Клепальные молотки.

Рабочие камеры виброустановок, имеющие прямолинейную форму, рекомендуется загружать на 0,75 объема, а торондную на 0,8—0,9. Объемное соотношение наполнителя и отливок должно быть 1 : 1 для простых отливок и 1,4 : 1 для отливок, имеющих сложную конфигурацию. Техническая характеристика виброустановок, предусмотренных типажом литейного оборудования на 1976—1980 гг., представлена в табл. VIII.13.

Электрохимическая очистка заключается в катодном восстановлении окислы и химическом растворении пригара в электролите из расплавленного технического каустика при пропускании через него постоянного тока. Технологический процесс очистки состоит из пяти основных операций: предварительный нагрев отливок в печи с электро- или газонагревом до 150—250° С; электрохимическая очистка отливок в течение 30—40 мин в ванне с расплавленным каустиком при $t = 500^{\circ}\text{C}$ и плотности тока 1500—2500 А/м²; промывка отливок в холодной воде при $t = 18 \div 20^{\circ}\text{C}$ для удаления продуктов очистки (ферритного слоя, который отслаивается от основного металла и смывается); промывка отливок в горячей воде с $t = 85 \div 90^{\circ}\text{C}$ для окончательного удаления щелочи (продолжительность промывки в холодной и горячей воде по 3—5 мин); фосфатирование (3—7 мин) в 3—10%-ном растворе ортофосфорной кислоты при $t = 75 \div 90^{\circ}\text{C}$ для повышения коррозионной стойкости отливок.

По окончании процесса отливки высушиваются за счет аккумулированного в них тепла, а также горячим или холодным воздухом. Техническая характеристика установок для электрохимической очистки приведена в табл. VIII.14.

Обрубка (резка) отливок тоже производится разными способами. Наиболее широкое применение для обрубki чугуновых отливок нашла воздушно-дуговая резка (ВДР), основное преимущество которой — простота процесса и возможность обработки металлов, не поддающихся резке ацетилено-кислородным пламенем. Сущность способа заключается в непрерывном расплавлении металла электрической дугой и удалении расплава струей сжатого воздуха. Этим способом можно производить разделительную резку и поверхностную строжку на постоянном и переменном токе. При ВДР применяется постоянный ток (300—500 А) и свыше 500 А — переменный. Используются графитированные (жаростойкие) пластинчатые электроды марок ЭГО и ГМЗ размерами 15×25×250 мм. Источником электропитания является сварочный аппарат переменного тока ТСД-2000 или выпрямитель ВДМ-1601 (+ на электроде). Применяются также сварочные преобразователи типа СТН-500; ТСД-1000 и др., обслуживающие одновременно несколько постов.

Таблица VIII.17

Техническая характеристика обдирочно-шлифовальных станков

Тип	Модель	Размеры круга, мм	Зернистость	Окружная скорость, м/с	Частота вращения шпинделя, об/мин	Мощность электродвигателя, кВт	Область применения
Стационарный: с одним кругом (правый и левый исполнения)	3435	ПП500×63×203	80—125	50	1920; 3100	5,5	Для зачистки отливок массой до 20 кг
	3436	ПП600×75×305	80—125	50	1600; 2500	7,5	
	3437	ПП750×100×305	80—125	50	1265; 2375	10,0	
	M3-26	ПП500×50×203	80—135	50	—	4,0	
	3M636	ПП600×75×305	80—125	—	955; 1425	7,5	
	M3-11B	ПП600×100×305	80—125	50	1430; 2150	5,5	
Подвесной	3374K	ПП400×40×127	125—160	40	1910	4,0	Для зачистки крупных отливок То же
С гибким валом (прямая головка, привод на тележке)	3A382	ПП200 (115)×25×32	80—125	—	2880	2,2	

Таблица VIII.18

Техническая характеристика обдирочно-шлифовальных станков с гидравлическим сервоприводом

Назначение станка	Размеры круга, мм	Окружная скорость круга, м/с	Усилие поджима круга к изделию, кгс (10 Н)	Скорость подачи шлифовального круга, мм/с	Частота вращения шпинделя, об/мин	Мощность электродвигателя вращения круга, кВт	Рабочий ход шлифовальной головки (продольный, поперечный, вертикальный), мм	Максимальные габаритные размеры обрабатываемых отливок, мм
Зачистка: мелкого литья вагонных ба- локов отливок типа коробок	ПП500×75×203	40	50—240	200	1500	22	680, 540, 400	600×600×500
	ПП500×75×203	40	50—240	200	1500	22	2700, 540, 400	2500×500×500
	ПП500×75×203	50	50—150	200	1900	22	1200, 700, 735	1000×500×800

Техническая характеристика пневматических шлифовальных ручных машин

Модель	Максимальный диаметр шлифовального круга, мм	Частота вращения шпинделя, об/мин		Максимальная мощность на шпинделе, лс (0,736 кВт)	Объемный расход сжатого воздуха при максимальной мощности, м³/мин	Габаритные размеры, мм	Масса (без шлифовального круга), кг	Завод-изготовитель
		на холостом ходу	под нагрузкой					
Прямые								
ПШ-1М	6	90 000	—	0,08	0,2	Ø 47×185	0,32	Конаковский завод механизированного инструмента То же «Пневмостроймашина», Москва «Пневматика», Ленинград Конаковский завод механизированного инструмента То же
ПШТ-3 ИП2009А	12	25 000	—	0,4	0,46	Ø 82×400	1,2	
	63	12 700	9000	0,6	0,9	440×80×65	1,9	
ИП2013 ИП2015	63	12 700	9500	0,6	0,9	490×75×62	2,5	
	100	7 600	—	1,0	1,2	510×115×93	3,5	
ИП2014	150	5 100	4500	1,8	1,8	565×164× ×127	5,2	
Торцевые								
ИП2203	125	4580	3400	1,8	1,6	320×150× ×200	4,3	«Пневмостроймашина», Свердловск Предприятия судостроительной промышленности
ШРТМ	150	3500	—	1,5	1,8	320×180× ×205	7,5	

Модель	Максимальный диаметр шлифовального круга, мм	Частота вращения шпинделя, об/мин		Максимальная мощность на шпинделе, лс (0,736 кВт)	Объемный расход сжатого воздуха при максимальной мощности, м³/мин	Габаритные размеры, мм	Масса (без шлифовального круга), кг	Завод-изготовитель
		на холостом ходу	под нагрузкой					
ИП2204А *	175	8500	7000	2,0	2,2	275×250× ×215	4,5	Конаковский завод механизированного инструмента То же
ИП2206 *	225	6500	6000	2,5	2,5	305×270× ×235	5,6	
У г л о в ы е								
ИП2102 *	175	8500	7000	2,0	2,2	362×260× ×175	4,6	«Пневмостроймашина», Москва То же
ИП2103 *	225	6500	6000	2,5	2,5	365×300× ×200	7	
УЗМ-100	100 (δ=6)	—	4500	0,5	0,7	280×105× ×73	1,5	Предприятия судостроительной промышленности То же »
УЗМ-150	150 (δ=6)	—	3200	0,8	0,9	370×157× ×82	2,7	
УЗМ-200	200 (δ=6)	—	2400	1,25	1,2	388×208× ×90	3,2	

* Окружная скорость круга ~ 80 м/с.

Техническая характеристика электрических шлифовальных ручных машин

Модель	Диаметр шлифоваль- ного круга, мм	Частота враще- ния шпинделя, об/мин	Электродвигатель					Габаритные размеры, мм	Масса (без кабе- ля и круга), кг	Завод-изготовитель	
			Тип	Потребляе- мая мощ- ность, Вт	Частота вра- щения рото- ра, об/мин	Напряже- ние, В	Частота тока, Гц				
Прямые											
ИЭ-2002	150	3 160	Асинхронный с короткозамкну- тым ротором То же	800	11 600	36	200	585×166×158	5,2	«Электроинстру- мент», Даугав- пилс Калужский за- вод транспортно- го машинострое- ния «Электроинстру- мент», Выборг То же » «Электроинстру- мент», г. Резекне (Латвийская ССР) То же	
ИЭ-2003	200	2 750		400	2 750	220	50	480×247×214	9,5		
ИЭ-2004А	150	3 800	АП-33-А	800	11 600	36	200	585×166×158	5,5	»	
ИЭ-2005	100	5 450	Однофазный коллекторный	400	—	220	50	533×122×112	4,75		
ИЭ-2006А *	125 ($\delta = 20 \div 25$)	11 700	АП-43-М	1600	11 700	36	200	590×140×125	7,5	»	
ИЭ-2007	40	19 000	Однофазный коллекторный	600	—	220	50	510×100×82	3,0		
ИЭ-2008	63	12 000	То же	600	—	220	50	576×86×86	3,8		
Угловые											
ИЭ-2102А *	225 ($\delta = 3 \div 10$)	6 800	АП-43-А	1600	11 700	36	200	467×288×184	8,2	«Электроинстру- мент», Выборг То же	
ИЭ-2103А *	175 ($\delta = 3 \div 10$)	8 500	АП-43-А	1600	11 700	36	200	467×262×184	8,0		
* Окружная скорость круга ~ 80 м/с.											

**Техническая характеристика электрических ручных машин с гибким валом
выборгского завода «Электроинструмент»**

Модель	Электродвигатель			Габаритные размеры, мм	Масса, кг	Шлифо- вальная головка
	Тип	Мощ- ность, Вт	Частота враще- ния ротора, об/мин			
ИЭ-6103	Трехфазный, асинхронный с ко- роткозамкнутым ротором	800	2800	328×175× ×245	13	Прямая и угло- вая
ИЭ-8201А	То же	800	2800	328×175× ×245	13	Универ- сальная

Оптимальные режимы воздушнодуговой резки при обрубке отливок: сила тока 1200—1500 А; давление сжатого воздуха 4—6 кгс/см² [(4÷6) 10⁵ Па]; первоначальный вылет электрода не более 150 мм; наклон струи сжатого воздуха 60—30°, а при снятии слоев 2—5 мм 30—15°; скорость резки 300—1500 мм/мин.

Для воздушнодуговой резки разработано множество конструкций электрододержателей. Строжку наружных и внутренних поверхностей отливок на токах до 1500 А производят электрододержателем РВД-У-4 с боковым пневматическим зажимом.

Обрубку производят также пневматическими рубильными молотками (табл. VIII.15). ВНИИСМИ (Москва) разработана гамма виброзащищенных рубильных и клепальных молотков, которые по допустимым значениям вибрации соответствуют ГОСТ 17770—72 (табл. VIII.16). Молотки рекомендованы к серийному производству. Они снабжены копкаком — манипулятором для удержания рабочего инструмента и его поворота вокруг собственной оси с одновременной защитой левой руки от вибрации.

Зачистка отливок производится шлифовальными кругами (абразивная обработка), металлическими (зачистка трением) и металлическими с наложением электрического тока (электроконтактная зачистка). Техническая характеристика обдирочно-шлифовальных станков представлена в табл. VIII.17 и VIII.18. Абразивную обработку производят также с помощью пневматических и электрических ручных шлифовальных машин (табл. VIII.19; VIII.20; VIII.21).

2. ТЕРМИЧЕСКАЯ И ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЧУГУНА

Термическая обработка (ТО) является мощным средством повышения свойств чугуна благодаря изменению его матрицы, степени графитизации, гомогенизации, понижению напряжений и стабилизации размеров *. При этом во всех случаях форма графита в чугуне не изменяется; при отжиге же белого чугуна форма образующегося графита в значительной степени зависит от режима ТО. Применяемые и ниже рассматриваемые виды ТО могут быть классифицированы: на отжиг (высокотемпературный и низкотемпературный); нормализацию; закалку (объемную и поверхностную) и отпуск. Все они сопровождаются структурными изменениями в чугуне, которые протекают при нагреве и охлаждении [3]. В ряде случаев чугун подвергают химико-термической обработке, которая благодаря изменению состава поверхностного слоя позволяет повысить его износостойкость, коррозионную стойкость, усталостную прочность, окалиностойкость и другие свойства.

* Вопросы о напряжениях рассматриваются ниже (гл. IX).

Фазовые превращения в чугунах

Превращения при нагреве начинаются в эвтектическом интервале и заключаются в $\alpha \rightarrow \gamma$ -превращении и растворении С (графита или цементита); процессы гомогенизации не успевают при этом заметно проявиться. Кинетика растворения графита возрастает главным образом с повышением температуры, но в некоторой мере зависит также от формы и размеров его включений: чем крупнее и грубее

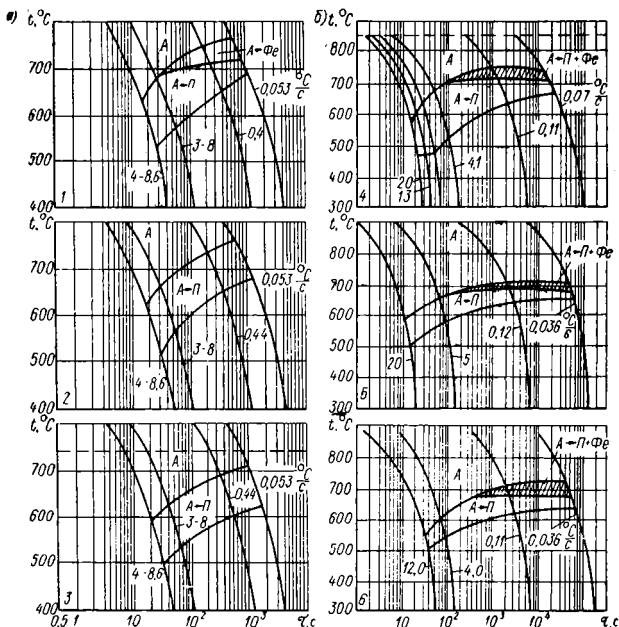


Рис. VIII.1. Термокинетические диаграммы превращения аустенита при разных скоростях охлаждения (цифры на кривых) и разном составе: а — СЧ; б — ВЧШГ.

1 — 3,5% C; 1,89% Si; 0,46% Mn; 0,04% P; 0,037% S; 0,02% Ni; 2 — то же, 0,56% Cr; 3 — то же, но 0,94% Ni и 1,1% Cr; 4 — 3,31% C; 2,37% Si; 0,67% Mn; 0,14% P; 0,04% S; 5 — 3,41% C; 2,33% Si; 1,02% Mn; 0,11% P; 0,03% S; 6 — 3,50% C; 2,27% Si; 1,89% Mn; 0,14% P; 0,025% S

графит, тем медленнее идет процесс. Продолжительность насыщения аустенита (А) до равновесной концентрации при $t = 850 \div 900^\circ \text{C}$ в зависимости от исходной структуры составляет 30—60 мин, а при нагреве до $1050 \div 1100^\circ \text{C}$ — всего десятки секунд. При нагреве чугуна выше критических точек происходит процесс гомогенизации, а значит, и более равномерное распределение элементов по зернам А и карбидов и перераспределение их между ними в сторону более равновесного состояния. Поэтому карбидообразующие элементы диффундируют в карбиды, а графитизирующие — в твердый раствор.

Превращения при охлаждении чугуна ниже эвтектидных температур* определяются скоростью охлаждения и составом металла (рис. VIII.1) [13].

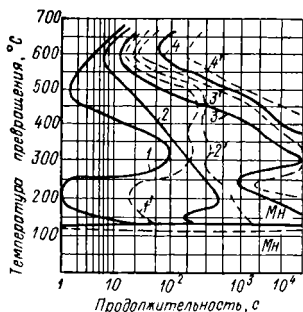


Рис. VIII.2. S-образные кривые распада переохлажденного аустенита в СЧ (сплошные линии) и ВЧШГ (штриховые линии):

1 — 1% распавшегося аустенита; 2 — 5%; 3 — 50%; 4 — 100%

мартенситное превращение протекает при более низкой температуре (так же влияет и С). В этом отношении большое влияние оказывают легирующие элементы, которые по степени уменьшения воздействия на устойчивость А как

В зависимости от этого структура после охлаждения может быть различной: от аустенита (А) или мартенсита (М) до перлита (П) или феррита (Фе). Пользуясь термодинамическими диаграммами (рис. VIII.1), можно приблизительно выбрать режим ТО чугуна и скорость охлаждения для получения той или иной структуры матрицы в СЧ и ВЧШГ**. Например, при распаде аустенита в ВЧШГ при содержании $Mn = 0,6 \div 0,7\%$ и скорости охлаждения $10^\circ C/c$ и более начинается смешанное превращение с получением П, троостита (Тр) и М; при более низких скоростях охлаждения кроме П образуется Ф; увеличение массовой доли Мп действует в обратном направлении.

Изотермический распад переохлажденного А, его характер и интенсивность зависят от многих факторов. Как видно из рис. VIII.2 [11], S-образные кривые ВЧШГ располагаются правее СЧ и, следовательно, распад А в них происходит медленнее, а

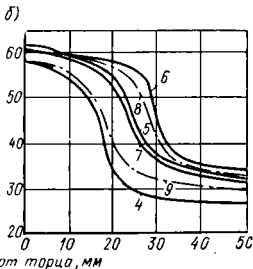
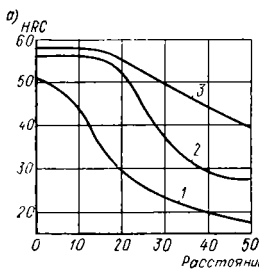


Рис. VIII.3. Влияние легирующих элементов на прокаливаемость чугуна при закалке с $900^\circ C$: а — СЧ; б — ВЧШГ:

1 — нелегированный чугун; 2 — чугун с 0,7% Сг и 1,7% Ni; 3 — чугун с 1,3% Ni и 0,9% Мо; 4 — нелегированный чугун; 5 — чугун с 0,22% Си; 6 — чугун с 0,24% Ni; 7 — чугун с 0,25% Мо; 8 — чугун с 0,48% Си; 9 — чугун с 0,025% В

* Положение критических точек при нагреве может быть приблизительно определено верхней $t_v = 738 + 18 Si^{1,75}$, нижней $t_n = 738 + 5 Si^2$; при охлаждении они на $30-50^\circ C$ ниже (чем меньше содержание Si, тем больше эта разность).

** На рис. VIII.1 дано только принципиальное влияние Сг и Ni в СЧ и Мп в ВЧШГ. В реальных условиях колебания в составе чугуна значительно больше, и поэтому необходимы предварительные экспериментальные исследования для определения режима ТО.

в СЧ, так и в ВЧШГ, располагаются в ряд: Mn, Cr, Ni, W, V, Si, Cu, Al, причем особо следует отметить специфическое влияние Si, поскольку он одновременно является легирующим и графитизирующим элементом. И, действительно, Si понижает устойчивость А вследствие уменьшения растворимости С в γ -фазе, но при 2—2,5% и выше он замедляет распад А на феррито-карбидную смесь и одновременно ускоряет выделение Fe.

Следует также отметить, что Mn наиболее эффективно повышает устойчивость А в ВЧШГ, особенно при $t < 400^\circ\text{C}$. Точно так же и модифицирование оказывает влияние на устойчивость переохлажденного А; в частности, Mg ее увеличивает, вследствие чего S-образные кривые перемещаются вправо. Количество остаточного А в чугуне увеличивается с повышением температуры заковки, и при 1050°C даже нелегированный чугун может быть полностью аустенитным. При понижении температуры количество А уменьшается.

Чувствительность чугуна к фазовым превращениям находится также в зависимости от толщины отливок. Так как внутренние слои отливки при ТО охлаждаются медленнее поверхностных, то на некоторой глубине скорость охлаждения может быть меньше критической, и глубина фазовых преобразований может быть различной. Эта чувствительность к скорости охлаждения (квазинизо-

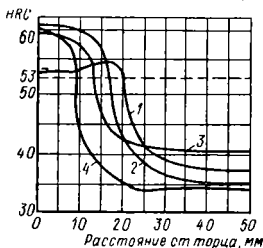


Рис. VIII.4. Влияние кремния на прокаливаемость ВЧШГ:

1 — 2,13% Si; 2 — 2,6% Si; 3 — 3,3% Si; 4 — 4,03% Si

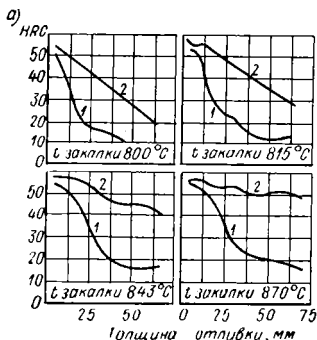


Рис. VIII.5. Влияние температуры аустенизации на прокаливаемость чугуна: а — СЧ; б — ВЧШГ:

1 — нелегированный; 2 — легированный 0,5% Мо; 3 — заковка с 850°C ; 4 — заковка с 900°C ; 5 — заковка с 950°C

тропия) особенно важна в отношении прокаливаемости. Те факторы, которые увеличивают устойчивость А, обычно повышают и его прокаливаемость. Так, прокаливаемость СЧ тем ниже, чем грубее графит и чем его больше; Mg, увеличивая устойчивость А, повышает также прокаливаемость ВЧШГ по сравнению с СЧ. На прокаливаемость чугуна оказывают, конечно, влияние его состав и температура аустенизации. Такие элементы, как Mn, Ni, Mo, Cu (рис. VIII.3), резко

увеличивают прокаливаемость чугуна [4], а Si (рис. VIII.4) ее уменьшает [11]. Повышение температуры аустенизации (рис. VIII.5) увеличивает прокаливаемость как СЧ, так и ВЧШГ [9, 11, 12].

Термическая обработка чугуна

В табл. VIII.22 [11] приведены основные виды ТО, применяемые для чугуна. *Графитизирующий отжиг* применяется для разложения карбидов в отливках из всех чугунов (в КЧ это нормальный этап процесса, см. гл. I). Он производится обычно при 850—980° С. При этом особенно благоприятное влияние на скорость процесса оказывает Si (рис. VIII.6, а). Благоприятное, хотя и не столь интенсивное влияние оказывают и другие графитизирующие элементы, в том числе и С. Тормозящее влияние оказывают Cr, Mn и другие антиграфитизирующие элементы. Кроме того, продолжительность процесса зависит от температуры отжига, тол-

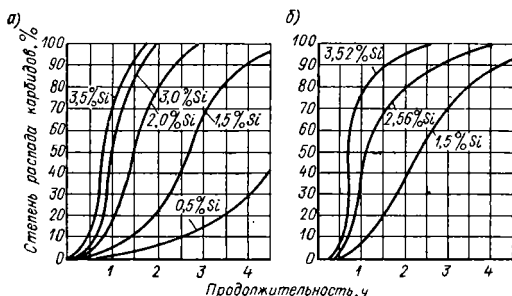


Рис. VIII.6. Влияние содержания Si на графитизацию при отжиге: а — 1-я стадия графитизации; б — 2-я стадия

щины отливок, модифицирования и других факторов. Чем выше температура, тем быстрее протекает процесс. На практике чаще всего ведут отжиг при 930—960° С. При этом продолжительность графитизации в толстостенных отливках зависит от размеров карбидов, а не от их количества. В некоторых случаях с целью сокращения времени графитизирующего отжига его ведут при $t = 980 \div 1050^\circ \text{C}$, что, безусловно, необходимо производить в условиях, предохраняющих от окисления. Скорость отжига СЧ и ВЧШГ значительно больше, чем КЧ, что объясняется более высоким содержанием Si и наличием графита. При этом продолжительность отжига принимается по работе [16] 1 ч на каждые 25 мм толщины отливки. Графитизирующий отжиг легированных чугунов (номаг, нирезист и др.) выбирается практически путем и также проводится при 900—960° С.

Для получения структуры Fe и Fe—П * отливки подвергаются 2-й стадии графитизации, что резко повышает пластичность ВЧШГ (до 20%). Полная или частичная ферритизация СЧ производится для снижения твердости HB и улучшения обрабатываемости. Продолжительность этого процесса снижает главным образом содержание Si (рис. VIII.6, б). Но в этом случае благоприятное влияние, часто даже более сильное, чем Si, оказывает и С. А Cr, Mn, Ni, Cu и P и здесь увеличивают продолжительность графитизации. Особенно сильно в этом отношении влияет Cr, так что отжиг ВЧШГ при $\text{C} + \text{Si} = 5,8\%$ и $\text{Cr} = 0,25\%$ в течение 8 ч при 720° С не приводит даже к частичному распаду П. Влияние Ni и Cu на 2-ю стадию графитизации идентично, оба элемента задерживают процесс;

* Fe—П структура часто получается и без всякой ТО, непосредственно при литье.

так же действует и Р при увеличении содержания с 0,10 до 0,25%. Для получения полностью структуры Фе выбор температуры также имеет существенное значение: чем она выше в пределах до критической, тем скорее протекает процесс; но выбор температур должен производиться с учетом гистерезиса превращения. Используя тормозящее влияние вышеуказанных элементов на графитизацию, можно при 2-й стадии графитизации получить чугуны с зернистым перлитом (сфероидизация заменяет ферритизацию), что особенно благоприятно для ВЧШГ, в котором $\sigma_{\text{в}}$ возрастает до $60-65 \text{ кгс/см}^2$ [$(60+65) 10^7 \text{ Па}$] при достаточно высоких значениях пластичности и вязкости [$\delta = 4-8\%$; $a_n = 3,6 \text{ кгс}\cdot\text{м/см}^2$ (36 Дж/см^2)]. Сфероидизация П проводится в течение 5—8 ч при $640-660^\circ\text{C}$.

На продолжительность 2-й стадии, как и 1-й стадии графитизации, оказывают влияние толщина отливки и режим охлаждения. Медленное охлаждение с $980-850^\circ\text{C}$ до 720°C (со скоростью 120°C/ч) по сравнению с изотермическим выдержкой при 700°C дает возможность получить больше Фе и большую пластичность. Применение кальцийсодержащих комплексных модификаторов также позволяет сократить отжиг и повысить пластичность ВЧШГ. Охлаждение отливок после ферритизирующего отжига должно производиться быстро в интервале температур $500-300^\circ\text{C}$, поскольку ВЧШГ, как и КЧ, склонен к отпускной хрупкости и получению «белого» излома.

Нормализация чугуна осуществляется при нагреве до температур выше критических, обычно $850-950^\circ\text{C}$ [11]. Целью нормализации является получение отливок со структурой П, повышенной прочностью и износостойкостью, причем в сыром состоянии отливки могут подвергаться нормализации также для измельчения П. Режим процесса выбирается в зависимости от количества Фе в сырой структуре и состава чугуна, особенно от процента Si. Иногда нормализацию совмещают с графитизирующим отжигом или гомогенизацией для получения более однородной структуры после охлаждения на воздухе. Ускоренное охлаждение чугуна (на воздухе) после выдержки при температуре аустенизации способствует увеличению количества $C_{\text{св}}$ в тем большей степени, чем выше температура и больше время выдержки перед охлаждением на воздухе. На режим нормализации оказывают влияние толщина отливки и состав металла, которые определяют стабильность П и положение интервала эвтектоидного превращения. После прогрева отливок, особенно при исходной структуре Фе—П, они часто выдерживаются в печи еще 30—120 мин с целью гомогенизации. При нормализации АЧ наряду с разложением карбидов стабилизируется аустенитная структура, и в этом случае достаточно охлаждения на воздухе. Используя нормализацию, можно повысить марки чугуна примерно на два класса. Наиболее высокие прочностные свойства достигаются при нормализации синтетического чугуна. Для повышения пластичности в ряде случаев ВЧШГ с перлитной основой подвергают двойной нормализации [9].

Закалка и отпуск обеспечивают наиболее высокие механические свойства чугуна. Полную закалку производят из области аустенитного состояния при нагреве до температуры не больше чем на $30-50^\circ\text{C}$ выше конца $\alpha \rightarrow \gamma$ превращения (обычно $850-930^\circ\text{C}$) *. Время выдержки определяется исходной структурой чугуна, толщиной стенок отливки и составляет примерно 0,5—2,0 ч. В закаленном состоянии чугун отличается высокой твердостью, повышенной хрупкостью, очень низкими значениями удлинения, ударной вязкости, прочности (табл. VIII.23) и большими внутренними напряжениями. Закалка в воде может привести поэтому к появлению закалочных трещин, особенно в случае высокого перегрева. В ряде случаев закалку совмещают с графитизирующим отжигом. Так, после проведения 1-й стадии графитизации при 950°C отливки охлаждают с печью до $900-840^\circ\text{C}$, а затем в масле. Механические свойства чугуна после закалки характеризуются низкими значениями прочности и пластичности и высокими значениями твердости (табл. VIII.23).

* Более высокие температуры способствуют не только более полной аустенизации, но и рекристаллизации А и его более полному легированию, что в присутствии ВГ и ШГ значительно повышает свойства чугуна. Выбор температуры зависит от температурного интервала превращения $\gamma \rightarrow \alpha$, состава чугуна и его структуры, в частности от соотношения Фе и П. Чем больше Фе, тем выше критические точки и тем выше должна быть температура аустенизации [11].

Вид обработки	Основные технологические параметры процесса			
	Скорость нагрева	Температура нагрева, °C	Продолжительность выдержки	Охлаждение
Отжиг низко-температурный (искусственное старение)	70—100° C в час	500—600, легированных чугунов до 630	В зависимости от конфигурации детали и габаритных размеров отливки 2—8 ч	Медленное с печью 20—50° C/ч до 250° C
Отжиг низко-температурный графитизирующий	—	680—750	В зависимости от требуемой конечной структуры 1—4 ч	Медленное до 250° C для сложных деталей
Отжиг высоко-температурный графитизирующий (смягчающий)	—	850—950	Достаточно для полного распада свободного Ц (0,5—5 ч)	Медленное с печью, выдержка при A ₁
Нормализация СЧ	Медленно до 550° C для сложных деталей	850—950	Достаточная для насыщения А углеродом (0,5—3 ч)	На воздухе
Нормализация отбеленного чугуна	То же	850—950	Достаточная для разложения Ц (0,5—5 ч)	»
Закалка	»	850—930	Достаточная для насыщения А углеродом (0,5—3 ч)	Вода, масло
Изотермическая закалка	Простые детали ускоренно, сложные до 550° C замедленно	830—900	Достаточная для прогрева (0,2—1,5 ч)	Закалочная среда с температурой 250—600° C
Поверхностная закалка	Быстрый нагрев поверхностного слоя т. в. ч., газовым пламенем, в электролите	840—950	Достаточная для прогрева заданного слоя (10 с)	В воде, масле и других средах
Отпуск	Сложные детали замедленно	200—700 в зависимости от требуемой твердости	Достаточная для образования стабильных структур (1—3 ч)	На воздухе

ботки серого чугуна

Структурные, фазовые превращения	Исходная структура основной массы	Конечная структура	Назначение
—	П—Фс; П	Практически не изменяется	Снятие внутренних напряжений, повышение вязкости, стабилизация размеров детали, снижение деформации
Распад Ц перлита	П; П + Фс	Фс + П; Фс	Снижение твердости, улучшение обрабатываемости, повышение пластичности, ударной вязкости; прочность чугуна снижается
Распад свободного Ц и частично или полностью Ц перлита	Свободный Ц + П	П + Фс; Фс	Уменьшение твердости, улучшение обрабатываемости, повышение пластичности
Насыщение А углеродом и его превращение в П	П + Фс; Фс	П; сорбитообразный П	Увеличение количества связанного С, повышение твердости, прочности, износостойкости
Распад свободного Ц	Свободный Ц + П	—	Понижение твердости, улучшение обрабатываемости; повышение механических свойств
Превращение переохлажденного А	П; П + Фс	Продукты распада переохлажденного А: М, Тр, сорбит, остаточный А	Повышение твердости до HB 500, повышение прочности, износостойкости
Изотермическое превращение А	П; П + Фс	Продукты изотермического превращения А: Б, Тр, сорбит, остаточный А	Повышение твердости до HB 500, повышение прочности, резкое увеличение износостойкости
Превращение переохлажденного А в поверхностном слое	П ($\geq 0,6\%$ C _{св})	В поверхностном слое продукты превращения переохлажденного А	Повышение поверхностной твердости до HRC 55; резкое увеличение износостойкости
Превращение остаточного А, М, укрупнение карбидной фазы	М, Тр, остаточный А	М, Тр, сорбит отпуска	Снятие закалочных напряжений, распад твердых растворов, повышение вязкости, пластичности и предела выносливости

После закалки отливки подвергаются отпуску (см. табл. VIII.22): низкому при $\sim 200^{\circ}\text{C}$, при котором сохраняются структура М и высокая *НВ*, но несколько уменьшаются закалочные напряжения; среднему при $250\text{--}500^{\circ}\text{C}$, при котором происходит превращение М и достигаются наиболее высокие механические и эксплуатационные свойства; высокому при $600\text{--}700^{\circ}\text{C}$ *, при котором снижается *НВ* и обеспечиваются получение зернистого П и более высокая пластичность чугуна (табл. VIII.23).

Таблица VIII.23

Влияние термической обработки на механические свойства ВЧШГ

Состояние	$\sigma_{\text{в}}^*$ кгс/мм ²	δ , %	<i>НВ</i>	σ_{-1}^* кгс/мм ²	$\sigma_{-1}^{\text{надр}}^*$ кгс/мм ²
Исходное	70	3	255	29	19
После нормализации (900° C)	90	3	325	34	21
После двойной нормализации (900° C)	105	4	360	—	—
После закалки (900° C)	18	0,8	550	—	—
После закалки (900° C) и отпуска (675° C)	80	6	190	—	—
После закалки (900° C) и отпуска (600° C)	94	4	295	34	21
После закалки (900° C) и отпуска (550° C)	100	1,5	350	34	20
После изотермической закалки (880° C) в жидкости с $t = 350^{\circ}\text{C}$	120	6	360	40	25

Примечание.

Приведенные данные получены на магниевом чугуне. При использовании комплексных модификаторов, особенно типа Mg-Ca-P3M-Si-Fe , свойства ВЧШГ значительно выше.

Главное преимущество более высокого отпуска заключается в большей пластичности, меньшей твердости, но при этом несколько падает $\sigma_{\text{в}}$. Преимущества закалки и отпуска перед нормализацией заключаются главным образом в более высокой пластичности. Весьма важно и интересно также влияние ТО на усилии разрушения по Шарпи A_{II} (рис. VIII.7) [16], из которого следует, что преимущества той или иной ТО зависят от температуры испытания.

Изотермическая закалка обеспечивает более высокие свойства (см. табл. VIII.23), а также износостойкость, причем отливки имеют меньшие напряжения и характеризуются меньшей опасностью образования трещин и коробления. Нагрев для изотермической закалки определяется исходной структурой и составом чугуна, особенно содержанием Si. Изотермическую закалку чугуна можно проводить с температуры аустенитного и аустенито-ферритного состояния и, следовательно, применять полную или частичную закалку. Во всех случаях закалка производится в жидкие закалочные среды при $t = 250\text{--}500^{\circ}\text{C}$ и характеризуется получением структуры Б или троостита. При изотермической закалке литых коленчатых валов из ВЧШГ в качестве закалочной среды применяется смесь, состоящая из 60% NaOH и 40% KOH . Кроме того, могут быть рекомендованы смеси: 1 часть $\text{CaCl}_2 + 2$ части $\text{NaCl} + 4$ части $\text{KCl} + 7$ частей BaCl_2 ($t_{\text{пл}} = 470^{\circ}\text{C}$) или 1 часть $\text{NaNO}_3 + 1$ часть KNO_3 ($t_{\text{пл}} = 220^{\circ}\text{C}$). Оптимальное со-

* Процесс закалки с последующим высоким отпуском часто называют улучшением.

четание прочности и пластичности чугуна достигается при $t = 330 + 380^\circ \text{C}$. При полной закалке чугун отличается высокой прочностью и $HV \geq 300$. С целью уменьшения HV и повышения обрабатываемости для ВЧШГ целесообразно применять частичную закалку, т. е. с температуры одновременного существования α и Fe , что обеспечивает троостито-ферритную структуру и особо высокие свойства, в том числе по понижению порога хрупкости. Такая закалка обеспечивает получение HV , не отличающейся от HV при нормализации, и позволяет повысить σ_B в среднем более чем на 20%, δ более чем на 30% и a_n — почти в 2 раза. Относительно низкая твердость ($HV 229-266$) и хорошая обрабатываемость чугуна позволили применить его для массового производства литых коленчатых валов дизельных тракторных и комбайновых двигателей. Этот чугун отличается высокой циклической вязкостью и более высокой износостойкостью по сравнению с нормализованным чугуном, низкой чувствительностью к концентраторам напряжений и высокой усталостной прочностью. Сопротивление усталости ВЧШГ со структурой троостит-феррит при наличии концентраторов напряжений повышается против нормализованного чугуна на 60—80%. Продолжительность нагрева и продолжительность изотермической выдержки в закалочной среде определяются составом чугуна и толщиной стенок отливок; продолжительность выдержки в закалочной среде обычно составляет 2—4 ч. Общая характеристика этих свойств при троостито-ферритной структуре представляется следующими данными:

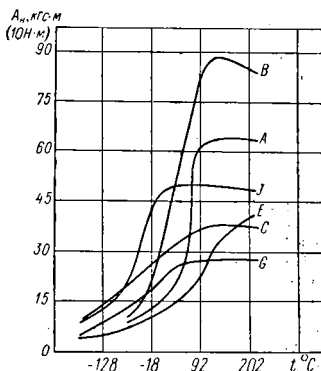


Рис. VIII.7. Влияние термообработки на усталостное разрушение A_n ВЧШГ (3,65% C; 2,48 Si; 0,52 Mn; 0,065% P; 0,78% Ni; 0,08% Cr; 0,15% Cu) при разных температурах:

A — без ТО; B — отжиг при 700°C ; C — закалка с 900°C , отпуск 670°C ; E — нормализация с 900°C , отпуск 640°C ; J — закалка с 860°C , отпуск 645°C ; G — закалка с 860°C , отпуск 480°C .

σ_B , кгс/мм ² (10^7 Па)	δ , %	HV	$\sigma_B^{\text{надр}}$, кгс/мм ² (10^7 Па)	σ_{-1} , кгс/мм ² (10^7 Па)	$\sigma_{\text{надр}}$, кгс/мм ² (10^7 Па)	τ_{-1} , кгс/мм ² (10^7 Па)	$\tau_{\text{надр}}$, кгс/мм ² (10^7 Па)
78—81	5—7	241—269	78—81	33,5	23	24,6	23,0

Термоциклирование [12] является новым видом термообработки ВЧШГ, которое можно с успехом применить для устранения хрупкости и высокой температуры порога хладноломкости, что обычно обусловлено прямой ликвацией Si и его расположением вокруг включений графита. Для устранения этого необходимо, чтобы скорость при охлаждении была значительно больше, чем при нагреве, так как иначе при медленном охлаждении происходит вынужденная термодиффузия Si в феррите. Поэтому при термоциклировании отливки с П-Ф-структурой подвергают 8—10 раз быстрому нагреву со скоростью 30—40 °C/мин до температуры на 30—50 °C ниже температуры превращения и после каждого нагрева быстро охлаждают на воздухе, в масле или воде. Значения a_n чугуна при этом возрастают с 1,5—2,5 до 10—14 кгс·м/см², а порог хладноломкости снижается с +20 °C до —(10÷20) °C. Влияние термоциклирования на механические свойства чугуна при разных температурах представлено в табл. VIII.24.

Влияние термоциклирования на механические свойства ВЧШГ

Температура, °C	ВЧ 45-5 отожженный			ВЧ 45-5 отожженный я термоциклированный		
	σ_B	$\sigma_{0.2}$	δ , %	σ_B	$\sigma_{0.2}$	δ , %
	кгс/мм ²			кгс/мм ²		
—196	45,7	—	0	63,7	62,0	1,1
25	48,5	34,0	15,8	49,1	35,0	20,8
100	47,8	28,4	11,9	49,8	30,4	12,5
200	45,5	34,7	13,8	52,2	30,6	12,7
300	—	—	—	53,2	31,6	14,0
400	42,9	30,1	12,6	41,6	27,6	13,7

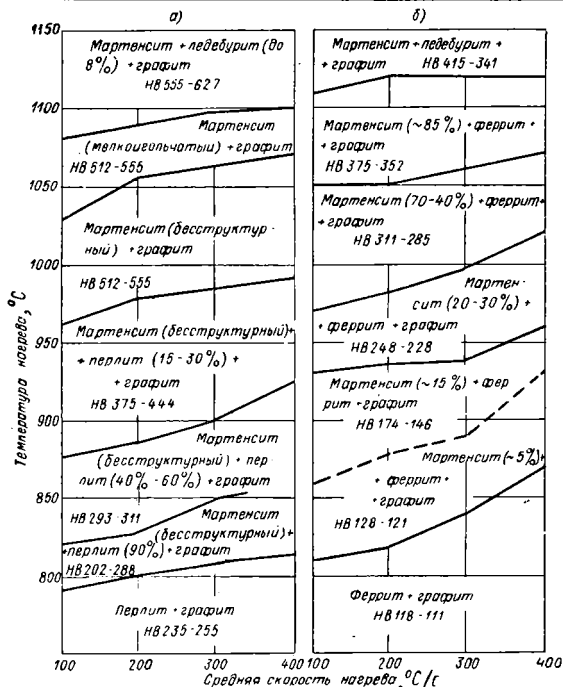


Рис. VIII.8. Структурные диаграммы поверхностной закалки т. в. ч.: а—для серого перлитного чугуна; б—для ковкого ферритного чугуна

Поверхностная закалка проводится с целью повышения поверхностной твердости и износостойкости. При этом нагрев поверхностного слоя может осуществляться т. в. ч., ацетилено-кислородным пламенем или в жидких ваннах. Охлаждающей средой в основном служит холодная либо подогретая вода или эмульсия. Поверхностная закалка ПЧ, вследствие наличия значительного количества C_{Fe} , не представляет особых трудностей. Нагрев ПЧ осуществляется до 850—930° С. При этом достигается поверхностная HRC 57—59. Однако с увеличением количества Fe поверхностная закалка чугуна усложняется. При больших скоростях нагрева (скорость нагрева т. в. ч. составляет около 400° С/с) закалка происходит только в микрообъемах, где в исходной структуре был П. Поэтому для закалки чугуна со структурой Fe—П необходимы повышение температуры нагрева и увеличение выдержки для насыщения аустенита углеродом. В ряде случаев отливки из чугуна подвергают предварительной ТО, а затем поверхностной закалке. При ПЧ глубина закаленного слоя составляет 1,5—4 мм. В каждом конкретном случае производится опытным путем выбор оптимальных режимов поверхностной закалки. Высокий перегрев и повышенное содержание Р в чугуне способствуют появлению закалочных трещин при поверхностной закалке. П. И. Русиным разработаны структурные диаграммы поверхностной закалки т. в. ч. для КЧ (рис. VIII.8), которыми можно пользоваться на практике.

Термическая обработка аустенитного чугуна с ШГ была в последнее время исследована в ЦНИИТмаше. Показано, что оптимальной ТО этого чугуна является нормализация с $t = 1050^\circ\text{C}$ после 4 ч гомогенизирующей выдержки при этой температуре. При этом происходит сфероидизация карбидов тригонального типа, количество которых зависит от содержания Cr, Mn, Si и скорости охлаждения. Интересно, что применение термочиклирования этого чугуна обеспечивает максимальные свойства после 2-часовой обработки при охлаждении в жидком азоте при $t = -196^\circ\text{C}$ в течение 15 мин и реаустенизации при $t = 720^\circ\text{C}$ в течение 2 ч.

Химико-термическая обработка чугуна

При помощи химико-термической обработки чугуна представляется возможность повысить его износостойкость, улучшить антикоррозионные свойства в различных средах, повысить усталостную прочность, окалинностойкость, ростоустойчивость и т. д.

Азотирование отливок из СЧ осуществляется в среде диссоциированного аммиака при $t = 520\div 700^\circ\text{C}$ в течение 5—70 ч. Твердость азотированной поверхности достигает HB 700—1000. Высокая твердость обусловлена образованием нитридов и высокой степенью их дисперсности. Содержание N в азотированном слое может быть 1—2%, глубина азотированного слоя 0,3—1,0 мм [1, 2]. Для азотирования применяются чугуны с мелким разбавленным графитом (лучше всего округлым или ШГ), содержащие легирующие элементы, главным образом нитридообразующие, для получения высоких свойств азотированного слоя, примерные пределы содержания которых составляют [1]:

Элементы . . .	Al	Cr	Mo *	Ni	V	Nb	Ti
Содержание, %	0,6—2,0	0,4—1,5	0,3—0,6	0,8—2	0,1—0,3	0,1—0,4	0,1—0,4

Содержание Si не должно быть высоким ($\leq 2,5\%$), так как он понижает глубину и микротвердость азотированного слоя. Одним из режимов, обеспечивающих достаточные твердость и глубину упрочненного слоя, является предварительное фосфатирование этих чугунов в соли «Мажеф» при $t = 96\div 98^\circ\text{C}$ с выдержке 40—60 мин. Последующее азотирование позволяет получать поверхностную твердость HV 1300 и глубину слоя 0,4—0,5 мм [5].

Азотирование ВЧШГ может производиться при t до 650° С, что сокращает в 15—20 раз продолжительность процесса. Азотированный слой является при этом нехрупким и плотным, так что можно применять нелегированный чугун

* Содержание Mo иногда доводят до 0,8%, так как он полезен также в отношении уменьшения отпускной хрупкости.

Хрупкость и пористость азотированного слоя
в зависимости от режима азотирования ВЧШГ

Температура азотирования, °С	Продолжительность азотирования, ч	Результаты коррозионных испытаний в воде в течение 7 сут	Пористость, определенная реактивом Уоккера	Оценка хрупкости азотированного слоя
550	1	Корродирует	Пористый	Нехрупкий
600	1	»	»	»
650	1	Коррозии нет	Единичные поры	»
700	1	» »	Пор нет	Слегка хрупкий
750	1	» »	» »	Хрупкий
650	3	» »	» »	Нехрупкий
650	5	» »	» »	»

или чугуна с низким содержанием легирующих элементов *. В табл. VIII.25 приведены значения хрупкости азотированного слоя ВЧШГ в зависимости от режима процесса. Для повышения антикоррозионной стойкости азотированного ВЧШГ температура процесса должна составлять 600—650° С с выдержкой 1—2 ч при степени диссоциации аммиака 30—40%. Если азотирование ведется для получения высокой твердости, то необходима $t = 650^\circ \text{С}$ с выдержкой 3—4 ч. При этом глубина азотированного слоя достигается 0,35 мм. В случае графитизации эвтектидных карбидов азотирование производится при более низких температурах, что приводит к значительному увеличению продолжительности процесса. При необходимости проведения местного азотирования остальную поверхность отливки (после механической обработки) предохраняют путем нанесения различных покрытий, например жидкого стекла. Контроль азотирования производится по «свидетелям». Имеются также способы жидкого азотирования и цинирования чугуна в солях.

Аллитирование позволяет резко повысить окалиностойкость, коррозионную стойкость в сернистых средах при повышенных температурах и ростоустойчивость чугуна. Наиболее распространенными являются следующие способы алитирования: в порошкообразных смесях (порошок Al с Al_2O_3 и NH_4Cl); в газовых средах (пары AlCl_3 в смеси с другими газами); в жидких средах (ванна с жидким алюминием); металлизация отливок путем распыления Al с последующим диффузионным отжигом. Перед алитированием отливка должна быть очищена от окалины, ржавчины и грязи путем дробеструйной очистки. Поверхность деталей подвергается также травлению и обезжириванию. Алитирование в порошкообразных смесях производится при 900—950° С в течение 4—6 ч. После алитирования с целью уменьшения хрупкости алитированного слоя следует провести отжиг. Алитирование в газовых средах осуществляется при 1050° С в течение 2 ч, в жидких средах — при 700—800° С в течение 20—30 мин. Глубина алитированного слоя в зависимости от процесса, температуры и выдержки находится в пределах 0,1—0,4 мм. Проведенные опыты по жидкостному алитированию ВЧШГ показали, что при 700° С в течение 20 мин образуется алитированный слой глубиной 0,15 мм. Такой чугун при 700—1000° С и выдержке до 160 ч не окисляется, и рост при этом сокращается в 5—8 раз. Алитирование в отличие от легирования Al не приводит к изменению механических свойств чугуна.

* Например, в работе [1] рекомендуется состав: 3,2—3,4% С; 1,9—2,2% Si; 0,5—0,6% Mn; 0,02—0,023% S; 0,05—0,08% Mg; 0,02—0,4% Cr; 0,2—0,4% Ni; 0,4—2% Al; 0,03—0,08% Ti; 0,1—0,12% P.

Сульфидирование применяется для повышения износостойкости, улучшения приработки, снижения коэффициента трения и устранения образования задиров. Глубина сульфидированного слоя составляет 200—300 мкм. Сульфидирование производится в газовых (H_2S), в твердых (FeS) и в расплавленных средах ($NaOH$, KOH , $NaCl$, $BaCl_2$ и др. с добавкой активных серосодержащих солей — Na_2S , $NaCNS$, KCN и др.); температура сульфидирования 350—750° С, продолжительность 2,5—3 ч. При этом твердость металла мало изменяется, но при высокой исходной твердости для ее сохранения применяется обычно низкотемпературная ванна (около 250° С). Для этой цели реализуется, например, состав из 40% Na_2S и 60% $Na_2S_2O_3$.

Процесс одновременного насыщения поверхности изделий серой и азотом [15] производится в газовой среде при $t \geq 500^\circ C$. Слой глубиной ~200 мкм имеет повышенную износостойкость. Хорошие результаты дает обработка цилиндрических гильз, закаленных и отпущенных на HV 248—302, из чугуна состава: $3,1 \pm 0,2\%$ C; $1,9 \pm 0,1\%$ Si; $Mn \leq 1,6\%$; $0,3-0,6\%$ Cr; $0,3-0,8\%$ Ni или $3,1 \pm 0,2\%$ C; $1,9 \pm 0,1\%$ Si; $< 1,5\%$ Mn; $0,6 \pm 0,2\%$ Cr; $0,8 \pm 0,1\%$ P. HV 217—270.

Борирование образует чрезвычайно твердый слой. Насыщение поверхности бором производится в электролите при 950° С. Для этой цели применяется расплавленная бора $Na_2B_4O_7$. Катодная плотность тока 0,4 А/см², продолжительность электролиза 4 ч, глубина слоя 0,15—0,25 мм. Увеличение температуры в процессе борирования до 1100° С позволяет за 6—7 ч получить диффузионный слой толщиной до 3 мм [6]. Борированию подвергаются СЧ и ВЧШГ.

При необходимости (для повышения окалиностойкости, коррозионной стойкости в различных средах) поверхность чугуна может насыщаться Cr, Ti, Zn и т. д. Для диффузионного насыщения применяются твердые, жидкие и газообразные среды. Силицирование СЧ в газовой среде ($H_2 + SiCl_4$) при $t = 960^\circ C$ в течение 2 ч повышает в 2,5 раза износостойкость чугуна в абразивной среде [8].

3. ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА С ШАРОВИДНЫМ ГРАФИТОМ

Сущность термомеханической обработки заключается в том, что повышенная плотность дислокаций, созданная пластической деформацией, сохраняется при последующих фазовых превращениях, вызванных ТО. Это улучшает механические свойства (σ_b и HV) ВЧШГ так же, как это имеет место в стали. При этом упрочнение сохраняется до высоких температур отпуска (500—600° С).

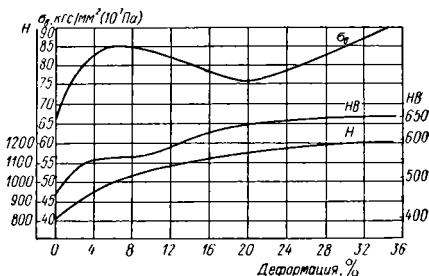


Рис. VIII.9. Влияние степени деформации на прочность σ_b , твердость HV и микротвердость H ВЧШГ при термомеханической обработке

Деформация осуществляется любым способом, в частности на пневматическом молоте, снабженном ограничителем на нижнем бойке для обеспечения требуемой

степени деформации. Нагрев перед деформацией производится до 1000°C с выдержкой в течение часа для гомогенизации А. Затем производится деформация посредством двух-трех ударов и закалка в воде с $850-880^{\circ}\text{C}$ с последующим отпуском при 300°C . Как видно из кривых рис. VIII.9, с увеличением степени деформации до 4,3% прочность увеличивается до $87,5 \text{ кгс/мм}^2$ ($87,5 \cdot 10^7 \text{ Па}$), что примерно на 30% превышает прочность закаленных, но недеформированных образцов, у которых $\sigma_{\text{н}} = 65 \text{ кгс/мм}^2$ ($65 \cdot 10^7 \text{ Па}$). Дальнейшее повышение степени деформации до 18—22% вызывает сначала понижение $\sigma_{\text{н}}$ до 76 кгс/мм^2 ($76 \cdot 10^7 \text{ Па}$), хотя она и остается все же выше эталона. Затем $\sigma_{\text{н}}$ возрастает до $91,5 \text{ кгс/мм}^2$ ($91,5 \cdot 10^7 \text{ Па}$), что превышает прочность закаленных недеформированных образцов почти на 50%, а исходного чугуна (ВЧ 45-5) на 100%. Такой характер изменения $\sigma_{\text{н}}$ вызван изменением формы графита. При небольших степенях деформации происходит упрочнение матрицы без существенного влияния на форму графита, который практически остается шаровидным; дальнейшее же повышение степени деформации до 18—22% вызывает сплющивание и вытягивание графита (рис. VIII.10), что способствует некоторому понижению свойств, несмотря на упрочнение матрицы. При большей степени деформации (до 36%) форма графита изменяется уже незначительно, но сильно повышается $\sigma_{\text{н}}$ матрицы, а значит и чугуна в целом, что подтверждается планомерным повышением HV (см. рис. VIII.9).



Рис. VIII.10. Структура высокопрочного чугуна после деформации на 20% ($\times 130$)

выделения графита в условиях сжатия, препятствующего графитизации. В зависимости от температуры отпуска (от 100 до 600°C) можно получать любую структуру матрицы от А и М до сорбита, причем при повышении температуры отпуска прочность практически не меняется, хотя HV понижается.

Таким образом, применение термомеханической обработки для ВЧШГ целесообразно, особенно после высокотемпературной выбивки, что дает возможность использовать теплоту отливки.

4. ЭМАЛИРОВАНИЕ

Эмалевое покрытие предназначается для защиты от коррозии в различных средах, а также для улучшения декоративного вида изделий. Эмалированию подвергаются аппараты, реакторы и детали к ним (вентили, мешалки), эксплуатируемые в химической, нефтеперерабатывающей и других видах промышленности; санитарно-технические изделия (ванны, мойки, раковины) и разнообразная техническая и хозяйственная посуда. Высокая химическая устойчивость силикатных эмалей и сравнительная их дешевизна делают их широко доступными. При надлежащем качестве отливок, их составе и микроструктуре, а также при правильном подборе эмали и технологии ее нанесения чугуно-эмалированные изделия не уступают стальным по своим служебным характеристикам. Способность чугуна хорошо выдерживать знакопеременные нагрузки и вибрации делает чугуно-эмалированную аппаратуру надежной в эксплуатации.

Эмаль — многокомпонентный стеклообразный сплав, содержащий множество нерастворившихся твердых частиц и газовых пузырьков. Различают два вида эмалей: грунтовые, наносимые непосредственно на металл, и покровные, наносимые на грунтовое покрытие после его обжига. В свою очередь, грунты для чугуна применяют двух типов: плавленные и фриттованные (спекаемые). Они различаются по способу приготовления и составу. Для санитарно-технических изделий в основном используются плавленные грунты, для химической аппаратуры — фриттованный грунт. Покровные эмали наносят шликерным или пудровым способом (в последнем случае применяют и плавленные грунты). В зависимости от состава температура обжига грунта колеблется от 850 до 950° С, пудровых эмалей — 850—920° С, а шликерных — 830—870° С [14].

Для чугунных изделий, особенно крупных, обычно применяют пудровый способ нанесения эмали, а для мелких — шликерный. Общая толщина эмалевого покрытия: при пудровом способе 1—2 мм; при шликерном еще меньше. Технология эмалирования предусматривает проведение следующих последовательно идущих циклов: подготовка поверхности (для санитарно-технического оборудования — механическая очистка поверхности, дробеструйная обработка, шпаклевка; для реакторов химических производств — механическая очистка, обжиг, дробеструйная обработка, механическая обработка на станке, шпаклевка); нанесение грунта и обжиг; нанесение эмалевого покрытия и обжиг (этот цикл повторяется 3—5 раз в зависимости от качества получаемого покрытия).

Сроки службы чугунной аппаратуры в среднем составляют [7]:

Среда	Соляная кислота	Серная кислота	Нейтральный раствор
Температура, °С	100—160	0—100	0—100
Срок эксплуатации (годы) . .	2	5,1	12

Причины выхода из строя в среднем составляют: механические повреждения — 58,8%; термические разрушения (растрескивание при перепадах температур) — 28,8%; химическое разрушение — 2,5%; механический износ — 1,5%; прочие повреждения — 8,4%.

К числу наиболее распространенных пороков на эмалевом покрытии по чугуну относятся: пузыри, уколы, отколы, трещины и цек. Первые два связаны с газообразованием при обжиге, последние — с напряжениями, возникающими на границе раздела чугун—эмаль вследствие различия коэффициентов расширения чугуна $\alpha_{\text{ч}}$ и эмали $\alpha_{\text{э}}$, а также и других свойств, которые связаны в виде зависимости

$$\frac{\sigma_{\text{э}} (1 - \mu_{\text{э}})}{E_{\text{э}}} + \frac{\sigma_{\text{ч}} (1 - \mu_{\text{ч}})}{E_{\text{ч}}} = \Delta \alpha \Delta t,$$

где индексы э и ч относятся соответственно к свойствам эмали и чугуна; $\Delta \alpha = \alpha_{\text{ч}} - \alpha_{\text{э}}$; $\Delta t = t_{\text{д}} - t_0$, °С, причем t_0 — комнатная температура; $t_{\text{д}}$ — температура трансформации стекла, т. е. перехода эмали в твердое состояние, контролируемая ее вязкостью, а именно $\eta = 10^{13}$ П (10^{12} Па·с) при $t = t_{\text{д}}$.

Важнейшими факторами, оказывающими влияние на эмалируемость чугуна, являются: термическая стабильность чугуна в условиях обжига; степень окисления чугуна при термических режимах эмалирования; положение $t_{\text{д}}$ относительно критической точки $A'_{\text{г}}$.

Термическая стабильность в процессе эмалирования при многократных нагревах до 880—920° С для чугуна представляет собой очень важный фактор. Это составляет главные трудности для эмалировщиков, подбирающих эмаль по величине $\alpha_{\text{э}}$, который хорошо регулируется составом и рассчитывается по правилу аддитивности. Поскольку эмаль плохо сопротивляется растягивающим напряжениям и лучше — сжимающим, то важное значение имеет соотношение между $\alpha_{\text{э}}$ и $\alpha_{\text{ч}}$. Последний находится в сложной зависимости от состава и структуры чугуна, но может быть рассчитан приближенно по формуле

$$\alpha_{\text{ч}} = [(C_{\text{Гр}} - 5C_{\text{Св}}) + 1,33 (\text{Mn} + \text{S} - \text{Si}) + 2\text{P} + 1,43\text{Fe}] 10^{-7},$$

причем Р следует принимать только до 0,3%, а при более высоком содержании Р $\alpha_{\text{ч}}$ уже не меняется, и его, следовательно, следует считать равным 0,3% [7].

Величина $\Delta\alpha = \alpha_4 - \alpha_3$, определяющая возникновение напряжений в покрытии, зависит не только от исходных значений α_4 и α_3 , но и от кривизны поверхности, технологии обжига и т. п. При отклонении от оптимального значения этой величины ($\Delta\alpha_{\text{опт}}$) в эмалевом покрытии возникают дефекты: если $\Delta\alpha > \Delta\alpha_{\text{опт}}$, появляются отколы; если $\Delta\alpha < \Delta\alpha_{\text{опт}}$ — волосные трещины и цек. В практике эмалирования принято придерживаться: для внутренних (вогнутых) поверхностей $\alpha_4 \approx (1,10 \div 1,15) \alpha_3$, для выпуклых (бортовых) поверхностей $\alpha_4 \approx 1,05 \alpha_3$. При больших α_4/α_3 получаются отколы, при меньших — волосные трещины; однако могут быть и отклонения от этих значений. Значения α_4 , используемые для санитарно-технического оборудования по типу Ворошиловградского эмализавода им. Артема, находятся в пределах: $\alpha_{200}^{500} = (123 \pm 2) 10^{-7} 1/^\circ\text{C}$; $\alpha_{200}^{920} = (180 \pm 5) 10^{-7} 1/^\circ\text{C}$ (колебания определены методом наименьших квадратов).

При эмалировании чугуна используют пудровые эмали, например № 63в и 64в с α_{200}^{500} соответственно $\sim 100 \cdot 10^{-7}$ и $112 \cdot 10^{-7} 1/^\circ\text{C}$. Эти эмали смешиваются в определенных пропорциях. Более высокое значение α_{200}^{920} по сравнению с α_{200}^{500} обусловлено графитизацией. Для практики важное значение имеет α_{200}^{500} , по которому подбирают α_3 , так как в этом интервале температур эмаль находится в твердом состоянии и напряжения возникают при $t < 500^\circ\text{C}$.

Поскольку α_4 , как правило, определяется из данных dilatометрических измерений при сравнительно медленном нагреве, а при эмалировании нагрев и охлаждение изделий проводятся при значительно больших скоростях и многократно, то часто наблюдается брак в производстве даже в случаях, когда соблюдается правильное соответствие между α_4 и α_3 . Это связано с тем, что в процессе охлаждения эмалированного изделия чугун получает необратимое увеличение размера вследствие роста, а эмаль — уменьшение размера из-за усадки. Поэтому другой важной характеристикой чугуна для эмалирования является склонность его к росту при термических режимах эмалирования.

В чугуне для эмалирования колебания в содержании Si часто превышают 1%; перепад температур при обжиге представляет 900—20° C; число повторяющихся циклов нагрева и охлаждения 4—5 и более. Зависимость роста ($\Delta l/l$) от содержания Si в условиях быстрого многократного (n) нагрева до 920° C, выдержки 10 мин и охлаждения на воздухе выражается следующим образом [7]:

$$\Delta l/l = 0,5 \sqrt{(\text{Si} - 2)} (3,2 \sqrt{n} + 10^{0,6}).$$

Отклонение экспериментальных значений величины $\Delta l/l$ от рассчитанных составляет не более 9%.

Термическая стабильность чугуна при эмалировании зависит еще от структуры графита и матрицы. ВЧШГ обладает более стабильным значением α_4 в широком интервале температур и практически не подвержен росту в условиях эмалирования, даже при колебании содержания Si. Значения α_4 составляют [7]:

Температурный интервал, °C	20—400	20—500	20—700
$\alpha \cdot 10^{-7}, 1/^\circ\text{C}$	109	112	113

В СЧ значение α_4 менее стабильно, особенно при крупном графите, и в среднем составляет в области температур до 600° C при крупном графите ($180 \div 194$) $10^{-7} 1/^\circ\text{C}$, а при мелком — ($120 \div 125$) $10^{-7} 1/^\circ\text{C}$. В процессе обжига эмали структура матрицы чугуна становится в конечном итоге почти чисто ферритной. Это влечет за собой повышение α_4 : при мелком ПГ — на 15—20%; при крупном ПГ — на 40—45%; в последнем случае наблюдается значительный брак по отколу эмали.

Степень окисления чугуна имеет большое значение для процесса сцепления грунта с металлом. В этом отношении важны состав окисной пленки на поверхности и прочность ее сцепления с чугуном. При значительной степени окисления на поверхности чугуна образуется толстый легкоотделяемый слой окалины. Сцепление грунта и эмали на таком чугуне очень слабое. Степень окисления зависит от ряда условий: температуры, продолжительности обработки, состава атмосферы, структуры и состава чугуна.

Значение критической точки A_c' заключается в том, что превращение в этой точке совершается с увеличением размеров на 0,10—0,18%, и для получения качественного эмаливого покрытия она должна быть выше t_d , чтобы в эмали возникли только сжимающие напряжения, так как растягивающие (часто более 10 кгс/мм² или 10⁸ Па) превышают σ_n эмали [4—8 кгс/мм² или (4÷8) 10⁷ Па], и на покрытии появляются трещины. Этому еще способствует расширение чугуна вследствие роста. Зависимость критической точки от содержания Si в чугуне для эмалирования иллюстрируется данными [7]:

Si, %	2,08	2,14	2,42	2,55	2,89
A_c' , °C	540	570	592	609	680

Однако если при многократном нагреве при эмалировании чугуна полностью графитизируется, этот фактор теряет свое значение, так как исчезает точка A_c' (отсутствует перлитное превращение). Опыты показывают, что превращение в этой точке во многих случаях сохраняется в течение 4-кратного нагрева.

Поверхность, подвергаяемая эмалированию, должна быть очищена, не иметь ужимки, заливов и других литейных пороков, в том числе и подкорковой ситовидной пористости. Шероховатость поверхности должна соответствовать 1—2-му классам по ГОСТ 2789—73. Разнотолщинность можно допускать не более ±0,5 мм. Особо высококачественным является покрытие на отливках с обезуглероженной поверхностью.

По назначению и толщине стенки эмалируемое чугунное литье можно разбить на три группы: тонкостенное литье для хозяйственно-бытовой посуды с толщиной стенок 2—4 мм; литье для предметов санитарно-технического оборудования со средней толщиной 5—7 мм; толстостенное литье для реакторов, мерников, различных аппаратов и деталей к ним, применяемых в химической, фармацевтической и других отраслях промышленности, с толщиной стенки более 10 мм.

Требования к составу этих чугунов пока еще не регламентированы; однако согласно практике наших заводов можно рекомендовать два варианта чугуна для разных типовых отливок (табл. VIII.26).

Таблица VIII.26

Составы чугуна для эмалируемого литья

Назначение	Толщина стенок изделия, мм	Массовая доля элементов, %				
		C	Si	Mn	P	S, не более
Химическая аппаратура	>10	3,3—3,5	2,2—2,4	0,5—0,6	0,15—0,25	0,10
		3,3—3,7	1,9—2,3	0,5—0,7	0,3—0,6	0,12
Санитарно-техническое оборудование	5—7	3,4—3,6	2,2—2,6	0,5—0,7	0,3—0,6	0,16
		3,3—3,6	2,3—2,5	0,5—0,8	0,3—0,5	0,10
Хозяйственная посуда	2—4	3,5—3,7	2,4—2,8	0,5—0,6	0,4—0,5	0,15
		3,2—3,5	2,3—2,7	0,4—0,6	0,5—1,0	0,12

На практике вариантов значительно больше [7]. Для тонкостенного литья часто используется чугун с повышенным содержанием P для повышения $\lambda_{ж}$, что вполне допустимо, так как P не оказывает существенного влияния на сцепление чугуна, а его влияние на α_c , как указывалось, проявляется лишь до 0,3%.

Следует подчеркнуть, что для процесса эмалирования структура графита оказывает более значительное влияние, чем матрица. Лучшей формой графита для этого чугуна следует считать шаровидную. Хорошо эмалируется также СЧ с графитом, форма которого оценивается баллом Гф3—Гф5.

ДЕФЕКТЫ В ЧУГУННЫХ ОТЛИВКАХ И СПОСОБЫ ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ И ИСПРАВЛЕНИЯ

1. КЛАССИФИКАЦИЯ ДЕФЕКТОВ И ПРИЧИНЫ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ

Общая классификация дефектов и причины их образования приведены в табл. IX.1 [5, 9, 10]. Схемы некоторых дефектов в отливках даны на рис. IX.1. Способы предотвращения дефектов в общем ясно вытекают из указанных причин их образования. Более детально основные и более сложные дефекты рассматриваются ниже.

2. УСАДОЧНЫЕ ДЕФЕКТЫ

Усадочные дефекты — концентрированные раковины, макро- и микропористость, утяжины — являются следствием изменения размеров, а значит, и объема, т. е. так называемой усадки ϵ металла в процессе затвердевания отливки, значение которой в разные этапы характеризуется данными табл. IX.2 [8, 9, 15].

Характер кривых охлаждения и усадки разных чугунов представлен на рис. IX.2 *. Большие значения $\epsilon_{рас}$ и W_p в ВЧШГ и ЧВГ и соответственно малые значения $\epsilon_{лит}$ являются следствием ряда факторов и особенно того, что графит при затвердевании этих чугунов в значительной мере выделяется не в жидком металле, а в уже затвердевшей части отливки, вследствие чего увеличивается W_p , значение которого может быть рассчитано по уравнению [1]

$$W_p = [1/2 a_{ж} (\Delta t_{ж} + \Delta t_{лит})] + [\epsilon_{wз} - 2,2\beta (C - C_{E'S'})] + 3/2 \epsilon_{рас}, \quad (IX.1)$$

где $a_{ж}$ — коэффициент объемной усадки жидкого металла, равный $(100 + 200) \times 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C}$, может быть определен по формуле

$$a_{ж} = (90 + 30C) 10^{-6}; \quad (IX.2)$$

$\Delta t_{ж}$ и $\Delta t_{лит}$ — перепад температур в жидком металле в начале затвердевания при образовании начальной корки и в интервале кристаллизации; $\epsilon_{wз}$ — изменение объема металла при переходе в твердое состояние; 2,2 — увеличение объема (%) при выделении 1% графита; β — доля графита, выделяющегося в жидком металле; $C - C_{E'S'}$ — все количество графита, которое может выделиться в чугуне от начала до конца затвердевания.

Общий объем усадочных дефектов W_p , таким образом, определяется тремя величинами: термической усадкой жидкого металла, начиная с момента образования наружной корки; фазовыми изменениями при затвердевании и местом выделения графита (в жидком металле или затвердевшей части); изменением наружных размеров отливки в процессе кристаллизации, которое зависит от $\epsilon_{рас}$ и жесткости формы. Первое слагаемое всегда положительное и увеличивает W_p , а второе и третье могут иметь разные знаки и, значит, резко влиять на W_p (в частности, $\epsilon_{рас}$ может быть и отрицательным, т. е. в процессе затвердевания произойдет усадка отливки, уменьшение ее внешних размеров, и тогда W_p уменьшится).

* Из исследований на кафедре «Теория и технология литейных сплавов» ЛПИ им. М. И. Калинина.

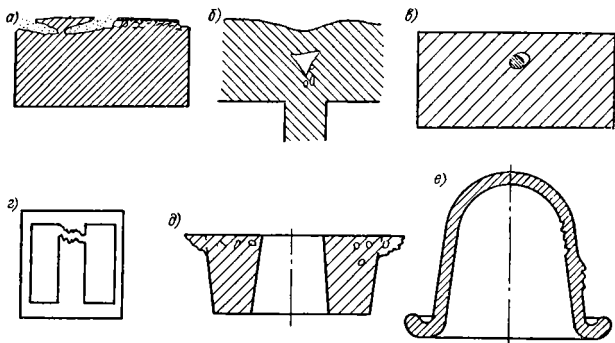


Рис. IX.1. Схема некоторых дефектов в отливках: а — ужимина; б — утяжина; в — королеск; г — термическая трещина; д — обжим; е — задир

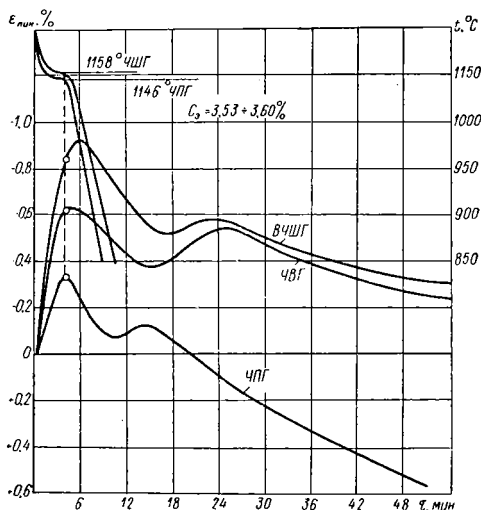


Рис. IX.2. Предусадочное расширение и усадка в чугунах с различной формой графита

Дефект и его характеристика	Основные причины образования дефекта
Дефекты поверхности Пригар — поверхность отливки полностью или частично покрыта слоем формовочного материала, пропитанного металлом и его окислами Ужимина (см. рис. IX.1, а) — небольшое утолщение на поверхности отливки, содержащее обычно промежуточный слой формовочного материала. После обрубки вскрываются углубления, заполненные формовочным материалом, легко удаляющимся при очистке. В зависимости от условий образования может иметь вид неглубокой вытянутой канавки или впадины, тонкого плоского выступа, плоского неправильной формы нароста, сопровождающихся песочными включениями (о механизме образования см. п. 3 гл. IX) Складчатость. Поверхность отливки негладкая, со складками на отдельных ее частях Усадочная раковина — открытая или закрытая полость в теле отливки с шероховатой поверхностью и следами дендритов	
1. Слишком высокая $t_{\text{зал.}}$ 2. Излишне большая продолжительность заливки. 3. Большой металло-статический напор металла в форме. 4. Недостаточная раскисленность металла. 5. Слабое или излишне высокое уплотнение формовочной смеси, малая ее газопроницаемость, низкая теплопроводность, недостаточное содержание в ней противопригарных добавок (угля, мазута и др.). 6. Некачественная окраска формы и стержней. 7. Неудовлетворительное качество очистки отливок 1. Слишком медленная заливка формы. 2. Неудовлетворительные физико-механические свойства формовочной смеси (большое значение α), низкая прочность зоны конденсации влаги и высокие термические напряжения. 3. Наличие в отливках больших плоских поверхностей. 4. Неравномерная и медленная заливка металла, перерывы струи металла при заливке, неправильная конструкция литниковой системы. 5. Переуплотнение или неравномерное уплотнение формы. 6. Повышенная газотворность смеси. 7. Длительное выстаивание подсушенных или сухих форм перед заливкой; применение низкокачественной глины для сухих форм. 8. Отслоение слоя формовочной краски при заливке или сушке. 9. Большое давление газов в толще формы 1. Наличие в формовочной или стержневой смеси избыточного количества органических материалов, в частности углеродистых. 2. Слишком низкая $t_{\text{зал.}}$ 3. Низкая газопроницаемость формовочной смеси. 4. Повышенное содержание в формовочной смеси мелочи, неактивных компонентов, переуплотнение формовочной смеси. 5. Неудовлетворительная вентиляция формы и стержней Раковины* 1. Нетехнологичная конструкция отливки. 2. Неадекватная конструкция литниковой системы и недостаточное питание отливки в процессе кристаллизации. 3. Недостаточная эффективность холодильников. 4. Несоответствие химического состава чугуна	

Дефект и его характеристика	Основные причины образования дефекта
Рыхлота — местное скопление мелких раковин с шероховатыми стенками, часто со следами дендритов Утяжина (см. рис. IX.1, б) — пологое поверхностное углубление с гладкими стенками, обнаруживаемое чаще всего в местах, примыкающих к тепловым узлам отливки	1. Наличие в отливке участков, не обеспеченных питанием в процессе затвердевания чугуна. 2. Повышенный интервал затвердевания. 3. Неблагоприятная геометрия отливки 1. Наличие в отливке мест соединения нескольких стенок, не обеспеченных питанием жидким чугуном при затвердевании. 2. Недостаточная эффективность прибыли в толстостенной отливке. 3. Те же причины, что и в пп. 2, 3, 4 дефекта «усадочная раковина»
Газовая раковина — внутренняя или выходящая на поверхность округлая полость в теле отливки размером более 2—3 мм с гладкими стенками; располагается отдельно или группами	1. Повышенная газотворность и пониженная газопроницаемость формы или стержней. 2. Неудовлетворительная система вентиляции газов из полости формы и из стержней. 3. Механический захват газов в элементах литниковой системы при заливке формы. 4. Пониженная $t_{зал}$ чугуна, чрезмерно высокая скорость заливки. 5. Повышенная газонасыщенность чугуна, попадание в форму посторонних влажных или окисленных металлических предметов. 6. Повышенное окисление чугуна в вагранке вследствие слишком малой рабочей колоши кокса, повышенного давления дутья, неправильного расположения фурм или прохождения кусков скрапа вблизи них, зависания шихты
Ситовидная пористость — вытянутые, иногда округленные раковины с гладкими стенками, расположенные непосредственно под литейной коркой всей отливки или отдельной ее части перпендикулярно к поверхности. Могут выходить на поверхность. Диаметр менее 2—3 мм	1. Наличие в чугуне примесей 0,01—0,1% Al, 0,01—0,05% Ti, повышенного количества Mn (> 2,0%). 2. Пониженная (менее 1375—1350 °C) $t_{зал}$ тонкостенных отливок. 3. Повышенное содержание N и H в составе связующего; повышенная влажность формовочной смеси
Газоусадочная раковина — открытая или закрытая полость в теле отливки размером более 2—3 мм, в основном с гладкой поверхностью. На поверхности раковины и главным образом в ее устье обнаруживаются следы дендритов. Располагается в затвердевающей поздней части отливки вблизи внутреннего угла или углубления	1. Наличие в отливке поднутрений и острых внутренних углов. 2. Повышенная газотворность формовочной или стержневой смеси в начальный период затвердевания отливки. 3. Подвод питателей, установка прибылей, питающих бобышек под острым углом к отливке. 4. Недостаточный металлостатический напор

Дефект и его характеристика	Основные причины образования дефекта
Вскип — сравнительно большая округленная внутренняя или открытая полость с гладкими стенками. Поверхность стенок в большинстве случаев неокисленная, блестящая. Часто выходит на верхнюю при заливке поверхность отливки	1. Повышенная влажность формы или стержня и недостаточная их просушенность; излишне большой слой краски и недостаточное его просушивание; слишком обильная смазка моделей разделительным составом. 2. Повышенная газотворность формы или стержней; повышенная гигроскопичность связующего и слишком большая выдержка форм перед заливкой. 3. Недостаточно эффективная вентиляция формы и стержней; заливка знака или вентиляционного канала в форме. 4. Применение влажных и окисленных жеребеек. 5. Небрежная установка прокладочных глиняных жгутов. 6. Недостаточная просушка и неправильная приклейка отломившейся части формы или стержня при ремонте
В к л ю ч е н и я **	
Шлаковая раковина — неметаллическое включение, имеющее вид и состав шлака. Встречается поодиночке или гнездами Песочная раковина — включение того же вида и состава, что и формовочные материалы	1. Недостаточный перегрев чугуна; пониженная вязкость шлака; повышенное количество шлака. 2. Неправильная и небрежная заливка. 3. Недостаточно эффективное удержание шлака в литниковой системе 1. Разрушение или размыв элементов литниковой системы. 2. Попадание формовочной смеси в полость формы при ее сборке, спаривании и в период до заливки; небрежный обдув или отсос посторонних частиц из формы. 3. Дефекты, главным образом ужимы, возникающие в элементах литниковых систем и прибылях
Металлическое включение — наличие в отливке частиц чугуна, отличающихся от основного металла, большей частью полностью не расплавленные легирующие добавки, например ФС, ФМи и др.	1. Попадание в полость формы посторонних металлических предметов. 2. Неполное расплавление ферросплавов и других легирующих материалов. 3. Неполное расплавление внутреннего холодильника
Королек (см. рис. IX.1, в) — металлическое включение того же состава, что и отливка. В большинстве случаев включение полностью окружено металлом	1. Неправильный режим заливки отливок (перерыв струи, выбросы и разбрызгивание металла и т. д.). 2. Неудачная конструкция литниковой системы, обуславливающая раздробление струи расплава

Дефект и его характеристика	Основные причины образования дефекта
Черные пятна — неметаллические включения, преимущественно на горизонтальных плоскостях и в верхней части отливок из ВЧШГ или под стержнями, что объясняется их малой плотностью. По составу это сульфиды, нитриды, силициды и окись Mg	1. Высокое содержание S и одновременно Mg. 2. Низкая температура чугуна. 3. Недостаточная очистка от шлака, в том числе недостаточная выдержка чугуна в ковше до заливки. 4. Не использована обработка чугуна криолитом

Разрывы сплошности металла***

Горячая трещина — хорошо заметный разрыв стенок отливки, проходящий по границам зерен металла. Поверхность излома неровная, черная (с окисленными стенками) и со следами дендритов

Холодная трещина — слабо заметный разрыв стенок отливки, со светлой зернистой поверхностью излома или цвета побежалости. Трещины образуются в области преобладания упругих деформаций (ниже 700° С)

Термическая трещина (см. рис. IX.1, з) — нарушение целостности отливки в виде довольно равномерного разрыва с острыми кромками. Поверхность излома цвета побежалости. Дефект обнаруживается после ТО

1. Наличие значительных перепадов температур в стенках и отдельных частях отливки в период затвердевания и дальнейшего охлаждения; наличие термических «узлов». 2. Недостаточная податливость формы и стержней. 3. Механическое торможение усадки отливки элементами литниковой системы, выпорами, прибылями, стержнями, крестовинными опок и т. п. 4. Термическое торможение усадки вследствие неблагоприятной конструкции отливки. 5. Повышенная $t_{\text{зал}}$; неравномерный подвод металла к отливке; недостаточное питание массивных узлов отливки. 6. Повышенное содержание S; наличие примесей, способствующих появлению легкоплавких соединений

1. Значительная разница в температурах различных частей отливки в момент, когда в более массивных из них начинают преобладать упругие свойства; наличие «термических» узлов. 2. Слишком жесткая конструкция отливки; значительная концентрация напряжений в отдельных участках отливки. 3. Возникновение временных напряжений при ускорении охлаждения отливки после выливки или из-за торможения усадки элементами формы или стержней. 4. Неверный режим ТО. 5. Недостаточная прочность или пластичность чугуна в интервале температур образования трещин

То же, что и при холодной трещине

Дефект и его характеристика	Основные причины образования дефекта
Спай — сквозная либо поверхностная с закругленными краями щель или углубление в теле отливки, образованные несслившимися потоками преждевременно застывшего металла	1. Пониженная $\lambda_{ж}$. 2. Недостаточная скорость заливки формы. 3. Прерывистая заливка и неравномерное поступление металла в форму. 4. Повышенное содержание в чугуне тугоплавких окислов, например Cr, Al, Ti. 5. Недостаточно эффективная вентиляция формы. 6. Неправильное использование жеребеков. 7. Нетехнологичная конструкция отливки
П р и л и в ы	
Залив — неопределенной формы ребро, выступ или прилив на теле отливки, непредусмотренные чертежом и расположенные в месте разъема формы или в зазорах между отдельными ее частями	1. Завышенные зазоры между знаковыми частями формы и стержней; грубая ручная подгонка по размерам знаковых частей крупных стержней; слишком жесткие или излишне большие прокладочные жгуты по линии разъема форм. 2. Деформация стержней при транспортировке и сушке; чрезмерное расталкивание моделей перед их выемом. 3. Высокая упругая деформация формовочных смесей при их прессовании; коробление модельных плит, опок; загряжение втулок, штырей и лада опок. 4. Недостаточное нагружение формы перед заливкой или неправильное скрепление полуформ
Подутость — местные утолщения отливки, образовавшиеся в нижних по заливке или слабо уплотненных частях формы	1. Чрезмерно высокий металлостатический напор; неправильная конструкция литниковой системы; повышенная $t_{\text{зал}}$. 2. Недостаточная прочность и повышенная влажность формовочной смеси. 3. Недостаточное или неравномерное уплотнение литейной формы
Нарост — неравномерное утолщение отливки с включениями формовочного материала. Утолщение расположено в направлении потока жидкого металла	1. Недостаточная прочность и термостойкость формовочной смеси. 2. Слишком высокая скорость движения струи жидкого металла и $t_{\text{зал}}$. 3. Слабое уплотнение формовочной смеси
Обвал — неровный выступ на отливке, имеющей вид обвалившейся части формы или стержня. В верхней части отливки при этом обнаруживаются включения песка	1. Недостаточная прочность формовочной смеси на разрыв в зоне конденсации. 2. Слишком большое расстояние между крестовинами опок и их коробление. 3. Неправильная установка грузов на собранную форму; недостаточное количество крючков, солдатиков и шпилек. 4. Неисправная работа подъемных и вытяжных механизмов формовочных машин; неисправная работа и вибрация подъемно-транспортных механизмов; применение неисправных крепежных приспособлений
Подрыв — неравномерный местный прилив, воспроизводящий по геометрии часть формы, удаленную вместе с моделью	1. Повышенная прилипаемость формовочной смеси к модели. 2. Недостаточные прочность на срез и пластичность формовочной смеси. 3. Неправильно выполненные формовочные уклоны; дефекты окраски модельного комплекта. 4. Недостаточная жесткость механизмов вытяжки модели; износ и коробление модельной оснастки

Дефект и его характеристика	Основные причины образования дефекта
Обжим (см. рис. IX.1, д) — неравномерный прилив, образующийся обычно у плоскости разъема формы или стержня; обвалившиеся части формы обнаруживаются в отливке в виде песочных включений Задир (см. рис. IX.1, е) — утолщение в виде неравномерной полосы, расположенной в направлении установки стержней или сборки формы	1. Несоответствие знаковых частей формы и стержня; использование слишком высоких жеребеков. 2. Коробление и износ знаковых частей модельной оснастки; неудовлетворительное состояние и недостаточная жесткость опок и подмодельных плит; неточности при сборке и нагрузке форм. 3. Недостаточная прочность и пластичность формовочной смеси 1. Повышенные зазоры между штырями и втулками опок или кондукторов для простановки стержней. 2. Недопустимые перемещения полуформ с выступающими болванами или стержнями в горизонтальной плоскости. 3. Неполадки в работе сборочных приспособлений и спаривателей
Искажение формы и размеров	
Недолив — отсутствуют в отливке части, расположенные обычно в верхней по заливке зоне или внутри нее. Торцы стенок отливки могут быть скруглены, тонкие стенки плохо заполнены Коробление — искажение очертаний отливки, не нарушающее ее целостности. Может иметь самые разнообразные размеры и форму в зависимости от конструкции отливки **** Разностенность — несоответствие чертежу отливки, выражающееся в разной толщине стенок Перекося — сдвиг одной части отливки относительно другой	1. Недостаточная $\lambda_{ж}$ расплава. 2. Пониженная $t_{зал}$. 3. Неправильная конструкция литниковой системы. 4. Недостаточное для заполнения формы количество чугуна. 5. Утечка (уход) чугуна в разъем формы, внутреннюю полость стержня или через разрушенный участок формы 1. Возникновение в отливке значительных напряжений при охлаждении. 2. Неправильно рассчитанный обратный прогиб модели. 3. Деформации отливок после охлаждения под действием $\sigma_{ост}$. 4. Перераспределение напряжений в процессе механической обработки отливки. 5. Неправильная установка отливок из БЧ при отжиге на КЧ и слишком высокая температура в печи 1. Использование неправильно изготовленной или поврежденной модели. 2. Деформация стержня в процессе изготовления или транспортировки. 3. Биеение формовочной машины; деформация формы при выеме модели; чрезмерное расколачивание модели. 4. Всплывание или деформация стержней при заливке 1. Неточная сборка комплекта стержней или формы. 2. Неправильный монтаж моделей на плите. 3. Неправильное центрирование половинок стержневого ящика. 4. Повышенный износ центрирующих втулок и штырей. 5. Неудовлетворительное состояние формовочных машин (биеение). 6. Случайный сдвиг полуформ, вызванный внешним воздействием

Дефект и его характеристика	Основные причины образования дефекта
Вылом — нарушение целостности отливки, выражающееся в откалывании от нее отдельных частей или в образовании трещин, не связанных непосредственно с процессом получения отливок	1. Преждевременная выбивка отливок из форм. 2. Затрудненная отбивка литников. 3. Большая высота падения отливок на выбивную решетку или транспортные приспособления. 4. Неправильные обрубка и правка деталей. 5. Неправильная или небрежная загрузка отливок в очистные барабаны

Несоответствие состава, структуры и свойств

Отбел — образование структуры БЧ в тонких сечениях отливки из СЧ

Отсер — участки серого излома в отливках из КЧ

Отклонение химического состава — несоответствие химического состава материала отливки требованиям стандарта

Несоответствие микроструктуры — отклонение по виду, количеству или величине структурных составляющих от требований стандарта

Отклонение физико-механических свойств — несоответствие свойств материала отливки требованиям стандарта

1. Пониженное содержание С и Si и повышенное — карбидообразующих элементов. 2. Неэффективное модифицирование. 3. Пониженная $t_{\text{зал}}$. 4. Неравномерный ход плавки в вагранке, недостаточная раскисленность чугуна, повышенная влажность дутья. 5. Повышенная влажность смеси; наличие заливов, неправильные выбор и установка холодильников. 6. Неправильный подвод металла (в толстую часть отливки)

1. Повышенное содержание С и Si. 2. Замедление скорости охлаждения отдельных участков отливки в форме

1. Неправильное ведение плавки чугуна (не соответствующее шихтовке материала) или неправильное составление шихты, например неверный учет угара элементов и т. п. 2. Слишком длительная выдержка чугуна перед заливкой

1. Неправильные состав чугуна, $t_{\text{зал}}$, режим модифицирования. 2. Отклонения в режиме затвердевания и охлаждения отливки в форме. 3. Нарушение режима ТО

1. Неправильные химический состав и структура чугуна. 2. Неправильное ведение плавки или процесса модифицирования. 3. Наличие в образцах литейных дефектов

* О механизме образования раковин (усадочных и газовых) и пористости см. в п. 2 данной главы.

** Эффективным методом борьбы с включениями является фильтрация жидкого чугуна через стекловолоконную сетку.

*** Подробно о трещинах в результате напряжений см. в пп. 4 и 5 настоящей главы.

**** Подробно о короблении отливок и мерах борьбы с ним см. п. 5 гл. IX.

Этапы усадки и объем усадочных раковин

Чугун	Этапы линейной усадки, %					Объем усадочных раковин (пустот) W_p , %
	$\epsilon_{рас}$	$\epsilon_{д. п}$	$\epsilon_{\gamma \rightarrow \alpha}$	$\epsilon_{п. п}$	$\epsilon_{лит}$	
БЧ, КЧ	$<0,1$	$1,2-1,4$	$0,02-0,4$	~ 1	$1,8-2,2$	5-6
СЧ	$0,1-0,25$	$0,1-0,5$	$0,04-0,2$	~ 1	$0,9-1,3$	0,0-4,0
ВЧШГ	$0,3-1,0$	$(-0,4)-(+0,4)$	$0,04-0,2$	~ 1	$(-0,3)-(+0,6)$	2,5-12
ЧВГ	$0,2-0,6$	$(-0,2)-(+0,5)$	$0,04-0,2$	~ 1	$0,6-0,9$	2-7

В итоге влияния всех этих факторов формируется обычно усадочная раковина в том или ином объеме; но при сильном торможении $\epsilon_{рас}$ формой значение W_p может свестись к нулю или даже стать отрицательным. Последнее возможно, например, при заливке ВЧШГ, ЧВГ или даже СЧ в металлические формы, когда вследствие полного торможения $\epsilon_{рас}$ жидкий металл вытесняется в выпор или в прибыль. При этом нужна в прибылях даже на отливках из ВЧШГ, конечно, отпадает. Так же, но, конечно, в меньшей степени, влияет жидкостекольная форма (рис. IX.3) [8], причем эффективность жесткости формы тем больше, чем меньше β и больше свободное $\epsilon_{рас}$.

Что касается состава металла, то, как видно из рис. IX.3, W_p уменьшается по мере увеличения C_3 до эвтектического состава, а потом имеет тенденцию увеличиваться. Однако литературные данные в этом отношении очень противоречивы, в особенности по ВЧШГ. В большинстве случаев авторы утверждают, что W_p с увеличением C_3 сначала растет, а потом снижается и после этого вновь растет, причем положение максимума в ВЧШГ соответствует $C_3 \approx 4\%$, а у СЧ 3,6-3,8%, т. е. значительно левее, причем в некоторых случаях максимум совсем отсутствует. Эти противоречия, вероятно, объясняются тем, что с увеличением C_3 увеличивается количество графита, но, в зависимости от места его выделения, $\epsilon_{рас}$ и W_p могут увеличиваться или уменьшаться*.

Таким образом, $\epsilon_{рас}$ является одним из важнейших факторов, определяющих W_p , причем они оба зависят от многих факторов: фазовых превращений при кристаллизации, механизма, характера и количества выделяющегося графита, выделения газов, $t_{зал}$, металлостатического давления в форме, жесткости формы и др. [10]. Так, влияние дисперсности эвтектического зерна, а следовательно,

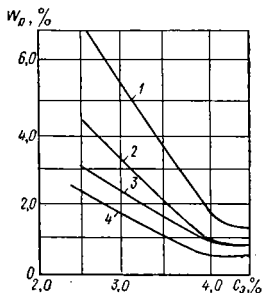


Рис. IX.3. Влияние C_3 на объем усадочных пустот в СЧ при заливке в цилиндрические пробы диаметром 100 мм:

1, 3 — суммарный объем усадочных пустот; 2, 4 — концентрированные раковины; 1, 2 — песчаноглиняные формы; 3, 4 — жидкостекольные формы

* Из остальных элементов можно указать на Mn и S, которые увеличивают W_p , причем Mn обычно в пределах только до 1,2%. Совместное наличие Mn и S является также отрицательным фактором вследствие образования MnS и понижения $\lambda_{ж}$. Фосфор, повышая $\lambda_{ж}$, уменьшает объем концентрированных раковин, но, как указано ниже, способствует образованию пористости.

характера кристаллизации и модифицирования иллюстрируется рис. IX.4, а содержания Н в чугуне — следующими данными [29]:

$H, \text{ см}^3/100 \text{ г}$	0,7	2,7—2,9	3,3—3,8
$W_p, \%$	6,0	7,0—8,8	9,5—11,0

Так же отрицательно влияет увеличение толщины отливки, металлостатического напора, $t_{\text{зал}}$ [8,9], хотя последний фактор иногда оказывает и положительное влияние вследствие улучшения питания.

Из приведенного следуют основные пути уменьшения W_p : правильный выбор химического состава и $t_{\text{зал}}$ металла; уменьшение влажности и повышение жесткости форм, а в наиболее неблагоприятных условиях — создание направленного затвердевания отливки и применение прибылей (см. гл. IV), что часто требует даже изменения конструкции отливки. При этом следует иметь в виду, что во многих случаях особо большое значение, например при требованиях высокой герметичности, приобретает пористость (усадочная и графитная) для уменьшения которой необходимо измельчение графита, уменьшение интервала кристаллизации и создание направленного затвердевания. В этом случае измельчение эвтектического зерна и применение модифицирования могут оказаться уже вредными, поскольку кри-

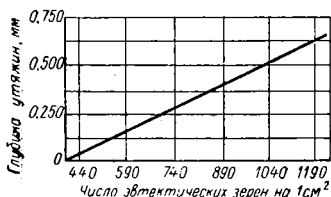


Рис. IX.4. Влияние дисперсности эвтектического зерна в СЧ на глубину утяжин на отливке плиты

сталлизация сплава имеет при этом более объемный характер, а сопротивление движению расплава между срастающимися ветвями дендритов возрастает, так что в отдельных точках происходит затвердевание жидкого ме-

Таблица IX.3

Влияние элементов на усадочные дефекты в чугунах

Массовая доля элементов, %				Характеристика дефектов
P	Ni	Mo	Cr	
0,10	—	—	—	Пористость отсутствует
0,245	—	—	—	Концентрированная усадочная пористость
0,13	2,15	—	—	Пористость отсутствует
0,13	—	0,54	—	Концентрированная усадочная пористость
0,13	—	1	—	Резко выраженная концентрированная усадочная пористость
0,13	—	—	1	Рассеянная усадочная пористость
0,06	0,66	0,83	0,84	Концентрированная усадочная пористость
0,04	0,66	0,83	0,84	Пористость отсутствует

талла в условиях затрудненного или даже полностью отсутствующего питания и, значит, образуются мелкие усадочные раковины, часто взаимосвязанные и создающие таким образом возможность проникновения газов или жидкости. Особенно вредно в этом отношении высокое содержание Р в металле, так как объем фосфидной эвтектики (ФЭ) при ее затвердевании уменьшается, и в результате образуются поры. С другой стороны, при литье в податливые формы (литье по-сырому) при повышении содержания Р увеличивается $\epsilon_{рас}$, что связано, по-видимому, с малой прочностью затвердевающей корки, которая при наличии Р длительное время находится в твердо-жидком состоянии.

Отрицательное влияние Р в нелегированном СЧ становится заметным уже начиная с 0,15—0,2%. Как установлено в работе [30], Мо и Сг ликвидируют в ФЭ (% Мо в ФЭ доходит до 8,3, а Сг — до 2,4%). При этом резко возрастает объем ФЭ, а затвердевание ее происходит уже не по стабильной, а по метастабильной системе ($Fe-Fe_3P-Fe_3C$) и соответственно с более резким сокращением объема. Оба указанных обстоятельства определяют повышенную склонность Сг—Мо-чугунов к образованию усадочной пористости и необходимость снижения критического содержания Р в этих чугунах (табл. IX.3) *.

Приведенные данные подтверждаются практикой. Так, при литье цилиндрических крышек в сухих формах (масса отливки 300 кг, масса двух прибылей 300 кг; отливка разностенная, с большим количеством тепловых узлов) из Сг—Ni—Мо-чугуна состава: 3,1—3,2% С; 1,6—1,8% Si; 0,6—0,8% Mn; 0,3—0,4% Ni; 0,4—0,5% Мо; 0,2—0,3% Сг; до 0,2% Р в тепловых узлах при гидротестировании обнаруживалась течь, связанная с усадочной пористостью. Установлена прямая связь количества брака с содержанием Р:

Р, %	0,08	0,1	0,12	0,14	0,17
Брак, %	3,1	5,1	17,9	36,5	75

Значительные затруднения возникают при необходимости обеспечить получение плотных отливок из ВЧШГ, что связано с большой величиной $\epsilon_{рас}$ и с более объемным характером затвердевания этого чугуна, затрудняющим питание **. В этих случаях требуется, как показано в работах ЛПИ, создавать в отливке значительные температурные (или, что более верно, временные) градиенты (рис. IX.5), а также, конечно, добиваться максимальной жесткости форм.

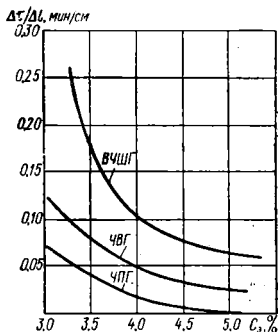


Рис. IX.5. Временные градиенты, обеспечивающие питание отливок из СЧ, ЧВГ и ВЧШГ

3. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕТАЛЛА С ФОРМОЙ И ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ ЭТОМ ДЕФЕКТЫ

Основными дефектами, образующимися при взаимодействии металла с формой, являются газовые раковины, ужимины и пригар.

* Как видно из таблицы, сам по себе Ni не оказывает большого влияния на пористость, но в сочетании с Мо и Сг он, видимо, усиливает их влияние, так что пористость образуется даже при 0,06% Р; но малое снижение содержания Р уже устраняет вредное влияние легирующих элементов. Наличие пористости проверялось на темплетях, вырезанных по центру проб в форме куба со стороной 100 мм, заливаемых в стержневую форму.

** В литературе рассматриваются три типа (этапа) питания отливок: жидкое питание, которое в условиях свободного движения чугуна при образовании концентрированных усадочных раковин имеет место под влиянием внешнего давления или вследствие выделения графита в жидком металле; полужидкое или суспензионное (по А. А. Рыжикову), когда металл движется только немного затрудненно между твердыми включениями металла; междендритное фильтрационное, когда жидкий металл движется в узких промежутках между образовавшимися дендритами.

Газовые раковины представляют собой округлые полости. Источниками газов в форме являются: воздух, механически замешанный потоком металла при заливке; воздух, заполняющий полость и поры формы, нагревающийся и расширяющийся при заливке; пары воды, выделяющиеся при заливке сырых форм; продукты сгорания или разложения органических добавок; продукты химических реакций между расплавленным металлом и материалом формы *. Механическое внедрение газа из формы в металл происходит, когда

$$p_r > p_m + p_k + p_z, \quad (IX.3)$$

где p_r — давление газа в рассматриваемой точке поверхности контакта металл — форма; $p_m = \gamma h$ — гидростатическое давление расплава в той же точке;

$$p_k = \frac{2\sigma}{r} \sin \theta$$

— капиллярное давление или давление газа, необходимое для преодоления поверхностного натяжения металла (σ — сила поверхностного натяжения; θ — краевой угол смачивания; r — радиус капилляра); p_z — давление газа над зеркалом металла.

Как следует из формулы (IX.3), борьба с газовыми раковинами должна вестись в направлении уменьшения p_r на поверхности контакта металл—форма, т. е. нужно уменьшать газотворность смеси или увеличивать газопроницаемость формы. Этого можно достичь, например, применением синтетических смесей с содержанием влаги 2,7—3,2%, предельным содержанием «мелочи» — отлучиваемых фракций до 12—15% (из них 8% активного бентонита, остальное — балласт) и использованием гранулированного угля вместо угольной пыли, а также применением сухих форм с тщательной вентиляцией и устройством постели для крупных форм.

Для обеспечения низкой газотворности стержневой смеси следует применять связующие с малой газотворностью и высокой «удельной прочностью», т. е. обеспечивающие высокую прочность при минимальном количестве связующего. С этой же целью в случае применения масел и смол количество глины в кварцевом песке должно быть не более 0,2%.

Необходимо иметь в виду, что давление газов в стержне, в особенности не имеющем верхних знаков, резко возрастает после того, как он покрывается металлом (до этого момента газы удаляются из стержня через непокрытые металлом поверхности). Чтобы к опасному моменту уменьшить давление газов, требуется не только предусмотреть их удаление через вентиляционные каналы, но и облегчить их выход из стержня в полость формы в процессе ее заполнения. Для выполнения последнего требования желательно верхнюю поверхность стержня не окрашивать, иногда ее приходится зачищать шкуркой; если же окрашенная поверхность необходима, на ней в сухом стержне пропиливают риски на глубину, несколько превышающую толщину краски.

Газопроницаемость стержня обеспечивается также соответствующей зернистостью песка и известными приемами вентиляции; в частности, вентиляционные каналы нужно выводить через менее нагретые — «холодные» — места стержней. Поэтому не следует располагать вентиляционные каналы в зоне подвода металла и выводить каналы через знаки тех частей стержня, которые окружены большой массой металла.

Для облегчения условий удаления газов и уменьшения p_r необходимо стремиться выводить вентиляционные каналы через верхние знаки, даже если это усложняет сборку формы (например, когда количество нижних знаков недостаточно). Формы и стержни можно подвергать вакуумированию, которое, однако, применяется главным образом лишь в экспериментальных работах.

Другим путем борьбы с газовыми раковинами является увеличение гидростатического давления металла p_m , что достигается увеличением высоты стояка или прибыли; но их положительное влияние проявляется только после заполнения формы.

* О газах, растворенных в металле и выделяющихся при охлаждении отливки, см. гл. I.

Увеличение капиллярного давления p_k достигается покрытием поверхности стержня краской или пастой, содержащими пылевидные фракции (маршалит, тальк и др.), которые уменьшают диаметр капилляров и затрудняют движение газов в сторону металла, что обычно полезно, за исключением случаев отвода газов в полость формы через верхнюю поверхность стержня. Существенное влияние на величину капиллярного давления оказывает механизм формирования газового пузырька на поверхности контакта металл—форма. Если металл смачивает форму или стержень ($0^\circ \leq \theta < 90^\circ$), то газовые пузырьки внедряются в металл из каждой поры независимо от соседних; при этом «радиус капилляра» определяется размером зерен в поверхностном слое. В случаях, когда металл не смачивает форму или стержень ($90^\circ < \theta \leq 180^\circ$), пузырьки (но выходе из каждой поры) одновременно с ростом растекаются по поверхности контакта, и в результате соседние пузырьки сливаются в один общий — большого диаметра. После его отрыва остается «след» в виде газовой прослойки, накрывающей несколько пор. Следующие пузыри формируются сразу из «пучка капилляров», и, следовательно, вследствие большего диаметра пузыря требуется меньшее давление газа для преодоления силы поверхностного натяжения. По этой причине краска (которая подбирается так, чтобы она не смачивалась металлом) не является надежным средством защиты от проникновения газа в металл. В опытных работах увеличение давления над зеркалом металла осуществляется путем подачи нейтрального газа в полость формы через выпор. Если указанные выше меры не приводят к положительным результатам, то для облегчения удаления газов, попавших в металл из формы, следует применить заливку с большим перегревом (повысить $t_{зал}$ до 1350—1380° С, увеличить содержание С в чугунах и т. д.), что особенно необходимо для чугунов, выплавленных с большим содержанием стали в шихте. Полезна также заливка с «перепуском» через выпора.

Помимо механического внедрения газов из формы в металл газовые раковины, как указывалось, образуются в результате химических реакций между расплавленным металлом и формой. Поэтому при применении стержней, изготовленных в горячих ящиках, содержание N_2 в смоле не должно превышать 8% во избежание образования газовых раковин, а при содержании $N_2 > 5\%$ нужно вводить в смесь около 1% окиси железа (предпочтительно черной) для нейтрализации вредного влияния N_2 .

При заливке ВЧШГ в сырые формы смесь должна содержать не менее 7% угля для предотвращения образования газовых раковин и создания нужной атмосферы.

Ужимины возникают под действием теплоты металла, заливаемого в форму. Вначале лицевой слой формы сильно нагревается на небольшую толщину. При отсутствии свободы для расширения смеси, образующаяся корка отслаивается в полость формы, создавая ужимину (см. табл. IX.1). Величина расширения лицевого слоя формы и опасность образования ужимины прямо зависят от коэффициентов линейного расширения α составляющих смеси, степени ее уплотнения и температуры нагрева. Отслаиванию корки способствуют: неблагоприятная конфигурация формы, препятствующая расширению корки; повышенное давление газов в толще формы; малая прочность («сцепление») смеси на границе сухой корочки и зоны конденсации влаги; повышенная исходная влажность формы, с увеличением которой песчано-глинистая смесь сильнее уплотняется, растет влажность и падает прочность на границе корка—зона конденсации, увеличивается давление газов.

Значение α смеси и ее составляющих является важным фактором, влияющим на образование ужимин; для свежего материала (добытого из карьера) и для подвергнутого в последующем нагреву оно различно. Кварц при нагревании претерпевает превращения (см. гл. V), причем минимальное расширение имеет тридимит. Глина при нагревании шамотизируется, что сопровождается ее усадкой и, следовательно, уменьшением расширения смеси. На α смеси помимо непосредственного влияния свойств составляющих оказывает существенное влияние «возраст» смеси. По мере оборота смеси со временем происходит покрытие кварцевых зерен оболочкой, состоящей из спекшейся глины и продуктов разложения угля, — так называемый процесс оолитизации [22], вследствие чего зерна меньше расширяются, что является их положительным свойством. Отдельные оолитизированные

зерна образуют агрегаты. Со временем кварцевые зерна растрескиваются, и в сырой смеси появляется много пыли (при содержании «мелочня», удаляемой отмучиванием, больше 12—15% форма очень сильно уплотняется; уменьшается ее газопроницаемость, на отливках появляются «шуба» и взрывной пригар). Следовательно, как свежая, так и очень старая смеси не дают хороших результатов; оптимальное содержание оолитированного песка около 4%.

Таким образом, в зависимости от конкретных условий производства, конфигурации отливки и особенностей технологического процесса борьба с ужиминами может вестись в следующих направлениях.

1. Уменьшение нагрева лицевого слоя (плоских поверхностей), которое достигается: быстрой заливкой; подводом металла через несколько питателей (желательно в толстые места и прибыли) или к вертикальным стенкам, заполнив которые, металл мог бы затем сразу покрыть присоединенные к ним горизонтальные плоские поверхности (а не тек по ним отдельными струями, как это происходит при подводе металла к горизонтальным поверхностям формы); заливкой плоских отливок в вертикальном или наклонном положении; вентиляцией формы наколами с тем, чтобы за счет конвекции выровнять температуру и влажность по сечению формы.

2. Уменьшение α лицевого слоя, в связи с чем для сырых форм применяют малорасширяющуюся отработанную смесь; вводят в нее органические добавки — уголь (с содержанием летучих не менее 35%, желательно в виде гранул), древесную муку, мазут и др., которые, сгорая, оставляют пространство для расширения зерен; наносят на плоских поверхностях формы риски — так называемые температурные швы; по возможности неплотно набивают форму.

3. Увеличение прочности смеси, упрочнение лицевого слоя формы и улучшение его сцепления (связи) с основной массой смеси, чему способствуют: введение в смесь для сырых форм обработанного Na_2CO_3 кальцевого бентонита в количестве, обеспечивающем содержание активной глинистой составляющей в оборотной смеси на уровне около 8%; поддержание влажности в пределах 2,8—3,2%; местное или полное окрашивание форм (с подсушкой или без нее); припыливание сырых форм цементом; местные стержни в зоне образования ужимин (вместо сырой формы); покрытие плоских поверхностей крупных форм асбестом; проशीливание плоских поверхностей формы и в зоне подвода металла;

4. Уменьшение давления газов в толще формы (осуществляется мерами см. с. 658).

Пригар * является наиболее распространенным поверхностным дефектом отливок. Его образование связывают с процессами взаимодействия металла отливки и материалов формы, в результате которых на поверхности отливки возникает трудноотделимый неметаллический слой. Основными причинами возникновения пригара считают процесс проникновения жидкого металла в поры формы и химическое взаимодействие жидкоподвижных окислов металлов с компонентами формовочной смеси.

Наиболее распространенным способом предупреждения пригара является использование защитных покрытий, наносимых на поверхность литейной формы. Однако эти покрытия не всегда создают надежную защиту, так как при заливке формы металлом вследствие ее деформации может происходить растрескивание и отслоение покрытия. В целях увеличения термостойкости покрытия принимают специальные меры, обеспечивающие надежную связь покрытия с поверхностным слоем формы. Например, используют так называемые проникающие краски, которые обладают повышенной смачиваемостью поверхностного слоя формы, а также послойное нанесение двух-трех покрытий: для первого слоя используют краски с малой плотностью, а для последующих слоев — с большей плотностью [3].

Другим способом предупреждения пригара является использование углеродосодержащих добавок, вводимых в формовочные смеси, которые под действием высоких температур разлагаются, создавая восстановительную атмосферу в форме, препятствующую окислению металла и развитию процессов взаимодействия его оксидов с материалами формы.

* Изложение вопроса о пригаре дано Ю. Ф. Боровским.

Считают также, что углеродосодержащие добавки (кокс, каменноугольная пыль, каменноугольный пек) под действием высоких температур выделяют пиро-литический С, который осаждается в порах поверхностного слоя формы и ухудшает условия его смачивания жидким чугуном [4, 28]. Конкретные меры борьбы с пригаром приведены в табл. IX.1.

4. НАПРЯЖЕНИЯ И СВЯЗАННЫЕ С НИМИ ДЕФЕКТЫ

Образование напряжений и трещин

В любой отливке в процессе затвердевания и последующего охлаждения возникают те или иные напряжения (σ), которые классифицируются как механические, температурные, фазовые и др., причем некоторые из них являются временными, другие — остаточными. Возникающие напряжения являются причиной образования горячих и холодных трещин и искривления отливок.

Механические напряжения и деформации возникают в отливке вследствие препятствий ее усадке со стороны формы или еще чаще — со стороны стержня. Так, стержень 1 (рис. IX.6) затрудняет усадку цилиндрической части барабана, и в ней возникают осевые, радиальные и тангенциальные растягивающие напряжения, а выступ 2 формы, расположенный между тарелками барабана, препятствует усадке отливки вдоль вертикальной оси и усиливает действующие в ней осевые напряжения. Наиболее опасными являются растягивающие напряжения, поскольку именно они вызывают трещины или полное разрушение отливок. Сжимающие напряжения с этой точки зрения безопасны, а иногда даже полезны. Искривление геометрической формы (искривление, коробление) отливок, может быть вызвано действием напряжений того и иного знака.

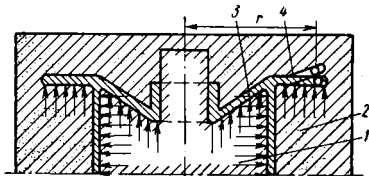


Рис. IX.6. Схема торможения усадки отливки формой и стержнем

Механические напряжения, как правило, растягивающие, но бывают и исключения. Например, если в отливке встречаются вогнутые элементы (торцевые стенки 3 барабана на рис. IX.6), они оказываются сжатыми. Сжимающие напряжения действуют и в тарелках 4 барабана, поскольку при их изгибе (как показано на рис. IX.6 штриховкой) длина каждой окружности, описываемой произвольным радиусом r , неизбежно сокращается.

Величина механических напряжений зависит главным образом от конструкции отливки, а также и от конструкции литейной формы, свойств чугуна и технологии производства. Чем больше в отливке полостей, оформляемых стержнями или болванами, выступов и поднутрений, затрудняющих ее усадку, тем больше напряжения. Механические напряжения могут возникать и в отливках простой конфигурации, где роль выступающих частей играют литники и выпоры. Напряженность и коробление такой отливки еще более увеличиваются, если литники упираются в крестовины опоки или когда вследствие небрежной заливки сверху образуются натеки металла, удерживающиеся за кромки опоки. В плоскости разреза формы затруднять усадку и создавать механические напряжения способны заливки или разветвленная литниковая система, соединяющая несколько отливок в единый сложный контур, и т. д. Из свойств чугуна на развитие механических напряжений прежде всего влияет его α . Важной особенностью механических напряжений является то, что они не внутренние, поскольку возникают как реакция на действие внешних (по отношению к отливке) сил. При этом первостепенное значение имеет прочность чугуна. Чем она выше, тем легче сокращающаяся отливка преодолевает внешние сопротивления и в ряде случаев вообще их устраняет, сама при этом оставаясь не поврежденной и не деформированной. Однако

и пластичность металла также имеет большое и положительное значение, так как чем больше отливка деформируется, тем полнее она разгружается от напряжений.

Вторая особенность механических напряжений состоит в том, что сопротивление усадке со стороны форм и стержней не является пассивным. Воспринимая теплоту от отливки, а в ряде случаев от литников и прибылей, элементы формы претерпевают расширение, что дополнительно увеличивает возникающие в отливке механические напряжения; это иногда может оказаться главной или даже единственной причиной возникающих в отливке напряжений. В этом плане большое значение имеет теплота заливаемого в форму сплава, с повышением которой уровень механических напряжений в отливке увеличивается. Что касается свойств литейной формы, то она, по возможности, должна как можно меньше затруднять усадку отливки. С этой точки зрения преимущества имеют те формовочные материалы, которые обеспечивают наименьший нагрев элементов формы, имеют наименьшую прочность и в особенности большую податливость.

Третья особенность механических напряжений заключается в том, что они могут полностью исчезать при устранении действия внешних сил (при извлечении отливки из формы и удалении из нее стержней), что наблюдается очень часто на практике. Однако, если под действием механических напряжений отливка оказывается пластически деформированной, часть напряжений в ней может сохраняться неопределенное время.

Температурные напряжения и деформации возникают при неравномерном распределении температур в отливке, что определяется геометрической формой отливки, расположением литников и прибылей, свойствами формовочных материалов и красок, наличием холодильников и другими факторами. Это вызывается тем, что быстрее нагревающийся (охлаждающийся) элемент отливки не в состоянии полностью реализовать свое тепловое расширение (сжатие), так как оно частично, а в некоторых случаях полностью, подав-

ляется сопротивлением примыкающих элементов той же отливки, температура которых изменяется медленнее. Таким образом, тепловая деформация любого элемента в связанной системе сопровождается его силовой деформацией, причем знаки этих деформаций всегда противоположны (в быстрее нагревающихся элементах развиваются деформации и напряжения сжатия, а в остывающих — растяжения). Из этого вытекает известная закономерность, согласно которой вначале быстрее охлаждается тонкая часть, и она поэтому растянута, а толстая часть, значит, сжата; затем после выравнивания скоростей охлаждения тонкой и толстой частей отливки знаки деформации и напряжений (временных или остаточных) изменяются обратно [9].

Указанное относится также к образованию деформаций и напряжений по сечению отливки или ее элемента, например стержня усадочной решетки. Здесь наружные слои играют роль тонких частей, а внутренние — толстых. Таким образом, помимо напряжений, возникающих в стержнях решетки (или отливках, сочетающих тонкие и толстые сечения) из-за взаимного силового влияния, в каждом из них наводятся собственные напряжения, обусловленные неравномерным распределением температур по сечению.

В более сложных случаях, как это, например, показано на рис. IX.7, а, б, механизм формирования напряжений может быть иным. Перемычка 1, отдавая теплоту еще непрогретому стержню, затвердевает раньше, и ее температура быстро падает, тогда как в толстой стенке 2 температура остается еще близкой к солидусу. Затем стержень прогревается до высоких температур, а вместе с ним вновь нагревается и перемычка 1. Далее тепловой центр системы оказывается уже в центре

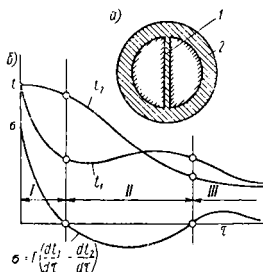


Рис. IX.7. Схема образования напряжений в отливке: а — отливка со стержнем и перемычкой; б — распределение температур t и напряжений σ в отливке

стержня. С этого момента и до конца охлаждения тонкий элемент / оказывается горячее толстого 2. Охлаждение такой отливки получается трехстадийным. На стадии / (рис. IX.7, б) тонкий элемент охлаждается быстрее массивного. Стадия II соответствует обратному соотношению скоростей и даже нагреванию тонкого стержня. Наконец, на стадии III тонкий элемент вновь охлаждается быстрее толстого. Приведенные кривые (рис. IX.7, б) дают представление о причинах возникновения и характере действующих напряжений, но не позволяют определять их количественно. Эти деформации и напряжения не пропорциональны ординатам приведенных кривых, так как помимо тепловых факторов на них влияют и другие, из которых главными являются свойства чугуна, изменяющиеся по мере его остывания. При $t > 600^\circ\text{C}$ в чугуне вследствие низкого условного предела текучести ($\sigma_{0,2}$) развиваются пластические деформации, снижающие уровень напряжений, а вблизи $t_{пл}$ в нем протекают вязкостные деформации, еще более эффективно разгружающие отливку от напряжений. Эти реологические процессы сложны и мало изучены, что мешает созданию надежной расчетной методики. Лишь при $t < 600^\circ\text{C}$, где пластические свойства чугуна проявляются слабо, расчет напряжений оказывается надежным. Соответствующие методики приводятся ниже. Однако низкий уровень напряжений при высоких температурах вовсе не говорит о их безопасности для формирующейся отливки. В высокотемпературной области металл обладает сильно заниженными прочностными и пластическими свойствами, и отливки легко разрушаются при самых незначительных усилиях. Это составляет основную трудность в предупреждении образования горячих трещин.

Фазовые напряжения и деформации образуются в отливке, если сплав претерпевает структурные или фазовые превращения, сопровождающиеся изменением его объема. В чугуне типичным примером этого служит перлитное превращение, при котором объем охлаждающегося сплава увеличивается. Фазовое превращение теоретически может идти по трем вариантам: протекание полностью и одновременно во всем объеме отливки; превращение полное, но при постепенном протекании по сечению отливки по мере продвижения критической температуры от поверхности к центру; протекание превращения с различной полнотой в разных частях объема отливки или ее узла.

В первом случае напряжения не образуются вовсе; во втором — отливка напрягается лишь в период развития напряжений; в третьем — напряжения носят остаточный характер и алгебраически складываются с существующими в отливке напряжениями других видов. На практике встречается только третий случай, где различная степень превращения (перлитизации) объясняется неоднородностью первичной структуры и неодинаковой скоростью охлаждения по объему.

Для качества формирующейся отливки фазовые деформации и напряжения могут играть как отрицательную, так и положительную роль. Последнее чаще всего имеет место в СЧ. Перлитное превращение наиболее полно протекает в «горячих», медленно остывающих частях отливки, где в это время развиваются растягивающие температурные напряжения. Поскольку перлитизация сопровождается расширением объема, она способствует разгрузке от напряжений и уплотнению структуры (уменьшению объема усадочной и деформационной пористости) в горячих узлах. Вместе с тем, естественно, снижается и общая напряженность отливки.

К прочим видам напряжений относятся те, которые образуются обычно при специальных методах литья: возникающие от действия центробежных сил, вибрации, давления (поршневого или газового) и образующиеся на ранних стадиях формирования отливок. Эти виды напряжений до сих пор еще слабо изучены.

Наиболее сложным является образование напряжений в *затвердевающей корке отливки*, возникающих вместе с появлением твердой фазы, даже если корка еще не образует на стенке формы законченного контура. Перепад температур на поверхности раздела отливки и формы в начале затвердевания очень велик, что предопределяет быстрый отвод теплоты от растущей корки и соответственно интенсивную ее усадку; но все же это не вызывает разрушения корки, хотя металл в этот период характеризуется ничтожно малыми показателями прочностных и пластических свойств. Корка в это время давлением жидкости плотно прижата к поверхности формы и силами трения закреплена всеми своими точками, т. е.

оказывается как бы «наклеенной» на стенку. В таких условиях остывающая корка испытывает двустороннее растяжение вдоль поверхности формы, а вся ее объемная усадка реализуется в виде утроенной линейной усадки в направлении третьей оси (по толщине корки); при этом образование трещины в корке невозможно, поскольку перемещение материала вдоль стенки формы исключено. Таким образом, трение о стенку формы страхует отливку от разрушения в начальной, самой ответственной стадии ее формирования.

Напряжения имеют место уже в сформировавшейся корке, особенно в слитках и массивных элементах фасонных отливок. Натянутая корка работает как оболочковая конструкция и обжимает ядро слитка по всему периметру. Нормальное давление (кгс/см^2), испытываемое затвердевающим металлом со стороны корки-оболочки, определяется формулой

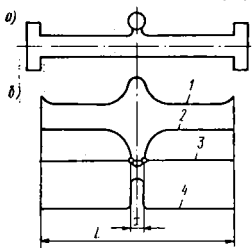


Рис. IX.8. Схема образования горячей трещины: а — отливка с торможением усадки концевыми поперечинами; б — схема образования в отливке деформации на «горячем» участке

$$p = \frac{\sigma \delta}{\rho}, \quad (\text{IX.4})$$

где σ — тангенциальные напряжения в корке; δ — толщина корки; ρ — радиус кривизны корки.

В соответствии с формулой (IX.4) давление, с которым корка обжимает находящийся под ней затвердевающий металл, неодинаково: оно больше там, где меньше радиус кривизны корки. Это вызывает самопроизвольную деформацию затвердевающего тела. Так, слиток эллиптического сечения по большой оси эллипса сокращается больше, чем по малой, отчего становится более круглым, что для него энергетически выгодно. При округлении у эллипса сокращается периметр (протяженность корки). Напряженность корки падает, и опасность ее разрушения уменьшается. Цилиндрические слитки, лишённые такой возможности, оказываются более «жесткими», чем объясняется известная их склонность к образованию наружных продольных трещин.

Неравномерность усадочной деформации, способствующая возникновению горячих трещин, наблюдается также при наличии в отливке «горячих мест». На рис. IX.8, а схематически показана отливка, испытывающая затрудненную усадку из-за концевых поперечин. При центральном подводе металла температура, описываемая на рис. IX.8, б линией 1, в средней части бруска наиболее высока, отчего предел текучести (линия 2) в этом месте наиболее низок. Когда напряжения в бруске (линия 3) достигают минимума предела текучести, в узкой зоне x металл пластически деформируется (линия 4), что уменьшает напряженность системы. Но напряженность двусторонне защемленного бруска в любых условиях одинакова по всей длине L . Следовательно, за счет пластической деформации металла в зоне x осуществляется разгрузка от упругих напряжений бруска и на всей его остальной длине $L - x$. Другими словами, затрудненная усадка бруска по всей его длине L погашается сосредоточенной деформацией металла на горячем участке, причем относительная деформация металла оказывается тем большей, чем длиннее брусок (или рассматриваемый напряженный участок отливки); это и обуславливает образование там горячей трещины.

Остаточные напряжения и образование холодных трещин

Основной предпосылкой для образования $\sigma_{\text{ост}}$ в чугуне служит резкое изменение предела текучести при изменении температуры в пределах $550-650^\circ\text{C}$. По теории Гейна, для объяснения механизма возникновения в отливках $\sigma_{\text{ост}}$ принималось, что при охлаждении отливки до 600°C предел текучести равен нулю и напряжения возникают; при 600°C предел текучести возрастает до максимума

и остается неизменным до полного охлаждения отливки (металл при этой температуре становится упругим). Если при этих условиях охлаждается, например, усадочная решетка (рис. IX.9), то напряжения в ней могут возникать лишь с момента, когда температура толстого бруска 2 достигнет 600°C , так как до этого момента деформация образуется за счет этого бруска, находящегося еще в области пластических деформаций. Таким образом, если в момент перехода системы в упругое состояние отливку мысленно освободить от одной из перемычек 3, то все три бруска (два тонких бруска 1 и один толстый 2) останутся равной длины и напряжений в них не будет. Если же решетка останется связанной, то вследствие того, что бруски перейдут в упругое состояние в разное время и при разных температурах, в ней возникнут напряжения, которые приблизительно определяются:

$$\sigma_1 = - \frac{E\alpha F_2 (t_2 - t_1)}{F_1 + F_2}; \quad (\text{IX.5})$$

$$\sigma_2 = + \frac{E\alpha F_1 (t_2 - t_1)}{F_1 + F_2}, \quad (\text{IX.6})$$

где F_1 — сумма поперечных сечений тонких брусков; F_2 — площадь сечения толстого бруска; σ_1 и σ_2 — напряжения в тонких и толстом брусках; t_2 и t_1 — температуры толстого и тонких брусков в момент перехода системы в упругое состояние.

Из выражений (IX.5) и (IX.6) * следует, что $\sigma_{\text{ост}}$ в решетке пропорционально разности температур брусков в момент перехода системы в упругое состояние (в момент достижения толстым бруском критической $t = 600^{\circ}\text{C}$), что имеет большое значение для разработки способов получения отливок с минимальными $\sigma_{\text{ост}}$ и режимов ТО с целью уменьшения этих σ .

С учетом релаксации остаточные напряжения в чугуночной усадочной решетке более точно можно рассчитать по уравнениям [9]:

$$\sigma_1 = [-\alpha (t_2 - t_1) \pm \Delta\epsilon_{\text{yc}} + (0,001 + 0,006\Phi\epsilon)] \frac{EF_2}{F_1 + F_2} (1 - v_{\text{рел}}\tau); \quad (\text{IX.7})$$

$$\sigma_2 = [+ \alpha (t_2 - t_1) \pm \Delta\epsilon_{\text{yc}} - (0,001 + 0,006\Phi\epsilon)] \frac{EF_1}{F_1 + F_2} (1 - v_{\text{рел}}\tau), \quad (\text{IX.8})$$

где $\Phi\epsilon$ — доля феррита в структуре; $\pm \Delta\epsilon_{\text{yc}}$ — механическое торможение усадки с момента начала образования $\sigma_{\text{ост}}$; $v_{\text{рел}}$ — скорость релаксации с момента образования $\sigma_{\text{ост}}$, которое всегда происходит в той или иной мере в процессе охлаждения в упругой области; τ — продолжительность охлаждения отливки в упругой области.

Под влиянием этих напряжений в отливках в области упругих деформаций образуются при той или иной температуре холодные трещины, когда значения σ превосходят $\sigma_{\text{в}}$ чугуна. В зависимости от температуры образования этих трещин изломы металла могут иметь разный цвет: побежалости при $t = 500 \div 600^{\circ}\text{C}$ или нормальный чистый при более низкой температуре.

Образование искривлений

Приведенный выше пример с усадочной решеткой является простейшим случаем, при котором в силу симметричности сечения при охлаждении отсутствует искривление отливки. В общем же случае развитие напряжений в отливке со-

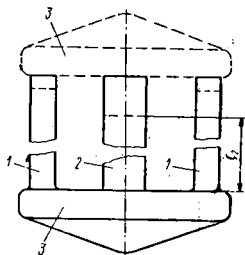


Рис. IX.9. Схема усадочной решетки и образования в ней напряжений

* Выражения (IX.5) и (IX.6) носят приближенный характер, так как не учитывают собственных напряжений в брусках, возникающих вследствие неравномерного распределения температур по сечению, а также разницы в значениях E при растяжении и сжатии. Кроме того, здесь не учитываются релаксация напряжений и влияние структуры.

проводяется очень часто ее искривлением (изгибом, скручиванием, изменением формы сечения и т. д.), причем характер и величина деформации соответствуют минимуму упругой энергии отливки в любой момент охлаждения. Соответствующий изгиб может быть рассчитан по следующему методу, который включает в себя два частных и один общий случай расчета: определение размера изгиба ненапряженной отливки, определение напряжения в неизгибающейся отливке и определение размера изгиба при напряжениях в отливке.

Случай 1. Пусть отливка (в данном случае прямоугольный брус произвольно большой длины и с шириной сечения L , рис. IX.10, а) в начальный момент, например при переходе системы в упругое состояние, имеет прямолинейное распределение температур по сечению (линия CD), которое выражается уравнением $t = \varphi x + \kappa$. Такая отливка при дальнейшем ее остывании непрерывно

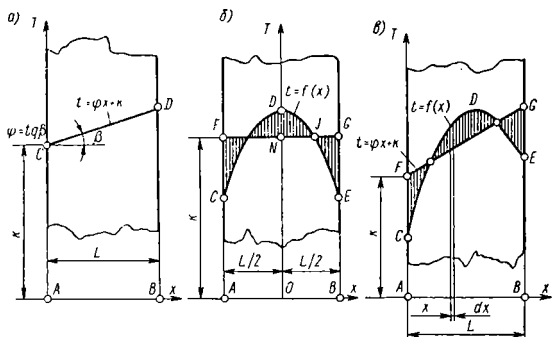


Рис. IX.10. Схема образования деформаций и искривлений в прямоугольном бруске: а — при прямолинейном распределении температур по сечению при переходе системы в упругое состояние; б — при распределении температур по симметричной кривой при переходе системы в упругое состояние; в — при распределении температур по сечению по несимметричной кривой в момент перехода в упругое состояние

изгибается выпуклостью в сторону менее нагретой боковой ее грани. К моменту окончательного охлаждения, когда линия CD совмещается с горизонталью AB , температурный изгиб бруса достигает максимальной величины, определяемой уравнением

$$r = \frac{1}{\alpha \varphi}, \quad (\text{IX.9})$$

где α — коэффициент линейного расширения материала отливки. Отличительной чертой изгиба при прямолинейном распределении температур является отсутствие напряжений в теле отливки. По этой причине ни интенсивность процесса изгиба, ни его конечная величина не зависят от прочностных характеристик материала отливки, и формула (IX.9) оказывается справедливой как для упругого, так и для пластичного его состояния.

Случай 2. На рис. IX.10, б показан прямоугольный брус, температурное поле в котором в момент перехода системы в упругое состояние описывается симметричной кривой CDE . Ввиду симметричности температурного поля отливка при дальнейшем своем охлаждении не искривляется. Напряжения достигают максимума к концу охлаждения бруса, когда кривая CDE совмещается с пря-

мой AB . Зоны растягивающих и сжимающих напряжений однозначно определяются положением «нейтрали» (прямой FG), делящей заштрихованную температурную эпюру на две равновеликие площади. Ордината κ нейтрали однозначно определяется из уравнения, выражающего равенство площадей DIN и IGE ,

$$\int_0^{L/2} [f(x) - \kappa] dx = 0, \quad (IX.10)$$

где $f(x)$ — аналитическое выражение температурной кривой CDE , предполагаемое известным. Тогда, предполагая E металла одинаковым при растяжении и сжатии, рассчитываем напряжения волокон остывшего бруса по формуле

$$\sigma = E\alpha [f(x) - \kappa]. \quad (IX.11)$$

Случай 3. К моменту перехода системы в упругое состояние температурное поле бруса описывается криволинейной, несимметричной эпюрой CDE (рис. IX. 10, в). При последующем охлаждении такая отливка непрерывно искривляется и нагружается внутренними силами, причем оба эти эффекта достигают максимальных значений к концу охлаждения. Температурный изгиб и напряжения в любой момент охлаждения определяются из условий статического равновесия системы, выражающихся системой двух уравнений:

$$\int_0^L [f(x) - \varphi x - \kappa] dx = 0; \quad (IX.12)$$

$$\int_0^L [f(x) - \varphi x - \kappa] x dx = 0. \quad (IX.13)$$

Первое из них выражает равенство нулю суммы внутренних сил в системе а второе — суммы моментов этих сил. Решением системы однозначно определяются входящие в уравнение неизвестные φ и κ , являющиеся параметрами искомой нейтрали (прямой FG). Тогда радиус кривизны остывшего бруса рассчитывается по формуле (IX.9), а максимальное напряжение произвольного продольного волокна бруса — по формуле

$$\sigma = E\alpha [f(x) - \varphi x - \kappa]. \quad (IX.14)$$

По такому же принципу рассчитываются изгиб и напряжения в протяженных отливках постоянного сечения (короба, желоба, профильные балки), а также в отливках, которые расчетным путем могут быть приведены к телам с постоянным профилем (некоторые станины, головки блоков цилиндров и др.). Наконец, метод может быть использован для расчетного определения изгиба и напряженного состояния некоторых отливок при их механической обработке.

Как следует из изложенного, температурный изгиб не влечет за собой увеличения напряжений в системе. Наоборот, если отливки не могли бы искривляться (например, при остывании в металлических формах), то в них возникали бы дополнительные напряжения, в данном случае механические. Такие отливки при извлечении их из формы мгновенно искривляются в соответствии с формулой (IX.9), освобождаясь тем самым от излишних напряжений.

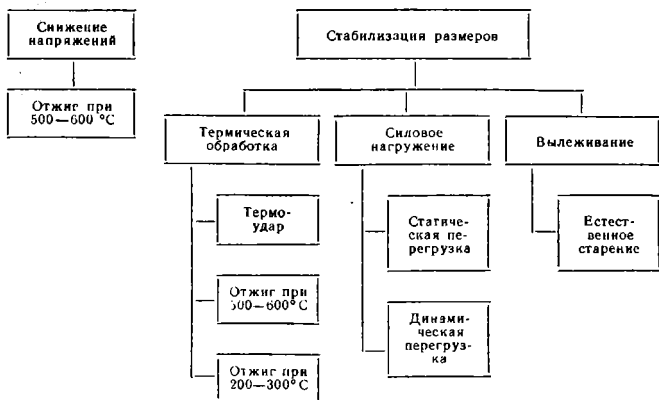
Если же упругая отливка охлаждается в неподатливой форме, которая препятствует реализации тепловых деформаций отливки, то возникающие в ней механические напряжения могут достигнуть предела текучести. Такие механические напряжения тоже носят остаточный характер. Механизм образования и действие этих напряжений подобны остаточным напряжениям, возникающим при холодной гибке или штамповке изделий.

5. СНИЖЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И СТАБИЛИЗАЦИЯ РАЗМЕРОВ ЧУГУННЫХ ОТЛИВОК

Величина остаточных напряжений зависит от конфигурации отливки, технологии ее заливки, условий охлаждения в форме (наличия холодильников, принудительного охлаждения и т. п.). С увеличением прочности отливок увеличиваются не только возникающие в них $\sigma_{ост}$, но и их отношение к прочности чугуна. Поэтому при изготовлении отливок из чугуна более прочных марок увеличивается опасность их разрушения; в частности, переход с СЧ 21-40 на СЧ 32-52 может увеличить эту опасность на 10—30%. Коробление отливок от пластической деформации под действием внешних сил уменьшается с увеличением прочности чугуна. Переход с СЧ 21-40 на СЧ 36-56 уменьшает коробление отливки от действия внешних сил на 30%; на коробление же от релаксации $\sigma_{ост}$ прочность чугуна влияет мало [17]. Значительно снизить коробление отливок по этой причине можно только при переходе на изготовление их из ВЧШГ. При использовании же СЧ устранить коробление отливок только за счет выбора материала, как правило, нельзя. Для стабилизации размеров отливок, а также для снижения имеющихся в них $\sigma_{ост}$ отливки подвергают различным методам теплового или силового воздействия. Классификация методов снижения $\sigma_{ост}$ и стабилизации размеров отливок дана на схеме IX.1.

Схема IX.1

МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И СТАБИЛИЗАЦИИ РАЗМЕРОВ ОТЛИВОК



Значительно уменьшить $\sigma_{ост}$ и повысить прочность отливок можно только отжигом при 500—600° С. Остальные методы стабилизации размеров на прочность отливок практически не влияют. Стабильность размеров отливок может быть достигнута также упрочнением металла, при котором повышается его сопротивление пластической деформации, так как упрочнение металла исключает возможность его пластической деформации под действием $\sigma_{ост}$. Для более полной стабилизации размеров отливки можно последовательно подвергать ее стабилизирующей обработке несколькими методами.

Механическая обработка стабилизированных отливок способствует возобновлению их коробления [17]. Поэтому обычно стабилизация отливок производится после черновой обработки. При использовании для одной отливки нескольких

стабилизирующих обработок целесообразно между ними осуществлять полуставовую механическую обработку отливки, чтобы обеспечить после последней стабилизации минимальный сдем металла. Различные методы стабилизации, их характерные особенности и эффективность приведены в табл. IX.4.

Отжиг при 500—600 °C производится в печах и состоит в нагреве загруженных отливок до заданной температуры, выдержке при этой температуре и охлаждении с печью. Стабилизация размеров достигается в основном за счет резкого снижения $\sigma_{ост}$, имеющихся в отливке. Отжиг может использоваться для отливок любой конфигурации и с любыми $\sigma_{ост}$. Как уже указывалось, этот метод применяется не только для стабилизации размеров, но и в случаях, когда необходимо повысить прочность отливок за счет снижения имевшихся в них $\sigma_{ост}$. При этом нагрев не влияет на качество стабилизации размеров отливок. Скорость нагрева выбирается максимально возможной и ограничивается только опасностью разрушения отливок из-за σ_t , складывающихся с имеющимися в отливках $\sigma_{ост}$. Обычно нагрев производят со скоростью от 50 до 150 °C в час. Для мелких деталей простой конфигурации скорость нагрева увеличивается до 200 °C в час.

Температура отжига t_0 назначается максимально допустимой из условия, чтобы после отжига отсутствовало снижение твердости металла. В частности, для СЧ справедлива зависимость

$$t_0 = 480 + 4\sigma_b. \quad (XI.15)$$

Допуск на t_0 всегда дается в минус и не должен превышать 30 °C.

Время выдержки при t_0 должно составлять 2—4 ч. Как меньшее, так и большее время выдержки ухудшает процесс стабилизации размеров отливок. Время выдержки отсчитывается от момента прогрева наиболее массивных участков отливки до заданной температуры ($t_0 - 30^\circ\text{C}$). Продолжительность прогрева зависит от многих факторов (типа печи, конфигурации отливок, их расположения в печи и т. п.) и определяется экспериментально.

Охлаждение до 350 °C должно производиться медленно, чтобы в отливках не возникли новые $\sigma_{ост}$. Обычно скорость охлаждения в этом интервале температур составляет 30 °C в час, а отливок очень простой конфигурации может доходить до 60 °C в час.

В интервале 350—200 °C более медленное охлаждение способствует упрочнению матрицы чугуна и уменьшению последующего коробления отливок. Для особо точных отливок скорость охлаждения с 350 до 200 °C должна быть порядка 10 °C в час, а для остальных отливок — порядка 30 °C в час. Ниже 200 °C охлаждение может быть любым, исключающим возможность разрушения отливок от временных температурных напряжений.

Статическая перегрузка осуществляется путем нагружения отливки статической силой или моментом таким образом, чтобы созданные дополнительные напряжения, складываясь с остаточными, вызвали пластическую деформацию чугуна. Пластическая деформация обеспечивает упрочнение матрицы чугуна, а также уменьшает $\sigma_{ост}$ в отливке. Из-за опасности разрушения отливок статической перегрузке подвергают только такие, у которых $\sigma_{ост} < 0,4\sigma_b$. Необходимые напряжения перегрузки проще всего создаются при изгибе. Поэтому статическую перегрузку обычно используют для стабилизации размеров сравнительно маложестких длинных отливок (типа планок, брусков и плит).

Возможные схемы нагружения и получающиеся при этом эпюры изгибающего момента вдоль отливки приведены на рис. IX.11. Схема а наиболее проста в осуществлении, но создает очень неравномерное распределение изгибающего момента по длине отливки. Этим ухудшается стабилизация размеров на ее концах. Схема в обеспечивает постоянный изгибающий момент по всей длине отливки и, следовательно, одинаковую стабилизацию всех ее участков; однако она более сложна в осуществлении. Схема б является промежуточной между схемами а и в и чаще всего применяется на практике. Так как характер распределения $\sigma_{ост}$ в отливке и их знак, как правило, неизвестны, нагружение производят попеременно в противоположные стороны. При этом в каждую сторону делают три нагружения.

Нагружающая сила или момент для серийно выпускаемых мелких и средних отливок определяются экспериментально. Одну или несколько отливок нагружают до разрушения и фиксируют разрушающую нагрузку. Стабилизация остальных

Характеристика и область применения основных методов стабилизации размеров чугунных отливок

№ п/п	Метод стабилизирующей обработки отливок	Основные особенности метода		Возможный порядковый номер метода в комбинированном процессе стабилизации	Продолжительность обработки, ч	Припуск на последующую механическую обработку, мм	Рекомендуемая область применения
		снижение остаточных напряжений, %	влияние обработки на металлическую основу чугуна				
1	Отжиг при 500—600° С	60—80	Разупрочнение	1	24—48	1—3	Для деталей с высокими литейными напряжениями и как первая стабилизация особо точных деталей
2	Термоудар	20—40	Значительное упрочнение	1; 2	0,2—0,6	2—5	Для большинства корпусных деталей средних размеров с не очень большими литейными напряжениями
3	Статическая перегрузка	20—40	Упрочнение	1; 2	0,1—2,0	0,5—1,5	Для маложестких деталей, особенно если они подвергаются действию значительных внешних нагрузок при эксплуатации
4	Динамическая перегрузка	5—20	Упрочнение	1; 2	0,3—6,0		
5	Естественное старение	5—10	Упрочнение	1*; 2; 3	0,5—12 мес		Для дополнительной стабилизации, особенно после стабилизации высокоточных деталей методами 2; 3; 4
6	Отжиг при 200—300° С	5—10	Упрочнение **	1; 2; 3	6—15		

* Вариант, редко используемый из-за большой продолжительности.

** Упрочнение достигается только при отжиге пластически-деформированного металла.

отливки производится нагрузкой, равной $0,5—0,6$ от разрушающей. При мелко-серийном и индивидуальном производстве производят расчет напряжений изгиба, возникающих от статической нагрузки в наиболее напряженном сечении отливки. Нагрузка для стабилизации размеров средних отливок выбирается таким образом, чтобы возникающие при ней максимальные дополнительные напряжения не превышали $(0,25 \div 0,3) \sigma_B$. Для тяжелых и уникальных отливок (с массой более

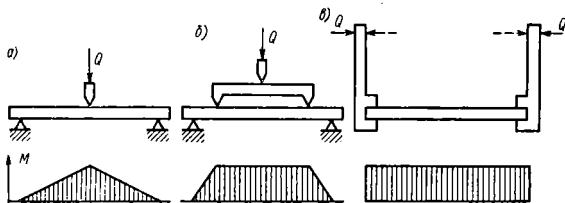


Рис. IX.11. Схемы статического нагружения отливок и эпюры создаваемых при этом изгибающих моментов

7 т) нагрузка выбирается так, чтобы она создавала в отливке максимальные напряжения растяжения, равные $(0,15 \div 0,2) \sigma_B$. Время выдержки под нагрузкой может быть любым, но оно не должно быть меньше нескольких секунд. Выдержка при каждом нагружении более 20 мин мало эффективна.

Динамическая перегрузка осуществляется путем вибрации отливки или ударов, вызывающих затухающие ее автоколебания. Динамические нагрузки, как и статические, вызывают пластическую деформацию, а следовательно, упрочнение матрицы металла и снижение $\sigma_{ост}$. Многократно повторяющаяся динамическая нагрузка способствует лучшему упрочнению матрицы. Из-за опасности разрушения отливок динамической перегрузке подвергают только такие, у которых $\sigma_{ост} < 0,35 \sigma_B$. Динамическое нагружение, как и статическое, обычно используют для создания в отливках напряжений изгиба. Поэтому и его применяют для стабилизации размеров отливок типа планок, брусьев, плит.

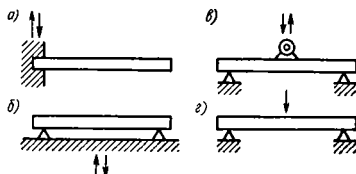


Рис. IX.12. Схемы крепления отливок при нагружении: а, б — крепление на вибростенде; в — крепление вибраторов на отливке; г — крепление отливки при ударной нагрузке

Возможные схемы нагружения изображены на рис. IX.12. При этом схемы а и б представляют крепление отливки на вибростенде. При консольном креплении (рис. IX.12, а) отливку сначала крепят за один конец, а потом за противоположный. На рис. IX.12, в дано крепление вибратора к отливке, а на рис. IX.12, г — крепление отливки при приложении к ней ударного импульса. При любых схемах нагружения важно, чтобы необходимые для стабилизации дополнительные напряжения создавались на всех участках отливки. Это проще всего достигается при динамическом нагружении всей отливки как единого целого. При нагружении лишь отдельных участков отливки может получиться, что в местах стыка последовательно нагружаемых участков отливки будет не стабилизирована.

Нагружающая сила при вибрационной обработке должна быть такой, чтобы в отливке возникали дополнительные напряжения, равные $0,15 \sigma_B$. Сравнительно небольшая перегрузка, создаваемая при вибрационной обработке из-за опасности

разрушения отливки, обуславливает меньшее снижение $\sigma_{ост}$ по сравнению со статической перегрузкой (см. табл. IX.4).

Частота вибрации до 200—300 Гц не оказывает влияния на качество стабилизации размеров отливок. Регулирование частоты вибрации требуется лишь для обработки отливок в режиме резонанса колебаний, когда необходимые дополнительные напряжения в них можно получить с помощью вибратора минимальной мощности. При обработке отливок ударами, вызывающими в них затухающие автоколебания, максимальные дополнительные напряжения равны $(0,15 \div 0,2) \sigma_B$.

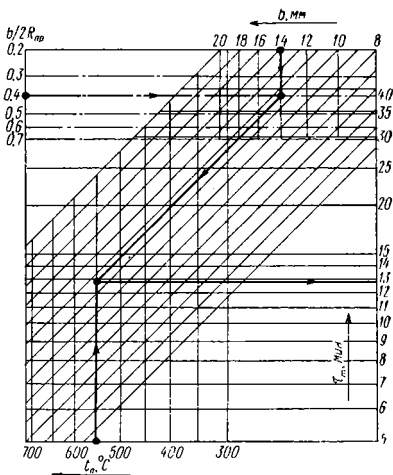


Рис. IX.13. Номограмма для расчета времени τ_m выдержки отливки в печи при создании в отливке максимальных температурных напряжений

Продолжительность вибрационной обработки отливок может составлять от 15—20 мин до 3—6 ч и определяется моментом прекращения интенсивной пластической деформации, происходящей в чугуне при его циклическом нагружении. Определить этот момент можно, производя периодические замеры коробления отливки в процессе ее вибрационной обработки.

При использовании вибратора с электроприводом (рис. IX.12, в) удобным способом определения момента прекращения пластической деформации отливки является измерение мощности, потребляемой вибратором. В случае вибрации отливки с постоянной частотой мощность, потребляемая вибратором, постепенно уменьшается. Вибрационную обработку можно заканчивать через 5—10 мин после прекращения падения мощности, потребляемой вибратором. В случае обработки отливки отдельными импульсными ударами их число должно быть порядка 10.

Термоудар осуществляется путем быстрой загрузки холодных отливок в предварительно нагретую печь и выдержки их там определенное время. Затем отливки выгружаются и охлаждаются на воздухе. Быстрый нагрев вызывает в отливках σ_T , которые, складываясь с $\sigma_{ост}$, обеспечивают пластическую деформацию чугуна, за счет которой и одновременного нагрева отливок до 200—300° С про-

исходит значительное упрочнение матрицы. При этом несколько снижаются также и $\sigma_{ост}$. Из-за опасности разрушения термоудару подвергают только такие отливки, у которых $\sigma_{ост} < 0,35\sigma_B$. Термоудар используют для стабилизации размеров отливок любой конфигурации, имеющих участки с разной толщиной стенок. Выбор режима термоудара производят следующим образом.

Задавая температуру печи t_n и пользуясь отношением толщины b тонкой стенки отливки к удвоенной приведенной толщине $R_{пр}$ массивной части, по графику (рис. IX.13) определяют время t_m достижения в отливке максимальных σ_T . Задавая Δ , соответствующей отношению допустимого коробления отливки после термоудара к короблению нестабилизированной отливки, по штриховым линиям (рис. IX.14) определяют необходимую для стабилизации отливок долю k времени t_m .

Время выдержки в печи t_1 , минимально необходимое для стабилизации отливки, определяют по формуле $t_1 = kt_m$; максимально допустимое время выдержки в печи $t_2 = c_0 b$ определяют из условия, чтобы тонкие стенки отливки не

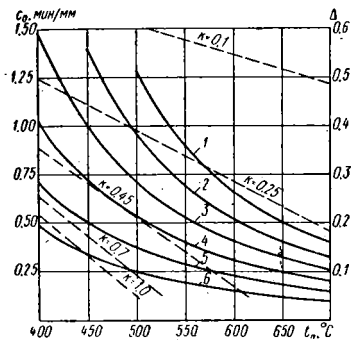


Рис. IX.14. Зависимость доли Δ первоначального коробления чугуновой отливки, сохраняющегося после термоудара, и величина коэффициента c_0 для расчета температуры стенок отливки при ускоренном ее нагреве в печи:

1 — $t_m = 400^\circ \text{C}$; 2 — 350°C ; 3 — 300°C ;
4 — 250°C ; 5 — 200°C ; 6 — 150°C

нагревались выше 400°C , так как иначе полученное при термоударе упрочнение металла будет ликвидировано (коэффициент c_0 определяют по сплошным линиям рис. IX.14). Фактическое время выдержки отливки в печи t должно удовлетворять условию $t_1 \leq t \leq t_2$. Желательно, чтобы за время выдержки t массивные участки отливки успевали прогреться до 200°C . Необходимое для этого прогрева время t_{200} рассчитывают по формуле $t_{200} = c_0 2R_{пр}$, причем c_0 берут для $t_m = 200^\circ \text{C}$ (рис. IX.14). При разогреве печи перед термоударом необходимо учитывать, что в результате загрузки в нее холодных отливок t_n падает на $80-120^\circ \text{C}$. Поэтому разогревать печь необходимо до температуры примерно на 100°C большей, чем выбранная t_n .

Отжиг при $200-300^\circ \text{C}$ осуществляется путем нагрева в печи, выдержке при заданной температуре и охлаждении на воздухе. Стабилизация размеров достигается в основном за счет дополнительного упрочнения матрицы чугуна, которая перед отжигом была пластически деформирована. Так как в процессе возникновения $\sigma_{ост}$ всегда возникают некоторые пластические деформации металла, отжиг при $200-300^\circ \text{C}$ обеспечивает стабилизацию размеров отливок, имеющих $\sigma_{ост}$. Особенно хорошую стабилизацию отливок такой отжиг обеспечивает после интенсивной пластической деформации в процессе первоначальной статической или динамической перегрузки. Отжиг при $200-300^\circ \text{C}$ может быть использован для стабилизации размеров любых отливок.

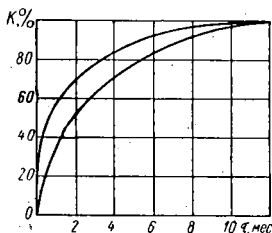


Рис. IX.15. Относительная величина коробления K чугуновых отливок при естественном старении

Нагрев не должен вызывать разрушение отливок. Наиболее целесообразно производить загрузку отливок в печь, предварительно нагретую до 300°C . Это создает в отливках σ_1 и увеличивает пластическую деформацию металла перед отжигом. В печи должна поддерживаться $t = 300^{\circ}\text{C}$. Время выдержки отливок в печи после нагрева массивных участков отливок до 200°C должно составлять 5 ч. Сокращенная выдержка в течение 2 ч увеличивает последующее коробление отливок примерно на 15%.

Естественное старение осуществляется путем длительного вылеживания отливок предпочтительно вне здания. Стабилизация размеров отливок происходит в основном из-за упрочнения матрицы чугуна. Естественному старению могут подвергаться любые отливки. Продолжительность вылеживания при естественном старении может быть разной и зависит от требований к точности отливки, ее жесткости при изгибе, наличия предыдущих стабилизирующих обработок и т. п. Наибольшая продолжительность естественного старения, обеспечивающая стабилизацию размеров отливок любой конфигурации, равна 12 мес. Для маложестких отливок она составляет 9—12 мес, а для жестких — 6 мес.

На рис. IX.15 в относительных величинах представлена зона возможного изменения коробления любых отливок из СЧ в течение года. За 100% во всех случаях принято их коробление через 12 мес вылеживания. Как следует из данных (см. рис. IX.15), коробление за первые 3 мес вылеживания составляет примерно 70% от всего коробления в течение года. Поэтому первые 3 мес вылеживания при естественном старении имеют решающее значение для стабилизации размеров отливки. Можно констатировать, что как самостоятельный метод стабилизации отливок естественное старение нерационально из-за большой продолжительности, но оно целесообразно как дополнительный метод стабилизации. Так, даже вылеживание в течение 0,5—1 мес после статической или динамической перегрузки, а также после отжига или термоудара значительно повышает стабильность размеров отливок.

6. ИСПРАВЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ В ЧУГУННЫХ ОТЛИВКАХ

Устранение дефектов в чугунных отливках производится главным образом сваркой (заваркой), иногда пайкосваркой, пайкой, пропиткой и замазкой. Свариваемость зависит не только от свойств свариваемого металла (химического состава, структуры и т. д.), но и от способа и режимов сварки, состава присадочных материалов, флюсов и других параметров. Чугун является трудносвариваемым сплавом [1, 27] вследствие образования в шве и околошовной зоне хрупких и труднообрабатываемых структур отбела и закалки, повышенной склонности к образованию трещин и склонности к порообразованию. Затруднения особенно резко возрастают при так называемых холодных способах сварки. При горячей сварке (предварительный подогрев отливок), а также при низкотемпературных процессах (пайка, пайкосварка) образование указанных дефектов менее вероятно и обычно полностью исключается. Мероприятия для борьбы с дефектами при сварке необходимы в тем большей степени, чем ниже прочность и пластичность чугуна, в частности при заварке БЧ, а следовательно, и КЧ до отжига. Наиболее благоприятными являются чугуны с мелкозернистым перлитом и мелким графитом и, в частности, чугуны, легированные Ni, Ti и Mn [7].

Способы сварки

Способы сварки, приведенные на схеме IX.2, отличаются между собой технологическими признаками и свойствами получаемого наплавленного металла [11, 23, 26]. При выборе способа необходимо учесть тип чугуна, конструктивные особенности деталей, назначение поверхностей, на которых производят сварку, стадии механической обработки, на которых выявляется дефект, его размер и расположение. При расположении дефектов на необрабатываемых поверхностях отливок выбор способа сварки упрощается, так как часто перед сварщиками стоит задача только декоративного исправления. Однако устранение дефектов на стенках отливок, испытывающих значительные динамические нагрузки или

**СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА, ПОДВЕРГАЮЩЕГОСЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ
ПРИ ИСПРАВЛЕНИИ ЛИТЕЙНЫХ ДЕФЕКТОВ И РЕМОНТЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЧУГУНА**



**Рекомендуемые способы сварки для устранения дефектов отливок
из серого чугуна массой до 10 т**

Дефект	Места отливок, подвергаемые сварке		
	Поверхности, подвергающиеся износу при трении скольже- ния и качения	Неразъемные соединения	
		Слабо нагруженные	Сильно нагруженные
Раковины			
Сквозные диаметром, мм:			
свыше 100	3	3	3
30—100	1; 3	8; (7—8)	1; 3
до 30	2; 11	8; (8—15)	2; 11
Несквозные диаме- тром, мм:			
свыше 100	3	3	3
30—100	1; 3; 4; 11	8	4; 11
20—30	2; 4; 11; 14	8; 14; 15; 16	2; 12; 14; 15
Трещины, спай, ужимины			
Сквозные протяжен- ностью, мм:			
до 500	1; 3; (3—7)	8; (7—8)	1; 3; (3—7)
» 200	6; 3; 10	8; (7—8)	1; 3; 10
Несквозные протя- женностью, мм:			
до 500	1; 3; 4; (3—7)	8; (7—8)	3; 4; (3—7)
» 200	4; 11	8; 15; 16	4; 11; 15
Газовая и усадочная пори- стость			
Единичные, разбро- санные поры и мел- кие раковины с об- щим диаметром, мм:			
до 10	11; 12; 14; 15	8; 9; 10; 12; 14; 15	14; 15; 16
10—50	3; 4; 11; 15	8; 14; 15	8; 11; 12; 14; 15
Скопление пористо- сти (сыпь), которая при разделке уда- ляется до здоро- вого металла, с об- щим диаметром, мм:			
50—200	1; 3	1; 3; 8	1; 3; 8
Недолив, вылом и т. д. объемом, см³:			
до 50	2; 3	2; 9; 11; 14; 15	2; 11; 12; 14; 15
50—300	1; 3; 4; 11	1; 3; 4	1; 3; 4
свыше 300	3	3	3

П р и м е ч а н и я:

1. Методы сварки обозначены цифрами в соответствии со схемой IX.2.
2. В скобках указаны комбинированные методы сварки: например, при обозначении (7—8) подразумевают, что нижняя (необрабатываемая) часть дефекта наплавляется медножелезными электродами, а затем на этот слой в зоне механической обработки наплавляют монель-металл.
3. При ремонтных работах применяются все перечисленные в таблице методы сварки; однако область их применения расширяется, так как товарный вид сварного соединения (например, его цвет) не играет решающей роли.

работающих под давлением, требует выбора способа сварки, обеспечивающего плотность и прочность сварного соединения. Эти требования, как правило, удовлетворяются при использовании горячей и холодной *электросварки* (см. схему IX.2 и табл. IX.5). В ряде случаев целесообразно использовать способ сварки с установкой шпилек или ввертышей [7], заключающийся в том, что в соответствии с нагрузками, действующими в данном узле детали, выбирается соответствующее количество шпилек, вворачиваемых в тело отливки. Шпильки привариваются

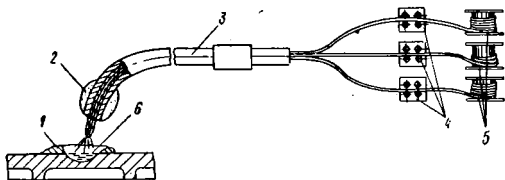


Рис. IX.16. Сварка одновременно тремя порошковыми проволоками:

1 — огнеупорная масса; 2 — защитное покрытие; 3 — сварочная горелка (держатель); 4 — подающие механизмы; 5 — бунты проволоки; 6 — сварочная ванна.

к основному металлу и свариваются между собой, обеспечивая плотность и прочность.

Методы ручной и механизированной горячей электросварки отличаются высокой производительностью. Облегчение условий труда и улучшение качества сварки достигается при использовании полуавтоматической сварки порошковой проволокой. При заварке крупных дефектов используется сварка тремя проволоками (рис. IX.16). Повышение производительности при заварке мелких де-

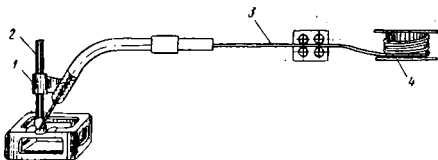


Рис. IX.17. Сварка с использованием керамических стержней:

1 — направляющая втулка; 2 — керамический стержень; 3 — сварочная проволока; 4 — подающий механизм

фектов достигается применением механизированной электродуговой сварки с использованием керамических стержней (рис. IX.17). Способ основан на совместной подаче в дуговой промежуток сварочной проволоки и керамического стержня, выполняющего роль электродного покрытия. Использовать этот метод можно лишь при наплавке небольшого (до 50 мм³) объема из-за значительного количества шлака.

В большинстве случаев сварное соединение должно иметь структуру и свойства, аналогичные основному металлу. Методы электродуговой сварки чугуна с применением электродов из стали или нежелезных сплавов используют в тех случаях, когда должны быть обеспечены обрабатываемость сварного соединения и плотность наплавки, а условия эксплуатации допускают разнородность

Рекомендации по проведению горячей сварки чугуна

Характеристика дефекта	Метод нагрева и нагревательное устройство	Температура предварительного нагрева, °C	Методы регулирования скорости охлаждения сварного соединения
Дефекты небольшого размера в нежестком контуре (бобышки, пластики, выступающие части отливок и пр.)	Местный нагрев сварочной горелкой Местный нагрев переносной газовой горелкой производительностью 5—10 м³/ч	300—400	Обогрев пламенем горелки, постепенно отдаляющейся от сварного соединения в течение 1—2 мин
Дефекты значительного размера в нежестком контуре	Местный нагрев переносной газовой горелкой Местный нагрев в газовом горне	450—600	Нагрев до 600—700° C, выдержка при этой температуре 1—2 ч. Медленное охлаждение в песке под асбестом или в горне
Небольшие и крупные дефекты в жестком контуре. Дефекты в отливках с массивными узлами, способствующими быстрому теплоотводу	Местный нагрев в газовом горне Общий нагрев в печи с выкатным подом или ямной печи	600—700	Нагрев до 700° C, выдержка при этой температуре 1—2 ч и охлаждение вместе с печью

Присадочные материалы для дуговой сварки СЧ

№ п/п	Номер пособия по схеме IX.2	Присадочный материал	Разработчик	ТУ	Марка	Примерный химический состав наплавляемого металла	Механические свойства наплавляемого металла	
							НВ	σ_B , кгс/мм ²
1	3	Порошковая проволока	Завод Станколит	СВ-13—71	СТЧ-6	3,2—3,6% C; 2,0—2,5% Si; 0,7% Al	180—220	21—28
2	3	То же	ИЭС им. Патона	48—68	ППАНЧ-2	3,5—4,5% C; 3,0—3,8% Si; 0,2—0,5% Ti; 0,3—0,6% Al	170—220	18—21
3	1	Чугунный электрод	Завод Станколит	СВ-15—71	СТЧ-4	3,0—3,5% C; 3,0—3,8% Si	170—200	18—20
4	2	Стальной электрод с графитизирующим покрытием	ЦНИИТмаш	—	ЦЧ-5	3,0—3,3% C; 5,0—5,5% Si; 0,04—0,05% S; 0,7% Al	170—240	25—28
5	4	Керамический стержень (в сочетании с малоуглеродистой проволокой)	»	—	ЦСКЧ-3	2,9—3,2% C; 3,8—5,0% Si; 0,6—0,9% Al	160—220	21—28
6	4	То же (в сочетании с порошковой проволокой СТЧ-6)	»	—	ЦСКЧ-3	3,3—3,5% C; 3,5—4,5% Si; 0,02—0,03% S; 0,8—1% Al	160—200	21—28

№ п/п	Номер спос- оба по сте- пе IX.2	Присадочный материал	Разработчик	ТУ	Марка	Примерный химический состав напла- вленного металла	Механические свойства напла- вленного металла	
							НВ	$\sigma_{\text{в}}$, кгс/мм ²
7	7	Электрод на медной основе	Завод Станко- лит	СВ-15-71	СТЧ-3	90-95% Cu; остальное Fe	160- 180	18-25
8	7	То же	ВНИИлитмаш	ЧМТУ 14-4-88-72	ОЗЧ-2	90-95% Cu; остальное Fe	120- 180	16-20
9	8	Электрод из монель- металла	„	ЧМТУ 14-4-674-76	МНЧ-2	65-70% Ni; 25-30% Cu;	120- 150	15-21
10	8	То же	Завод Станко- лит	—	СТЧ-2	65-70% Ni; 25-30% Cu	120- 150	15-21
11	8	Электрод на основе никеля	ВНИИлитмаш	ЧМТУ 14-4-452-73	ОЗЧ-4	95-98% Ni; остальное Fe	175- 190	23-33
12	8	Электрод на железо- никелевой основе	„	ЧМТУ 14-4-318-73	ОЗЖН-1	50% Ni; 50% Fe	170	43-53
13	9	Электрод из высоколе- гированной стали	ЦНИИТмаш	—	ЦЧ-4	Сталь 10- 12% V	160- 190	49-52
14	10	Самозащитная прово- лока на основе никеля для механизированной сварки	ИЭС им. Патона	48-21/оп-100-76	ПАНЧ-11	90-97% Ni; остальное Fe	150- 170	42-48

Примечание.

В пп. 1-6 содержание остальных элементов в наплавленном металле лежит в пределах, обычных для СЧ.

Состав чугуновых присадочных прутков для газовой сварки и пайкосварки

Назначение прутка	ГОСТ или ТУ	Марка	Массовая доля элементов, %										Номер способа по схеме IX.2
			C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Ti	Cu	Sn	
Для сварки с высоким предварительным подогревом и последующей ТО	2671—70	А	3,0— 3,5	3,0— 3,4	0,5— 0,8	0,08	0,2— 0,4	0,05	0,3	—	—	—	11
То же и при наплавке больших объемов металла в толстостенных отливках для обеспечения ферритной структуры наплавленного металла	2671—70	Б	3,0— 3,5	3,5— 4,0	0,5— 0,8	0,08	0,3— 0,5	0,05	0,3	—	—	—	11
Для горячей сварки и пайкосварки любых изделий из СЧ для обеспечения перлитной структуры наплавленного металла	ТУ завода Станколит	СТЧ-5а	3,3— 3,5	3,4— 3,7	0,5— 0,7	0,04	0,15	0,10	0,10	0,10	—	0,3— 0,5	11; 12
		СТЧ-5б	3,3— 3,5	3,4— 3,7	0,5— 0,7	0,04	0,15	0,10	0,4— 0,6	0,10	2,0— 2,5	—	11; 12
Для пайкосварки с применением флюса МАФ-1	ТУ ВНИИ- автогенмаш	УНЧ-2	3,4— 3,7	3,5— 3,8	0,6— 0,7	0,05	0,2— 0,4	0,10	0,4— 0,6	0,10	0,10	—	12

Пр и м е ч а н и е:
Технология изготовления присадочных прутков и составы различных флюсов для газовой сварки, основу которых составляет бура, даются в работе [1].

**Присадочные материалы на основе цветных металлов
для пайкосварки и пайки чугуна**

Номер спос- оба по схе- ме IX.2	Марка	ГОСТ или ТУ	Температура плавления, °C	Рабочая тем- пература (t поверхности дефекта), °C	Механические свойства	
					σ_B кгс/мм ²	НВ
14	Л63	16130—72	910	750—950	24	100
14	ЛОК59-1-03	16130—72	905	750—850	24	100
14	ЛОМНА 49-05	ТУ ЦМО	835	650—750	30	170—200
15	НПЧ-1 (сплав для газопорошко- вой наплавки)	ТУ 48-19-40—73	1150	900—950	20—25	190—220
15	НПЧ-2 (сплав для газопорошко- вой наплавки)	ТУ 48-19-40—73	1050	850—900	18—25	290—360
17	ПОС-30; ПОС-40 и т. д.	—	300	—	5—8	—
16	Сплав Ц	ТУ ВНИИ- автогенмаш	530	300—350	До 15	—

Примечание.
Состав припоев, флюсов и технология их применения изложены в работе [1].

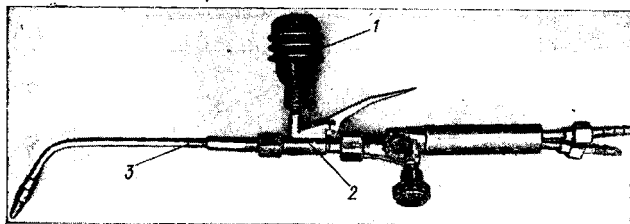


Рис. IX.18. Горелка газопорошковой наплавки:

1 — бункер для порошка; **2** — смесительный узел с двойной инжекцией; **3** — наконечник

наплавленного и основного металлов и разницу в цвете. В основном электросварка производится без общего нагрева отливок; лишь в отдельных случаях применяется местный подогрев (табл. IX.6) на участке заварки. Соответствующие сварочные (присадочные) материалы приведены в табл. IX.7. Используемые для этой цели медноуглеродистые, медноникелевые, железоникелевые электроды и электроды ЦЧ-4 обеспечивают получение прочного вязкого шва и используются при исправлении дефектов различного вида.

Пайкосварка представляет собой газопламенную обработку, при которой расплавлению подвергается присадочный пруток, а основной металл не расплавляется.

Газопламенная сварка имеет преимущества перед дуговой в том отношении, что между нагревом основного металла отливки или сварочной ванны и плавлением присадочного материала нет прямой связи. Это позволяет расплавлять или просто нагревать основной металл и обеспечивать термический режим в процессе сварки, а также в период охлаждения сварного соединения.

Горячая газовая сварка с чугунной присадкой допускает нагрев отливки до 300—350° С, т. е. более низкий, чем при дуговых процессах. Особую роль играет качество чугунных присадочных прутков и флюсов (табл. IX.8).

Способы горячей и холодной газовой сварки мало пригодны при исправлении дефектов, обнаруженных после механической обработки. В этом случае наиболее рационально использование методов пайкосварки, связанных с минимальным тепловложением в изделие. Применяемые присадочные материалы представлены в табл. IX.9. При исправлении дефектов на поверхностях, подвергнутых чистовой механической обработке, целесообразно использовать способ газопорошковой наплавки, осуществляемой специальной горелкой с двойной инъекцией (рис. IX.18). Разработаны порошкообразные сплавы на никелевой основе, обладающие самофлюсующими свойствами и имеющие относительно низкую температуру плавления и цвет, близкий к цвету чугуна.

Технологический процесс сварки и применяемое оборудование

После выбора оптимального метода (см. табл. IX.5) технологический процесс сварки складывается из следующих операций: подготовка дефектного места к сварке; осуществление нагрева при горячих способах сварки; проведение самого процесса сварки*.

Подготовка дефектного места к сварке заключается в удалении неметаллических включений или рыхлот из здорового металла; однако в зависимости от метода сварки предварительная обработка имеет ряд специфических особенностей.

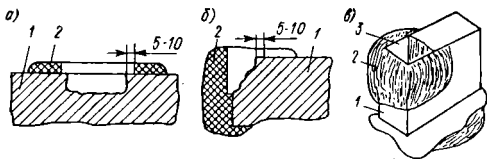


Рис. IX.19. Формовка для горячей сварки: а — несквозной дефект; б — угловой дефект; в — общий вид формы вокруг углового дефекта;

1 — отливка; 2 — формовочная масса; 3 — отглаженная внутренняя поверхность формы

Разделка дефектов может осуществляться вырубкой пневматическим зубилом, сверлением, фрезерованием, воздушнодуговой резкой.

Подготовка к горячей электродуговой сварке [11, 23] производится после разделки. Вокруг дефектного места создается форма из огнеупорного материала следующего состава: 40% огнеупорной глины; 40% кварцевого песка; 20% серебристого графита. Смесь замешивается на воде до состояния крутого теста. Часто при расположении дефекта на краях отливки перед изготовлением формы к отливке приваривается каркас из проволоки диаметром 5—6 мм. Внутренняя

* При выполнении сварочных работ необходимо руководствоваться требованиями «Правил техники безопасности и производственной санитарии при производстве ацетилена, кислорода и газопламенной обработке металлов», «Правил безопасности в газовом хозяйстве» и «Правил техники безопасности и производственной санитарии при электросварочных работах»

часть формы отглаживается гладилкой, после чего стенки формы укрепляются металлическими шпильками (рис. IX.19). При исправлении сквозных дефектов каркас приваривается с нижней стороны дефектной стенки отливки. При разделке дефектов воздушнодуговой резкой стенка формы должна отстоять от края дефекта на 5—10 мм дальше, чем при разделке механическим способом, так как при воздушнодуговой резке на поверхности дефекта возможно возникновение мелких трещин.

Подготовка к холодной электросварке [7, 23, 26] заключается в вырубке или высверливании порознь дефектов, расположенных друг от друга на расстоянии не менее 20 мм; при более близком расположении производится сплошная вырубка пораженного участка. При глубине дефекта свыше 5—7 мм производится вырубка фаски с углом раскрытия $70-80^\circ$. В местах, доступных для сварки с двух сторон, при толщине стенки более 15 мм производится х-образная разделка кромок. Трещины, концы которых не выходят за пределы плоскости, засверливаются; а затем вырубается или вырезаются воздушнодуговой резкой. Концы несквозной трещины засверли-

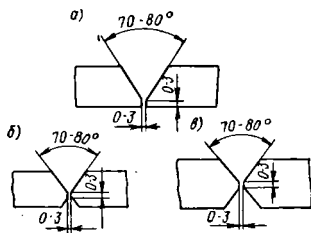


Рис. IX.20. Разделка фасок: а — односторонняя; б — при толщине стенки до 20 мм; в — при толщине стенок свыше 20 мм

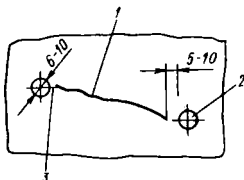


Рис. IX.21. Схема подготовки трещины к сварке:

1 — трещина; 2 — ограничительные отверстия; 3 — перемычка

ваются на глубину 2—4 мм, а концы сквозной трещины — на всю глубину сверлом диаметром 6—10 мм (рис. IX.20 и IX.21). При ремонтной сварке рекомендуется выплавка трещины электродом или воздушнодуговой резкой.

Разделка краевых дефектов осуществляется таким образом (рис. IX.22), чтобы предупредить сколы при механической обработке. Отбитые части отливок восстанавливают присоединением вставок, вырезанных из листовой стали, или отливок по моделям.

Подготовка к газовой сварке [1] производится механическим способом (вырубкой, фрезерованием и т. п.). При разделке следует избегать острых углов. Очень тщательное удаление всех неметаллических включений требуется только при исправлении дефектов на уже обработанных поверхностях отливок. В других случаях дополнительная очистка поверхности дефекта осуществляется во время сварки с помощью офлюсования и выплеска. При ремонтной сварке рекомендуется разделка дефекта преимущественно пламенем горелки с выплеском.

Подготовка под пайкосварку осуществляется только механическим способом. При разделке не допускаются острые углы, а засверловка осуществляется закругленным сверлом. Перед началом процесса поверхность разделанного дефекта обезжиривается уайт-спиритом или ацетоном.

Метод нагрева при горячей сварке, необходимая температура нагрева и метод регулирования скорости охлаждения сварного соединения и отливки в целом назначают в соответствии с табл. IX.6.

Технология проведения самого процесса сварки зависит от применяемого способа (горячая или холодная, электродуговая, газовая сварка, пайкосварка или пайка).

Горячая электродуговая сварка [11, 14, 23, 27] характеризуется необходимостью поддержания наплавленного металла в жидком состоянии до окончания сварки (ванная сварка), что обуславливает необходимость в предварительной формовке завариваемого места. В начальный момент сварки жидкий металл с поверхности дефекта удаляется выплеском. Этой операцией достигаются введение дополнительной теплоты в отливку и очистка поверхности дефекта. Для повышения производительности и уменьшения перегрева в сварочную ванну добавляются куски электродного лома или специально отлитых прутков, которые полностью расплавляются во время сварки. После окончания сварки отливка должна быть погружена в нагревательное устройство для проведения ТО, причем время между окончанием сварки и началом ТО не должно превышать 10 мин. При сварке с использованием керамических стержней важным является обеспечение равномерного плавления стержня.

Газовая сварка [1, 7] осуществляется с одновременной очисткой пламенем горелки и присадочным прутом поверхности дефекта. Важнейшей особенностью технологического процесса является замедление охлаждения сварного соединения в температурном интервале перлитных превращений, что достигается постепенным отводом пламени горелки от поверхности металла (1—2 мин). Последующая ТО обязательна только для массивных отливок или для отливок очень сложной конфигурации (например, корпус блока двигателя внутреннего сгорания).

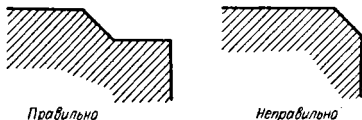


Рис. IX.22. Схема подготовки углового дефекта к заварке

Холодная электросварка [23, 25, 26] характеризуется различным химическим составом и структурой наплавленного металла по сравнению с основным и наличием в зоне термического влияния твердых структурных составляющих. Основным требованием при холодной сварке любым типом электродов является обеспечение минимального проплавления, так как при этом уменьшается зона термического влияния и снижается опасность возникновения внутренних напряжений. Этим целям отвечают также общие технологические приемы: сварка короткими участками, «вразбежку» и обратноступенчатым методом. Высокая плотность сварных соединений, а также устранение внутренних напряжений достигаются проковкой сварных швов после сварки. Для обеспечения плотности при сварке стенок различных резервуаров проковку производят пневматическим молотком, во всех остальных случаях — ручным способом.

Пайкосварка и пайка [1] характеризуется тем, что процесс происходит вообще без расплавления основного металла. От вида присадки зависит и температура нагрева поверхности дефекта, а следовательно, и нагрев самой детали. При перегреве возможны образование внутренних напряжений и изменение первоначальной структуры основного металла.

Местный нагрев отливок до и после сварочных операций [1, 11, 14] производят с применением горелок, паяльных ламп, индукционных электронагревателей, горнов, работающих на коксе. Экономичен и удобен местный нагрев переносными горелками, например инжекционными горелками ИГК-15, ИГК-25 и др., работающими на смеси природного газа с воздухом. Горелку закрепляют в специальном штативе и устанавливают на расстоянии не менее чем 150 мм от нагреваемой поверхности.

Особое место среди средств нагрева занимает индукционный нагрев током промышленной частоты, используемый в механических цехах, в которых нет мощной вытяжной вентиляции, позволяющей применять более дешевые средства нагрева. Принципиальная схема индукционной установки приведена на рис. IX.23. Профиль индуктора должен соответствовать конфигурации детали, а сам индуктор — отстоять от ее поверхности на расстоянии 2—3 мм. Иногда индуктор получает питание от реконструированного сварочного трансформатора.

Общий нагрев и последующую ТО заваренных деталей производят в горнах и печах различного типа. Наиболее универсальным устройством является газовый горн. Газовые горны удобны в эксплуатации, особенно горны, оборудованные панельными горелками типа ГБП [14]. Газовоздушная смесь в них сжигается в многочисленных керамических туннелях, расположенных равномерно по всей развитой поверхности горелки. Детали можно сваривать после снятия их с горна, а также на горне при выключенных горелках. Этот метод рекомендуется при допустимости местного нагрева.

Для общего равномерного нагрева, применяемого при исправлении дефектов, расположенных в жестком контуре, при большой толщине стенок (более 70 мм) и необходимости сохранения геометрических размеров деталей используют печи различных типов: камерные, с выдвижным подом, конвейерные двухкамерные и т. д. Чаще применяют более экономичные газовые печи и реже — с электронагревом.

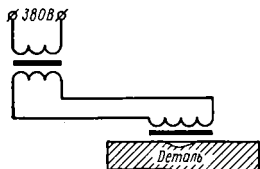


Рис. 1X.23. Принципиальная схема индукционной установки

Конвейерные двухкамерные печи обычно используют в массовом производстве на заводах автомобильной промышленности и транспортного машиностроения на участках исправления дефектов чугунных отливок, а также на ремонтных заводах. Отливки перед сваркой загружают в первую камеру на специальные поддоны, закатываемые в печь по рольгангу. Поддон передвигается с помощью гидравлического толкателя. Сварщик на рабочем месте нажатием кнопки приводит в действие механизм, поднимающий заслонку и выдвигающий из печи поддон с нагретыми отливками. Во второй

камере детали подвергаются отжигу с замедленным охлаждением или только медленному охлаждению после сварки. Среднегабаритные детали массой до 5—8 т нагреваются в печах с выдвижным подом. При этом с пода печи снимают горячие детали, что является трудоемкой операцией.

Перспективными средствами нагрева крупногабаритных деталей являются ямные печи, обогреваемые газовыми горелками. В них после нагрева отливок до заданной температуры подогревающие горелки отключаются, открывается люк над дефектным местом и производится сварка.

При ремонтной сварке [7] приходится использовать кроме указанных выше средств нагрева различные устройства, имеющиеся в наличии, например коксовые нагреватели, сооружение вокруг завариваемой детали временной кирпичной печи и т. д.

Особенности сварки ВЧШГ [25, 26] связаны с его худшей свариваемостью по сравнению с СЧ, что объясняется его повышенной склонностью к отбеливанию и большей прокаливаемостью. Вместе с тем его пластичность, особенно после ТО, вполне достаточна для сварки отливок из ВЧШГ между собой или со сталью, а литейные дефекты в отливках можно успешно исправлять заваркой. При этом для сварки можно применять как газовую сварку, так и дуговую с железоникелевыми и специальными чугунными электродами. Цилиндрические детали из ВЧШГ можно сваривать между собой посредством стыковой электросварки.

При газовой сварке с применением присадочных прутков * из ВЧШГ и с высоким содержанием остаточного Mg (до 0,14%) в чугуне сварного шва получается ШГ, и чугун сварного шва, по данным Н. И. Клочиева, имеет высокие механические свойства (табл. 1X.10).

Горячая газовая сварка ВЧШГ требует предварительного нагрева до 700—750° С и охлаждения после сварки со скоростью не более 75° С в час. При таком режиме не требуется последующей ТО заваренной детали. Если нагрев детали не превышает 600° С и скорость охлаждения не более 100° С в час, то для получе-

* Состав присадочных стержней: 3,0—3,8% С; 2,7—4,0% Si; 0,45% Mn; до 0,07% Р; до 0,05% Cr; до 0,03% S; до 0,5% Ni; 0,07—0,14 Mg.

Свойства сварного шва при применении присадочных прутков из ВЧШГ

Вид ТО	Механические свойства							
	Наплавленный металл				Сварные соединения		Наплавленный металл	Переходная зона
	σ_B , кгс/мм ² (10 ⁷ Па)	$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ² (10 ⁵ Па)	δ , %	σ_H , кгс·м/см ² (10 Дж/см ²)	σ_B , кгс/мм ² (10 ⁷ Па)	σ_H , кгс·м/см ² (10 Дж/см ²)		
Без ТО	62,5	59,8	0,5	2,7	57,9	2,9	214	265
Отпуск при 550°С	67,1	55,7	2,0	3,0	63,3	2,6	217	265
Нормализация	61,1	45,9	2,6	5,0	56,0	3,2	191	236
Отжиг	43,7	35,1	11,9	7,9	42,8	5,2	168	148

ния нужных прочностных свойств и твердости необходим отжиг с выдержкой при $t = 950^\circ\text{C}$ в течение 3 ч и охлаждением вместе с печью.

Флюсы применяются те же, что и при сварке СЧ. В последнее время разработаны составы присадочных прутков, модифицированных не Mg, а лигатурами, содержащими Y.

Электродуговая сварка ВЧШГ применяется как до, так и после ТО и осуществляется электродами из прутков, модифицированных Y, со шлакообразующим покрытием. Институтом электросварки им. Е. О. Патона разработана порошковая проволока для механизированной сварки марки ППАНЧ-5. Сварка производится с предварительным подогревом до $500\text{--}700^\circ\text{C}$ и последующим отжигом при $850\text{--}900^\circ\text{C}$ с выдержкой при этой температуре 1,5—2 ч. Возможна также электродуговая сварка железоникелевыми электродами с содержанием 50—60% Ni и с применением покрытия, состоящего из 35% доломита, 25% плавикового шпата, 10% черного графита и 30% ФС75, подкалка и отбеливание в околошовной зоне в сравнении со сваркой стальными электродами значительно снижаются; а при подогреве свариваемых деталей до $300\text{--}500^\circ\text{C}$ устраняется появление трещин. При такой сварке к сварному шву, состоящему из железоникелевого сплава, примыкает слой твердых карбидов, образующихся вследствие большой скорости охлаждения наплавленного металла. За слоем карбидов располагаются П и Fe, и по мере удаления от шва количество Fe увеличивается. После отжига при 900°C сетка карбидов исчезает, и чугун приобретает ферритную структуру. Прочность чугуна при этом уменьшается незначительно: σ_B основного металла с 44 кгс/мм^2 ($44 \cdot 10^7\text{ Па}$) уменьшается до $42,5\text{ кгс/мм}^2$ ($42,5 \times 10^7\text{ Па}$); $\sigma_{0,2}$ — с $33,6\text{ кгс/мм}^2$ ($33,6 \cdot 10^7\text{ Па}$) до $30,9\text{ кгс/мм}^2$ ($30,9 \cdot 10^7\text{ Па}$) и δ — с 20 до 10%. Отожженные образцы разрушаются вне зоны сварки.

Наряду с присадочными материалами на основе Ni при сварке ВЧШГ без подогрева применяются электроды марки ЦЧ-4, которые в своем составе не содержат ни Cu, ни Ni. Прочность сварных соединений при этом аналогична прочности основного металла. Присадочные электроды изготавливаются из обычной сварочной проволоки Св-08 с легирующим покрытием. Сварка производится на постоянном токе при прямой полярности или на переменном токе. Электроды ЦЧ-4 обеспечивают хорошую обрабатываемость сварных швов.

Сравнительно небольшие литейные дефекты исправляют электродуговой сваркой железоникелевыми электродами ЦЧ-3 на постоянном токе при обратной полярности. Для электродов применяют стержни диаметром 6 мм следующего состава: 0,15% С; 55—60% Ni; 0,15% Si; 0,1—0,3% Mn; 0,035% S; 0,04% P. На стержни наносят покрытие состава (массовые доли): 35% доломита; 25% плавикового шпата; 10% графита черного; 30% ФС. При этом жидкое натриевое стекло добавляется в покрытие в количестве 30—32% к массе сухой смеси. Отно-

шение массы покрытия к массе стержня составляет 18—22%. Электроды проходят сушку в течение 8—12 ч, а затем прокаливаются при 330—350° С в течение 45 мин. Сварка производится с общим или местным подогревом отливки до 300—350° С. Отливки следует подвергать последующей ТО для снятия напряжений при 600° С.

Сварка КЧ может производиться как до, так и после отжига. Сварка до отжига, т. е. БЧ, осуществляется электродуговым или газовым методом электродами или присадочными прутками из чугуна, близкого по составу основному металлу. При исправлении крупных дефектов или дефектов в отливках сложной конфигурации во избежание трещинообразования применяется предварительный нагрев. При необходимости исправления мелких дефектов может применяться механизированная сварка стальной проволокой в CO_2 , ручная электродуговая сварка электродами типа УОНИ-13 или электродами на основе Ni. Сварка после ТО, как правило, осуществляется холодным методом электродами на основе Ni или способами пайко-сварки [1]*.

Ремонтная сварка [7, 25] производится для восстановления деталей, вышедших из строя в процессе эксплуатации. Сварочные работы при этом разделяются на две группы: однотипные работы, выполняемые ремонтными заводами на специализированных сварочных участках; работы по восстановлению различных чугунных деталей, вышедших из строя вследствие аварийных разрушений.

Ремонтные работы при устранении аварий по способу сварки также можно разделить на две группы: 1) детали массой до 2000 кг, которые могут быть сравнительно легко демонтированы; для них рекомендуются горячие способы сварки, после которых восстановленная деталь обладает полной работоспособностью; 2) детали, местный или общий нагрев которых нежелателен, и часто невозможен их демонтаж; в этих случаях применяются способы холодной сварки. Иногда сварку необходимо выполнять с постановкой стальных шпилек (рис. IX.24), тогда разделка дефекта при толщине тела до 20 мм необязательна. При большей толщине делается фаска под углом 90—120°. При толщине тела до 10 мм диаметр шпилек 6 мм, при толщине до 20 мм — 10 мм, а при большей толщине применяют шпильки диаметром 16 мм. Шпильки устанавливаются в шахматном порядке. Заварку выполняют в следующей последовательности: обваривают шпильки и наплавляют на поверхность чугуна стальное покрытие. Можно эти операции производить электродами ЦЧ-4 или на основе Ni. Сварку ведут с минимально

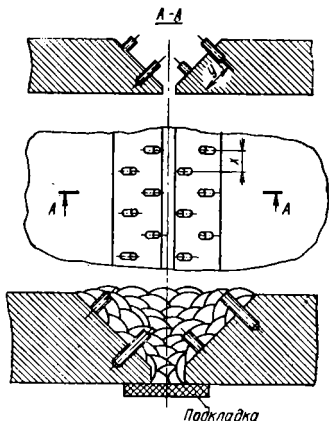


Рис. IX.24. Схема расположения шпилек и заварки разделки ($x = 4d$; $y = 2d$, где d — диаметр шпильки, мм)

ки, после которых восстановленная деталь обладает полной работоспособностью; 2) детали, местный или общий нагрев которых нежелателен, и часто невозможен их демонтаж; в этих случаях применяются способы холодной сварки. Иногда сварку необходимо выполнять с постановкой стальных шпилек (рис. IX.24), тогда разделка дефекта при толщине тела до 20 мм необязательна. При большей толщине делается фаска под углом 90—120°. При толщине тела до 10 мм диаметр шпилек 6 мм, при толщине до 20 мм — 10 мм, а при большей толщине применяют шпильки диаметром 16 мм. Шпильки устанавливаются в шахматном порядке. Заварку выполняют в следующей последовательности: обваривают шпильки и наплавляют на поверхность чугуна стальное покрытие. Можно эти операции производить электродами ЦЧ-4 или на основе Ni. Сварку ведут с минимально

* При выполнении сварочных работ обезуглероженный КЧ (так называемый «белосердечный» или европейский КЧ) пригоден для сварки и пайки любыми методами без предварительной и последующей ТО. В отливках из этого материала при толщине стенки до 8 мм содержание С снижается до 0,3%. В сердцевине при большей толщине стенок коварное содержание С остается более или менее значительным. При открытой дуговой сварке чугуна применяются электроды средней толщины с покрытиями типа TiO_2 или CaO . Дуговая сварка в атмосфере защитного газа позволяет использовать обычные электроды из низколегированных сталей, которые годятся также и для газосварки плавлением. Для отдельных узлов возможно применение стыковой сварки оплавлением.

В отличие от зарубежных в нашей стране белосердечные чугуны больше не применяются, весь КЧ у нас «черносердечный», отжигаемый без обезуглероживания.

возможной глубиной проплавления, участками 40—50 мм с перерывами для охлаждения. После заполнения разделки заваренный участок усиливают приваркой круглых стальных связей.

Следует отметить, что при заварке трещин электродами на основе меди разделку следует производить выплавкой или воздушнодуговой резкой. При газовой сварке рекомендуется разделку производить непосредственно пламенем газовой горелки во время сварки.

Качество сварочных работ в большинстве случаев оценивается после механической обработки (или заточки на необрабатываемых участках), когда визуально могут быть установлены дефекты сварного соединения (подрезы, непровар, пористость, трещины). При обработке ответственных участков отливок дополнительно определяется твердость наплавленного металла и переходной зоны. В отдельных случаях в соответствии с ТУ на изделие проводятся дополнительные испытания сварных соединений, вырезаемых из отливки, или образцов-свидетелей, свариваемых одновременно с изделием.

Сварочное оборудование для электродуговой сварки и газопламенных процессов при устранении литейных дефектов и ремонтной сварке чугуна применяется стандартное. Однако оборудование для горячей сварки отличается некоторыми особенностями, а именно: источники питания имеют повышенную мощность, горелки во многих случаях снабжаются специальным защитным покрытием и водяным охлаждением. Например, для холодной дуговой сварки в качестве источников питания можно рекомендовать выпрямители ВС-300, ВС-600, преобразователи с электроприводом ПСО-300, ПСО-500 и им подобные; а для горячей дуговой сварки — выпрямители марки ВДМ-1601 и т. п.

Полуавтоматическая горячая сварка осуществляется специализированными полуавтоматами марки А-1072с и А-1072 или модернизированными полуавтоматами марки А-765 и А-1197.

При газопламенных методах сварки, пайкосварки и пайки применяются обычные сварочные горелки, мощность которых выбирается в зависимости от толщины свариваемых изделий и от метода исправления. Подробно рекомендации по выбору оборудования для газопламенных методов и описание его устройства даны в работе [1].

Резка чугуна

Резка ВЧШГ (отрезка прибылей и т. п.) производится с помощью обычных газокислородных резаков. Разделительная резка СЧ толщиной до 300 мм осуществляется методом кислородно-флюсовой резки установками типа УРХС или плазменно-дуговым методом. Однако поверхность реза при этом закаливается и не поддается обработке режущим инструментом. Поверхностная резка (строжка) или воздушно-дуговая резка применяется как для удаления различных поверхностных дефектов типа пригаров, так и для вырезки залитых отверстий, а также для частичной замены обрубных операций, особенно при наличии заливов повышенной толщины. Резка осуществляется комплектом специального инструмента РВД-1000 (ГОСТ 10796—74). Источником питания является трансформатор ТДФ-2000. В качестве электродов используются графитовые пластины (15 × 25 × 250 мм), поверхность которых покрыта смесью алюминия с окисью алюминия. Режим резки: сила тока 1100—1300 А; давление сжатого воздуха 4—6 кгс/см² (4—6 · 10⁵ Па); скорость резки 400—700 мм/мин; толщина снимаемого металла за проход — не более 15 мм.

Прочие методы исправления дефектов

Устранение дефектов замазками рекомендуется производить в декоративных целях для отливок, не подвергающихся последующей ТО. Наибольшее применение имеет замазка на основе эпоксидной смолы. Состав ее в массовых долях: 100 эпоксидной смолы ЭД-5 или ЭД-6; 100 железного порошка (наполнителя); 12 полиэтиленполиамины (отвердителя); 20 дибутилфталата (пластификатора). Смолу тщательно перемешивают с дибутилфталатом в течение 5 мин, затем добавляют полиэтиленполиамин и железный порошок и перемешивают 7 мин до получения жидкого теста. Живучесть приготовленной замазки 0,5 ч. Поверхность

дефектного места должна быть обезжиренной и сухой. Скорость затвердевания замазки зависит от температуры отливки. При $t = 10 \div 12^\circ \text{C}$ замазка затвердевает через 20—24 ч, при $t = 18 \div 20^\circ \text{C}$ — через 8—10 ч, при $t = 100^\circ \text{C}$ — через 1 ч. Применяются также замазки на основе карбинолевого сиропа, стирокрила и т. п.

На Воронежском заводе кузнечно-прессового оборудования для заделки раковин и засоров применяется эффективная паста состава (объемные доли, %):

Составляющие	Жидкое стекло	Маршалит	Графит	Порошок марок ПЖМ или ПЖОМ	Шлак феррохромовый
Паста № 1	48	38	—	7	7
Паста № 2	35	50	10	—	5

Для исправления течи в отливках применяется пропитка. Для пропитки, в частности КЧ, применяют смолы или композиции, затвердевающие в порах при полимеризации или реагирующие с металлом и прочно соединяющиеся с ним (например, металл-импрекс и ПН-69) *. Перед пропиткой отливки предварительно механически обрабатывают и помещают в автоклав. Установка для пропитки состоит из автоклава вакуумно-напорного типа и резервуаров для жидкостей.

Для исправления коробления отливок из КЧ, происходящего в процессе отжига, применяют правку.

7. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ОТЛИВОК

Обеспечение высокого качества отливок требует наряду с организационно-техническими мероприятиями широкой и строгой системы контроля как исходных материалов и всего технологического процесса, так и получаемых отливок. Контроль производится в различном объеме в зависимости от конкретных условий и требований. Так, при индивидуальном и мелкосерийном производстве крупных и средних по массе, но сложных по конструкции отливок, а также при освоении массового производства объем, порядок и перечень контрольных операций может существенно расширяться, а при хорошо отлаженном производстве, стабильности качества исходных материалов, непрерывно действующих агрегатах он может быть существенно сокращен введением выборочной проверки и проверки по графикам.

В ряде отраслей, выпускающих форсированные, высокоскоростные, сильно нагруженные машины и отливки для них (ж. д. транспорт, подъемники для людей, авиация, автостроение и т. п.), а также изделия с особыми свойствами (при повышенных и пониженных температурах, немагнитные, с высокой демпфирующей способностью и т. п.), требуется проведение большого комплекса испытаний как свойств материала, так и самих отливок. К настоящему времени разработан поэтому и широко применяется в промышленности ряд методов испытаний и контроля [2, 12, 13, 19, 20, 21, 24], и на некоторые из них установлены ГОСТы (для высококремнистых, коррозионностойких чугунов — ГОСТ 11849—76 и ГОСТ 7769—75, для КЧ — ГОСТ 2055—43, для ВЧШГ — ГОСТ 293—70, для головок цилиндров — ГОСТ 622—71, для гильз цилиндров — ГОСТ 655—73, для втулок цилиндров — ГОСТ 7274—70, для канализационных труб — ГОСТ 6942.0—69, для водопроводных центробежных труб — ГОСТ 9583—75, причем испытание производится от каждой отливки или от каждой партии при запуске в производство, после смены модельной оснастки или по необходимости; кроме того, имеются ГОСТы на отдельные виды контроля: определение прочности — ГОСТ 2055—43, ГОСТ 1497—73; определение твердости — ГОСТ 9012—59, ГОСТ 9013—59; определение микро- и макроструктуры — ГОСТ 3443—57, шероховатости поверхности — ГОСТ 2789—73; контроль размеров и массы — ГОСТ 1855—55; специальные испытания — кратковременных свойств при высоких температурах, коррозионной стойкости, немагнитности — ГОСТ 7769—75 и ГОСТ 11849—76).

* Пропитка может осуществляться выдержкой в горячей воде или в растворах соды, нашатыря, в олифе и т. д. [26].

За последнее десятилетие разработаны также косвенные методы определения механических свойств и микроструктуры, основанные на применении ультразвуковых и электромагнитных колебаний [21]. Эти методы еще не получили широкого распространения, требуют специальной аппаратуры и проведения большого объема предварительных исследований для каждого конкретного материала и условий его получения, но технически и экономически целесообразны при устойчивой номенклатуре сплавов и большом объеме контрольных операций.

Выявление заполненных окислами или включениями поверхностных и подповерхностных дефектов небольших размеров (на глубине до 0,3 мм) осуществляется магнитными методами, а дефектов, имеющих незаполненные полости с выходом на поверхность, — капиллярными методами. Сущность магнитных методов заключается в создании в детали равномерного магнитного поля (приложенного или остаточного) и нанесения на деталь магнитного порошка из суспензии (мокрый способ) или обсыпкой (сухой способ). В местах расположения дефектов (трещин, пористости, шлаковых включений) магнитная проницаемость металла изменяется, и равномерное магнитное поле искажается, что вызывает отложение магнитного порошка на дефектах, расположенных под углом 45—90° к направлению магнитных силовых линий. Для контроля деталей с черной поверхностью следует применять порошок Люмагор 1 или магнитно-люминесцентную пасту МЛП-1. При воздействии ультрафиолетовым источником на отложения таких порошков они начинают светиться, что повышает чувствительность контроля. Для контроля применяются магнитные дефектоскопы УМДЭ-10000 (детали длиной до 1600 мм, а с удлинителем — до 4000 мм) и УМДЭ-2500 (детали длиной до 900 мм). Намагничивание осуществляется или циркулярно (пропусканием тока через деталь) в соленоиде, или обмоткой детали гибким кабелем, причем сила тока выбирается в первом и втором случаях по формулам:

$$I = 0,25H; \quad (IX.16)$$

$$I = 0,25H/\omega, \quad (IX.17)$$

где I — сила тока, А; H — напряженность магнитного поля, Э; ω — число витков кабеля вокруг детали.

Такой режим намагничивания при механически обработанной поверхности с шероховатостью не ниже 6-го класса гарантирует выявление дефектов (табл. IX.11).

Режим А применяется для контроля механически обработанных мест отливок, работающих в тяжелых условиях нагружения (литые коленвалы и т. п.). Для отливок с черной поверхностью (после дробеочистки) рекомендуются режимы Б и В, причем режим Б — для выявления малых дефектов, по размерам сопоставимых с ПГ, а режим В — для выявления более грубых дефектов. Из-за повышенной шероховатости черной поверхности размеры выявляемых дефектов будут несколько больше, чем указано в табл. IX.11. Для деталей сложной конфигурации режимы намагничивания подбираются экспериментальным путем. Для контроля крупногабаритных отливок и деталей могут применяться импульсные дефектоскопы, дающие ток до 25 000 А.

Выявление поверхностных дефектов в отливках и обработанных чугунных деталях небольших размеров и сложной формы в ряде случаев удобнее выполнять капиллярными методами контроля вместо магнитных. Сущность их заключается в заполнении мелких, невидимых вооруженным глазом дефектов, окра-

Таблица IX.11

Выявление дефектов при намагничивании

Режим для контроля в приложенном поле	Н, Э	Размеры дефекта, мм (не менее)	
		Раскрытие	Глубина
А	60	2,5	25
Б	30	10	100
В	20	20	250

шенными или люминесцирующими жидкостями с последующим удалением этих жидкостей с поверхности детали и нанесением проявительного слоя специальной краски или порошка, который экстрагирует оставшуюся в полости дефекта жидкость и вызывает контрастное окрашивание поверхности или ее свечение в ультрафиолетовом свете над дефектами. Чувствительность этих методов аналогична чувствительности магнитных способов. Контроль отливок по шероховатости поверхности грубее 5-го класса затрудняется образованием фона [13].

Внутренние дефекты в отливках выявляются либо методами проникающей

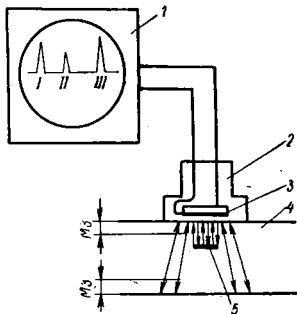


Рис. IX.26. Схема контроля отливок эхометодом прямым щупом:

1 — ультразвуковой дефектоскоп с электронно-лучевой трубкой; 2 — прямой щуп; 3 — пьезокристалл-излучатель; 4 — контролируемый объект; 5 — дефект; I — импульс зондирующий; II — импульс от дефекта; III — импульс от противоположной поверхности (донный импульс); МЗ — «мертвые зоны»

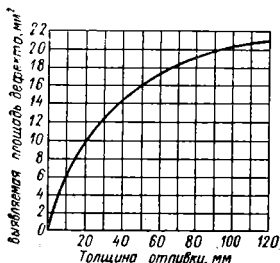


Рис. IX.25. Выявляемость дефектов в виде расслоений и раковин в отливках из серого чугуна в зависимости от толщины стенки изделия при теневом методе прозвучивания на частоте $f = 2$ МГц

радиации, либо акустическими методами. Методы проникающей радиации заключаются в «просвечивании» отливок рентгеновским излучением или гамма-лучами и получении изображения просвечиваемого участка на экране, фотопленке или бумаге. Выпускаемые в настоящее время рентгеновские аппараты ГОСТ 7248—75 и гамма-дефектоскопы ГОСТ 16760—75 и ГОСТ 16761—71 позволяют просвечивать отливки толщиной до 60 мм переносными, до 200 мм — передвижными и до 250 мм — стационарными аппаратами. Большие толщины (250—450 мм) возможно контролировать только при использовании бетатронов в качестве источников излучения с энергией электронов 3—35 МэВ [21].

Акустические методы основаны на применении ультразвуковых колебаний с частотой 0,5—5 МГц и на замере времени прохождения ультразвуком расстояния от одной до другой поверхности отливок. Основные характеристики ультразвуковых колебаний: частота f , длина волны l и скорость распространения в среде v — связаны между собой соотношением $l = v/f$, причем для чугуна связь между f и l выражается следующими данными:

Частота f , МГц	0,25	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0
Длина волны l , мм:						
продольной	14,1	7,2	3,6	1,8	1,2	0,9
поперечной	18,8	9,6	3,6	2,4	1,6	1,2

Глубина проникновения ультразвуковых колебаний в СЧ и КЧ при различных частотах составляет [24]:

Частота, МГц	0,5	1,0	2,25	5,0
Глубина проникновения, м:				
в СЧ	0,3—0,6	0,15—0,3	0,05—0,10	0,05
в КЧ	2,1—3,0	2,1—3,0	0,9—1,2	0,15—0,30

Таким образом, глубина проникновения ультразвука в СЧ невелика. Размер реальных дефектов, которые можно этим методом выявить в СЧ, зависит от толщины стенки отливки, структуры графита, частоты излучения и отражающей способности дефекта. Увеличение частоты, толщины стенки, укрупнение графита существенно затрудняют выявление мелких дефектов (рис. IX.25) [24]. Схемы основных способов ультразвукового контроля показаны на рис. IX.26—IX.28. В их основе лежат два основных способа обнаружения дефектов: эхо-метод — получение отраженного от дефек-

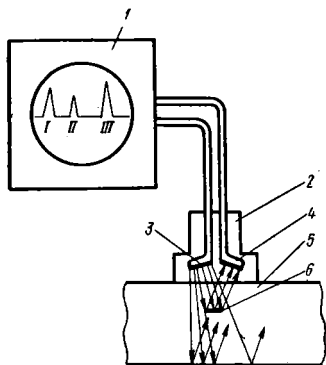


Рис. IX.27. Схема контроля отливок эхометодом раздельно-совмещенным щупом:

1 — ультразвуковой дефектоскоп с электронно-лучевой трубкой; 2 — раздельно-совмещенный щуп; 3 — излучающий элемент; 4 — приемный элемент; 5 — контролируемый объект; 6 — дефект

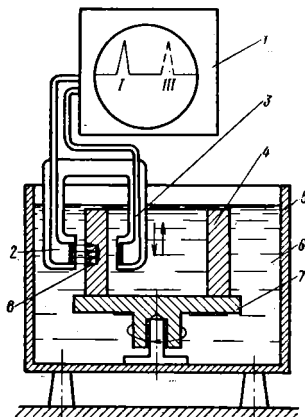


Рис. IX.28. Схема контроля отливок теньвым иммерсионным методом по двухщуповой схеме:

1 — дефектоскоп; 2 — зондирующий щуп; 3 — приемный щуп; 4 — контролируемая деталь; 5 — ванна; 6 — иммерсионная среда (вода, масло); 7 — вращающийся стол; 8 — дефект отливки

та сигнала (рис. IX.26 и IX.27, появление импульсов II и III) и теньвой метод — исчезновение импульса (рис. IX.28, импульс III). Очень важным условием при этом является наличие хорошего акустического контакта щупа с деталью. Это требование обеспечивается обработкой поверхности до шероховатости не грубее 5-го класса, применением акустических сред (минеральных масел, глицерина, воды), а также применением щупов с резиновыми диафрагмами, наполненными жидкостью.

Следует иметь в виду, что при однощуповой схеме (рис. IX.26) у поверхности отливки наблюдаются «мертвые зоны», где дефекты не выявляются в связи со сливанием импульса от дефекта с зондирующим или донным импульсом. При двухщуповой схеме такие зоны существенно уменьшаются. При теньвых методах контроля мертвых зон нет; однако они не дают координат глубины залегания дефектов. При всем этом следует еще учитывать, что ультразвуковым методом можно производить замеры толщин стенок отливок, имеющих односторонний доступ. Для контроля отливок можно рекомендовать дефектоскопы УДМ-3М, ДУК-5В, ДУК-6В, ДУК-8 и толщинометры ТУК-3, ТУК-4В, выпускаемые кишиневским заводом «Электроточприбор».

При назначении методов и объема контроля следует учитывать следующее: выявление усадочных раковин и горячих трещин целесообразно проводить в начале освоения производства на партии отливок, а впоследствии — только на

Неразрушающие методы контроля отливок из магнитных металлов и их сравнительная оценка

Методы неразрушающего контроля	Основные варианты методов неразрушающего контроля	Оценка методов (баллы *) по видам дефектов					
		Рубцы	Поверхностные трещины	Внутренние усадочные трещины	Пористость	Внутренние пустоты	Отклонения по толщине
Методы проникающей радиации	Рентгенография Рентгеноскопия Радиоактивные изотопы	1	2 **	1	1	1	2
		2	—	2	2	2	—
		1	2 **	1	1	1	2
Ультразвуковые методы	Контактный эхо-метод:						
	нормальные лучи	2	—	2	3	3	3
	сдвиговые волны	2	3	2	3	3	—
	поверхностные волны	3	—	—	—	—	—
	Иммерсионный эхо-метод:						
	нормальные лучи	2	—	3	2	1	1
	наклонные лучи	2	3	3	2	1	—
	поверхностные волны	—	3	—	—	—	—
	Метод:						
	теневого	2	—	2	2	1	—
	резонансный	—	—	—	3	3	1
	собственной частоты	—	3	3	—	—	—
Магнитно-пошковые методы	Метод при переменном токе:						
	мокрый	1	1	—	—	—	—
	сухой	1	1	—	—	—	—
	Метод при постоянном токе:						
	мокрый	1	1	3	—	—	—
	сухой	1	1	2	3	3	—

Методы неразрушающего контроля	Основные варианты методов неразрушаю- щего контроля	Оценка методов (баллы *) по видам дефектов					
		Рубцы	Поверхност- ные трещины	Внутренние усадочные трещины	Пористость	Внутренние пустоты	Отклонения по толщине
Электромагнит- ные методы	Метод:						
	вихревых токов	3	2	3	—	—	3
	магнитного по- ля	3	2	3	3	3	2
	определения полей рас- сеивания (феррозондо- вый)	3	2	—	3	—	—
Методы прони- кающих жидкостей	проводимости на постоян- ном токе	—	2	—	—	3	2
	Метод:						
	проникающих красителей	2	1	—	1	—	—
	люминесцент- ных проника- ющих жидко- стей	2	1	—	1 ***	—	—

* 1 — хороший метод; 2 — средний; 3 — плохой (не подходящий).

** Может быть «хорошим», если луч направлен параллельно трещине.

*** Флюороскопия. только для тонких сечений

отливках, имевших отклонения в технологическом процессе их изготовления; контроль труднопредсказуемых дефектов, например подкорковых газовых раковин, вскипов, засоров, следует проводить до полного устранения причин их возникновения на каждой отливке; возможности выявления дефектов у каждого метода ограничиваются физической сущностью, аппаратурой, а также и свойствами металла: так, немагнитные и маломанитные чугуны исключают применение высокочувствительных и производительных магнитных методов; локализованные дефекты (усадочные раковины, скопления пористости, трещин, ориентированные вдоль излучения или перпендикулярно магнитным силовым линиям) не вызывают затруднений в их выявлении; рассеянные дефекты (пористость, мелкие засоры, шлаковые включения, неопределенной ориентации трещины) выявляются с большим трудом; при наличии в отливках зон с различной структурой возможны существенные затруднения в расшифровке показаний ультразвуковых дефектоскопов.

Сравнение эффективности неразрушающих методов контроля отливок представлено в табл. IX.12.

ХАРАКТЕРИСТИКА ЭЛЕМЕНТОВ, ВСТРЕЧАЮЩИХСЯ В ЧУГУНЕ

Элемент	Порядковый номер	Атомная масса	Плотность при 20° С, г/см ³	Температура плавления, °С	Температура кипения, °С	Кристаллическая решетка при 20° С *	Максимальное содержание в чугуне, %
Fe	26	55,847	7,874	1539	3200	ОЦК	98
C	6	12,010	2,3	—	3830	Г	5,5
Al	13	26,97	2,7	660,1	2480	ГЦК	26
As	33	74,91	5,7	616	814	Р	0,5
B	5	10,82	2,3	2150	2550	ГЦК	0,1
Be	4	9,013	1,85	1284	2400	ГПУ	0,1
Bi	83	208,98	9,80	271,3	1560	Г	0,01
Ca	20	40,08	1,53	850	1482	ГЦК	0,01
Ce	58	140,13	6,79	797	3470	ГЦК	0,15
Co	27	58,94	8,71	1495	2900	ГПУ	1
Cr	24	52,01	7,14	1903	2430	ОЦК	30
Cu	29	63,54	8,93	1083	2600	ГЦК	8
Mg	12	24,31	1,74	649	1103	ГПУ	0,5
Mn	25	54,93	7,3	1243	2097	К	35
Mo	42	95,94	9,01	2620	4800	ОЦК	2
Nb	41	92,91	8,58	2468	5127	ОЦК	0,2
Ni	28	58,69	8,96	1453	2900	ГЦК	20
P	15	30,97	1,82	44,1	280	К	1,2
S	16	32,066	2,05	119	444,6	ОР	0,5
Se	34	78,96	4,85	220	695	Г	0,05
Si	14	28,09	2,34	1412	2477	К	20
Sn	50	118,7	7,29	231,9	2270	ТОЦ	0,1
Te	52	127,60	6,25	450	1390	Г	0,1
Ti	22	47,90	4,51	1668	3270	ГПУ	1
V	23	50,95	6,15	1905	3000	ОЦК	12
W	74	183,92	19,3	3380	5900	ОЦК	5
Y	39	88,906	4,47	1502	2630	ГПУ	0,2
Zr	40	91,22	6,4	1852	3600	ГПУ	0,1
H	1	1,008	0,0899 **	—259,1	—252,6	—	0,001
N	7	14,008	1,2506 **	—209,9	—195,8	—	0,25 ***
O	8	16,000	1,4290 **	—218,7	—182,9	—	0,015 ****

* Обозначения кристаллических решеток: К — кубическая; ОЦК — кубическая объемноцентрированная; ГЦК — кубическая гранецентрированная; Г — гексагональная; ГПУ — гексагональная плотноупакованная; ТОЦ — тетрагональная объемноцентрированная; Р — ромбическая; ОР — орторомбическая.

** Плотность газов приведена в г/л.

*** В обычных чугунах до 0,025%.

**** В обычных чугунах до 0,006%.

РАСЧЕТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ И ДАЛЬНЕЙШЕГО ОХЛАЖДЕНИЯ ОТЛИВОК В ФОРМЕ

По видам литья различают тепловые расчеты охлаждения отливок в песчаной форме, в кокиле и в облицованном кокиле. По этапам охлаждения отливок различают отвод теплоты перегрева, затвердевание и охлаждение затвердевшей отливки.

Охлаждение в песчаной форме

Расчет продолжительности отвода теплоты перегрева и затвердевания можно производить упрощенно в предположении, что t на поверхности отливки постоянна и равна $t_{пл}$ и что процесс затвердевания начинается после отвода от данного участка отливки всей теплоты перегрева. В отливках простой конфигурации, не имеющих внутренних полостей, можно рассматривать затвердевание всей отливки в целом; у отливок сложной конфигурации, а также имеющих внутренние полости, приходится отдельно рассматривать затвердевание каждого компактного их участка.

Процесс отвода теплоты перегрева и затвердевания участка отливки зависит от его размера (приведенной толщины), конфигурации (плоская стенка, длинный цилиндр или брус, компактный узел типа шара или куба и т. п.), перегрева залитого металла и теплофизических свойств материала формы.

Для отливок простой конфигурации, имеющих форму плоской стенки, длинного цилиндра или шара, время τ от начала их охлаждения в форме до рассматриваемого момента определяют с помощью кривых рис. 3.1, а. Сначала рассчитывают вспомогательную величину Q_0 , численно равную количеству теплоты, необходимой для нагрева песчаной формы с объемом, равным объему отливки, до $t_{пл}$:

$$Q_0 = W_1 c_2 \gamma_2 \Delta t_{пл}^*, \quad (3.1)$$

где W_1 — объем отливки; c_2 и γ_2 — теплоемкость и плотность материала песчаной формы; $\Delta t_{пл} = t_{пл} - t_0$; t_0 — начальная температура формы.

Общее количество теплоты перегрева определяют по формуле

$$Q = Q_{пер} = W_1 c_1' \gamma_1 (t_{зал} - t_{пл}); \quad (3.2)$$

полное количество теплоты, поглощенное формой к концу затвердевания (теплота перегрева + теплота затвердевания),

$$Q = Q_{пер} + Q_{зат} = W_1 [c_1' \gamma_1 (t_{зал} - t_{пл}) + Q_{пл\gamma_1}]. \quad (3.3)$$

* Индексы у теплофизических величин и критериев подобия здесь и в дальнейшем относятся: 1 — к отливке, 2 — к песчаной форме и к краске, 3 — к кокилю или опоке; в — к окружающему воздуху. штрих сверху (') — к металлу в жидком состоянии.

При затвердевании только части металла объемом $W_2 < W_1$ количество теплоты, поглощенное формой, находят по формуле

$$Q = Q_{\text{пер}} + \frac{W_2}{W_1} Q_{\text{зат}} = W_1 \left[c_1 \gamma_1 (t_{\text{зал}} - t_{\text{пл}}) + \frac{W_2}{W_1} Q_{\text{пл}} \gamma_1 \right]. \quad (3.4)$$

Используя отношение Q/Q_0 , где Q берется из формул (3.2), (3.3) или (3.4) по кривой рис. 3.1, а определяют для отливок данной конфигурации значение критерия Фурье:

$$Fo_2 = \frac{a_2 \tau}{R_{\text{пр1}}^2}, \quad (3.5)$$

где $R_{\text{пр1}}$ — приведенная толщина отливки; a_2 — температуропроводность песчаной формы.

Если критерий Fo_2 определен для отливки плоской стенки, он обозначается $Fo_{2\text{пл}}$, для отливки цилиндра — $Fo_{2\text{ц}}$, а для отливки шара $Fo_{2\text{ш}}$.

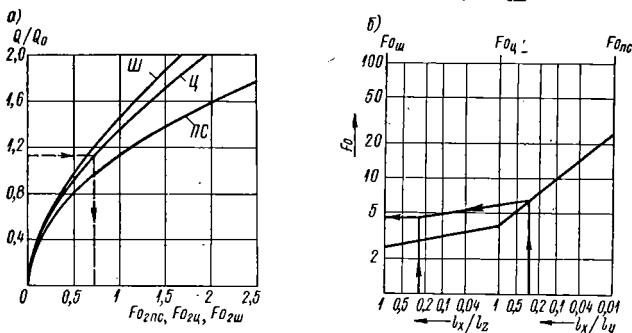


Рис. 3.1. Диаграмма для расчета охлаждения в песчаной форме: а — плоской стенки (ПС), длинного цилиндра (Ц), шара (Ш) при отводе теплоты перегрева и затвердевании; б — отливок произвольной конфигурации

Время τ с начала охлаждения до момента, для которого рассчитана величина Q , определяют по формуле

$$\tau = Fo_2 \frac{R_{\text{пр1}}^2}{a_2}, \quad (3.6)$$

где в зависимости от конфигурации отливки вместо Fo_2 подставляют полученное с помощью кривых рис. 3.1, а значение $Fo_{2\text{пл}}$, $Fo_{2\text{ц}}$ или $Fo_{2\text{ш}}$. Приведенная толщина $R_{\text{пр1}}$ во всех случаях определяется по формуле

$$R_{\text{пр1}} = \frac{W_1}{S_1}, \quad (3.7)$$

где W_1 — объем рассматриваемой отливки или ее части, а S_1 — поверхность их соприкосновения с песчаной формой.

Если отливка или компактная ее часть не могут быть отнесены к плоской стенке, цилиндру или шару, их конфигурация оценивается соотношениями l_x/l_y и l_x/l_z , где l_x — наименьший характерный поперечный размер сплошной части рассматриваемой отливки, l_z — наибольший размер этой части, а l_y — перпендикулярный к ним средний характерный ее размер. Так, у отливки по-

ского цилиндрического диска размер l_x соответствует его толщине, а l_y и l_z — его диаметру; у отливки тонкостенной цилиндрической втулки l_x соответствует толщине стенки втулки, l_y — высоте втулки, а $l_z = \infty$ (вдоль окружности у втулки нет концов); у отливки кольца, имеющего круглое поперечное сечение диаметром d , $l_x = l_y = d$ а $l_z = \infty$.

Теоретически для отливки неограниченной плоской стенки $l_x/l_y = l_x/l_z = 0$, для отливки неограниченного цилиндра $l_x/l_y = 1$ и $l_x/l_z = 0$, а для отливки шара $l_x/l_y = l_x/l_z = 1$. Практически расчет отвода теплоты перегрева и затвердевания для средней части отливок, у которых l_x/l_y и l_x/l_z меньше 0,1, можно производить как для неограниченной плоской стенки, а при $l_x/l_y \approx 1$ и $l_x/l_z < 0,1$ — как для неограниченно длинного цилиндра.

Расчет затвердевания отливки произвольной конфигурации (или ее части) производится следующим образом: сначала рассчитывают отношение Q/Q_0 и с помощью кривых рис. 3.1, а определяют для него значения всех трех критериев Фурье $Fo_{2ПС}$, $Fo_{2Ц}$ и $Fo_{2Ш}$. Полученные значения критериев откладывают соответственно на осях $Fo_{ПС}$, $Fo_{Ц}$ и $Fo_{Ш}$ номограммы рис. 3.1, б и нанесенные точки соединяют прямыми линиями. Затем, используя отношения l_x/l_y и l_x/l_z для рассматриваемой отливки, определяют, как показано на номограмме рис. 3.1, б, искомую величину Fo_3 . При пользовании номограммой рис. 3.1, б необходимо учитывать, что в случаях, когда отношение l_x/l_y или l_x/l_z окажется меньше 0,01, его необходимо принимать равным 0,01. Средние значения теплофизических свойств чугуна и песчаных форм приведены в табл. 3.1. Среднее значение удельной объемной теплоты затвердевания серого чугуна $Q_{пл\gamma_1} = 385\ 000$ ккал/м³, а теплоты перлитного превращения $Q_{п\gamma_1} = 135\ 000$ ккал/м³.

Расчет охлаждения затвердевшей отливки простой конфигурации, не имеющей внутренних полостей, осуществляется следующим образом. Задаваясь температурой отливки, определяют время (τ) ее достижения с начала охлаждения. Прежде всего рассчитывают охлаждение отливок неограниченной плоской стенки, цилиндра и шара, имеющих ту же приведенную толщину $R_{пр1}$, что и

Таблица 3.1

Теплофизические свойства материалов отливок и форм

Параметры	Единица физической величины	Средние значения							
		Чугун		Песчаная форма					
		жидкий	твердый	Песчано-глинистая облиточная смесь	Песчано-глинистая наполнительная смесь	Жидкосте-кошная смесь	ЖСС	Фурановая смесь	Хромо-магнетитовая смесь
λ	$\frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}}$	14	36	0,83	0,64	0,60	0,54	1,06	1,70
$c\gamma$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}}$	1500	1000	440	460	430	360	590	720
a	$\text{м}^2/\text{ч}$	0,0093	0,036	0,0019	0,0014	0,0014	0,0015	0,0018	0,0024
b_T	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{ч}^{1/2}}$	145	190	19	17	16	14	25	35

Примечание.

λ — теплопроводность; c — теплоемкость; γ — плотность; a — температуропроводность; b_T — коэффициент аккумуляции тепла.

рассматриваемая отливка. В качестве примера неограниченной (в тепловом отношении) плоской стенки при охлаждении в песчаной форме затвердевших отливок можно рассматривать центр плиты, у которой l_x/l_y и l_x/l_z меньше 0,01 *.

Расчет выполняют в два этапа — сначала для $t > t_n$, а затем для $t < t_n$. При расчете охлаждения отливки неограниченной плоской стенки для $t > t_n$ сначала по формуле (3.8) определяют величину $D_{зат}$, равную отношению полной теплоты, отданной металлом отливки при его затвердевании, к избыточной теплоте затвердевшей отливки:

$$D_{зат} = \frac{c'_1 (t_{зал} - t_{пл}) + Q_{пл}}{c_1 \Delta t_{пл}}. \quad (3.8)$$

Затем по соответствующей кривой рис. 3.2 определяют для выбранной t отливки комплексный критерий подобия Ko , равный

$$Ko = \frac{Fo_1}{D_{зат}^2 (b_{T1}/b_{T2})^2}, \quad (3.9)$$

где $Fo_1 = a_1^2 \tau / R_{пр}^2$ — критерий Фурье; b_{T1} и b_{T2} — коэффициенты аккумуляции теплоты материалов отливки и формы.

Критерий Fo_1 отличается от критерия Fo_2 тем, что вместо температуропроводности песчаной формы a_2 в нем используется температуропроводность материала отливки a_1 . Приведенная толщина $R_{пр}$ отливки рассчитывается в обоих критериях одинаково. Значение $Fo_{1пс}$ для выбранной t отливки плоской стенки определяют по формуле

$$Fo_{1пс} = Ko D_{зат}^2 (b_{T1}/b_{T2})^2, \quad (3.10)$$

а $Fo_{1ц}$ и $Fo_{1ш}$ для отливок цилиндра и шара определяют по формулам:

$$Fo_{1ц} = \psi_{ц} Fo_{1пс}; \quad (3.11)$$

$$Fo_{1ш} = \psi_{ш} Fo_{1пс}. \quad (3.12)$$

Значения коэффициентов $\psi_{ц}$ и $\psi_{ш}$ приведены на рис. 3.3 в зависимости от отношения b_{T1}/b_{T2} и параметра θ_0 , который связан с t отливки зависимостью

$$\Delta t / \Delta t_{пл} = \theta_0 (1 + D_{зат}), \quad (3.13)$$

где $\Delta t = t - t_0$.

Обычно вместо того, чтобы задаваться t отливки, выбирают одно из значений параметра θ_0 , для которого на рис. 3.3 имеются кривые, и по формуле (3.13) рассчитывают соответствующее значение t отливки. При этом необходимо выбирать значения θ_0 , обеспечивающие выполнение неравенства

$$t_{пл} > t > t_n. \quad (3.14)$$

Выбранной таким образом t отливки должен соответствовать и комплексный критерий Ko , определяемый по кривым рис. 3.2 и применяемый для расчета критерия $Fo_{1пс}$ по формуле (3.10). Используя найденные значения $Fo_{1пс}$, $Fo_{1ц}$ и $Fo_{1ш}$ определяют с помощью номограммы рис. 3.1, б для данной t значение Fo_1 , причем, если значения критериев Фурье окажутся больше приведенных в номограмме рис. 3.1, б, то вертикальные оси номограмм необходимо продлить, откладывая на них величину критериев Фурье в логарифмическом масштабе.

* При таких размерах отливки ускоренное охлаждение ее краев практически не сказывается на охлаждении центра до t порядка 200° С.

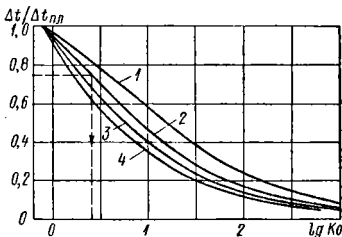


Рис. 3.2. Диаграмма для расчета охлаждения в песчаной форме затвердевшей плоской отливки

1 — $D_{зат} = 0,3$; 2 — $D_{зат} = 0,5$; 3 — $D_{зат} = 0,7$; 4 — $D_{зат} = 1,0$

Искомое τ определяют по формуле

$$\tau = Fo_1 \frac{R_{np1}^2}{a_1}. \quad (3.15)$$

Для $t < t_n$ расчет τ производят таким же образом, но при выборе кривой на рис. 3.2, а также при расчете по формулам (3.10) и (3.13) вместо $D_{зат}$ используют D_n :

$$D_n = \frac{c'_1 (t_{зал} - t_{пл}) + Q_{пл} + Q_n}{c_1 \Delta t_{пл}}. \quad (3.16)$$

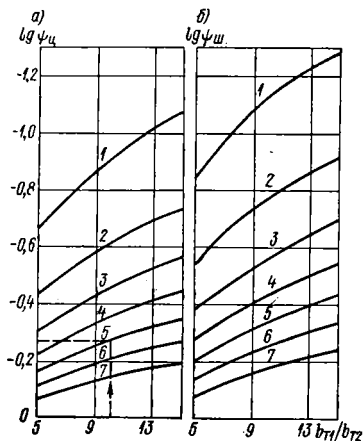


Рис. 3.3. Диаграмма для расчета ψ_c и $\psi_{ш}$ при θ_0 равно:

1 — 0,1; 2 — 0,2; 3 — 0,3; 4 — 0,4; 5 — 0,5; 6 — 0,6; 7 — 0,7

$= \tau/\tau_3$. На рис. 3.4, а приведены две кривые охлаждения разных отливок, а на рис. 3.4, б представлена зависимость относительного времени ψ_i от t для случая, показанного штриховой кривой на рис. 3.4, а, при этом сплошная кривая принята в качестве эталонной. Для эталонной кривой $\psi_i = 1$. Если $\psi_i > 1$, это означает, что рассматриваемая отливка охлаждается до данной t медленнее эталонной отливки. Если $\psi_i < 1$, то отливка охлаждается до данной t быстрее эталонной отливки. Число ψ_i характеризует, во сколько раз быстрее или медленнее охлаждается рассматриваемая отливка до данной t по сравнению с эталонной отливкой.

Приведенные на рис. 3.5, 3.6 и 3.7 графики ψ_i построены с использованием в качестве эталона кривой охлаждения в песчаной форме отливки неограниченной плоской стенки. На рис. 3.4, а сплошная линия соответствует охлаждению эталонной отливки толщиной 20 мм.

Расчет охлаждения эталонной, а также всех остальных отливок выполнен на ЭВМ [3] с учетом изменения теплофизических свойств материалов формы и отливки в зависимости от температуры. Во всех расчетах $t_{зал} = 1200^\circ \text{C}$ и $t_0 = 20^\circ \text{C}$. Форма считалась изготовленной по-сухому из обычной песча-

Соответственно выбирают такие значения параметра θ_0 , чтобы соблюдалось неравенство $t < t_n$.

Расчет охлаждения затвердевших отливок сложной конфигурации необходимо производить на ЭВМ по методике, использованной в работе [3], так как взаимное тепловое влияние соседних участков отливки сильно сказывается на всем процессе ее охлаждения. Однако можно привести некоторые обобщенные данные о влиянии на охлаждение отливок сложной конфигурации различных конструктивных и технологических факторов.

При построении обобщенных графиков удобно пользоваться относительным временем ψ_i для соответствующих t . Для этого рассматривается время τ достижения данной отливкой какой-либо температуры t и время τ_3 достижения той же t отливкой, принятой за эталон. Относительное время достижения рассматриваемой отливкой температуры t при этом будет равно $\psi_i =$

глинистой смеси. Толщина стенок δ всех рассмотренных отливок принималась равной толщине стенки эталонной отливки, и все размеры относились к этой толщине.

Кривые 1 построены для момента конца затвердевания, 2 — для $t = 800^\circ\text{C}$, 3 — для конца перлитного превращения, 4–7 — для t , равной 600, 400, 300 и 200°C . Кривые для конца затвердевания и перлитного превращения — штриховые. Как видно из рис. 3.5, а, середина длинной пластины при ее ширине $l = 10\delta$ затвердевает так же ($\psi_l = 1$), как и у отливки неограниченной плоской стенки (эталона), а для того, чтобы середина пластины охлаждалась как эталон до 600°C , необходимо, чтобы ее ширина была $l \geq 50\delta$.

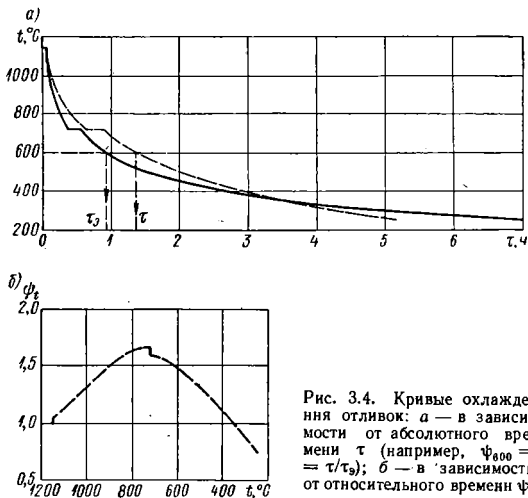


Рис. 3.4. Кривые охлаждения отливок: а — в зависимости от абсолютного времени τ (например, $\psi_{600} = \tau/\tau_0$); б — в зависимости от относительного времени ψ_l

Кривые рис. 3.6 характеризуют особенность охлаждения длинных отливок коробчатой формы с постоянным соотношением размеров $A : B = 2$.

На охлаждении таких отливок сказывается, во-первых, утепляющее влияние песчаного стержня после его прогрева окружающими стенками отливки, а во-вторых, более интенсивная теплоотдача форме от наружной поверхности отливки по сравнению с эталонной неограниченной стенкой. По мере увеличения толщины песчаного стержня и размеров отливки охлаждение ее стенок все больше соответствует охлаждению эталонной отливки. Так, например, при $h_{\text{ст}} = 40\delta$ середина большой стороны отливки (рис. 3.6, а) охлаждается одинаково с эталонной стенкой до 400°C .

Кривые рис. 3.7 характеризуют влияние, которое оказывает на охлаждение плоских стенок отливки толщина песчаной прослойки l между отливкой и опокой при наличии в отливке песчаного стержня толщиной $h_{\text{ст}} = 20\delta$. Толщина стенок опоки принята равной δ . Кривые рис. 3.7, а построены для теплоотдачи от стенок опоки, характеризующейся величиной $\alpha_{\text{в}}\delta = 0,4 \text{ ккал}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot^\circ\text{C})$ [$0,47 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$], а рис. 3.7, б — для $\alpha_{\text{в}}\delta = 1,0 \text{ ккал}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot^\circ\text{C})$ [$1,16 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$].

Из графиков рис. 3.7 следует, что при толщине песчаной прослойки между отливкой и опокой $l \geq 2\delta$ затвердевание отливки происходит как в неограниченной песчаной форме. Чтобы в опоке отливка охлаждалась до 400°C так же, как

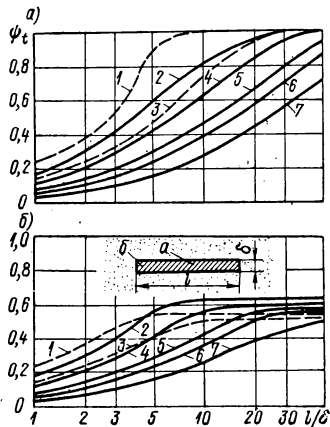


Рис. 3.5. Относительное время ψ_t охлаждения отливки длинной пластины в зависимости от ширины l

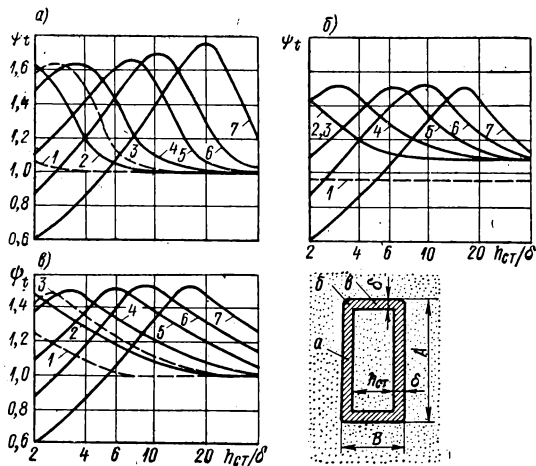


Рис. 3.6. Относительное время ψ_t охлаждения длинной отливки ко-робчатой формы в зависимости от ее размеров

в неограниченной песчаной форме, необходима толщина песчаной прослойки $l \geq 10\delta$. При $l < 400^\circ\text{C}$ и $l \geq 10\delta$ на охлаждении отливки начинает сказываться утепляющее влияние песчаного стержня и $\psi_i \geq 1$.

Пример. Рассчитать время затвердевания и дальнейшего охлаждения отливки цилиндра диаметром 160 мм в песчано-глинистой форме. Дано: $t_{\text{зал}} = 1260^\circ\text{C}$; $t_{\text{пл}} = 1145^\circ\text{C}$; $t_{\text{п}} = 720^\circ\text{C}$; $t_0 = 20^\circ\text{C}$. Из табл. 3.1 имеем: $a_1 = 0,036 \text{ м}^2/\text{ч}$; $b_{\tau 1} = 190 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{ч}^{1/2})$; $c_1 \gamma_1 = 1500 \text{ ккал}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$; $Q_{\text{пл} \gamma_1} = 385\,000 \text{ ккал}/\text{м}^3$; $Q_{\text{п} \gamma_1} = 135\,000 \text{ ккал}/\text{м}^3$; $a_2 = 0,0019 \text{ м}^2/\text{ч}$; $b_{\tau 2} = 19 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{ч}^{1/2})$; $c_2 \gamma_2 = 440 \text{ ккал}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$.

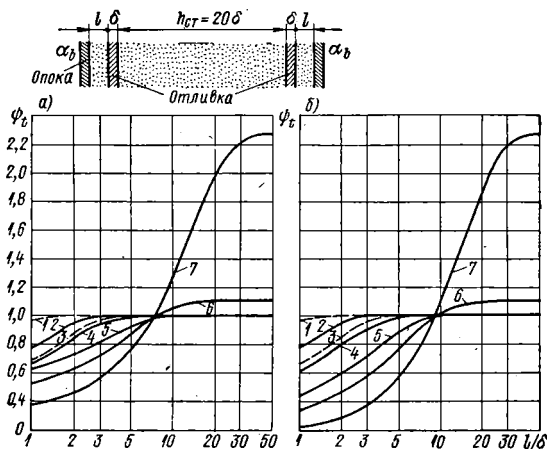


Рис. 3.7. Относительное время ψ_i охлаждения плоских стенок отливки коробчатой формы в зависимости от толщины песчаной прослойки между ней и опокой и теплоотдачи с поверхности опоки

На основании соответствующих зависимостей имеем: $R_{\text{пр}1} = 0,04 \text{ м}$; $\Delta t_{\text{пл}} = 1145 - 20 = 1125$; $Q_0 = W_1 440 \times 1125 = 495\,000 W_1$;

$$D_{\text{зат}} = \frac{1500 (1260 - 1145) + 385\,000}{1000 \cdot 1125} = 0,50; \quad b_{\tau 1}/b_{\tau 2} = 190/19 = 10;$$

$$D_{\text{п}} = \frac{1500 (1260 - 1145) + 385\,000 + 135\,000}{1000 \cdot 1125} = 0,62.$$

Для конца отвода теплоты перегрева согласно формуле (3.2)

$$Q = W_1 1500 (1260 - 1145) = 172\,500 W_1; \quad \frac{Q}{Q_0} = \frac{172\,500 W_1}{495\,000 W_1} = 0,35.$$

Из графика рис. 3.1, а находим $Fo_2 = 0,08$ и по формуле (3.6) определяем

$$\tau = 0,08 \frac{0,04^2}{0,0019} = 0,067 \text{ ч} \approx 4 \text{ мин.}$$

Для конца затвердевания согласно формуле (3.3):

$$Q = W_1 [1500 (1260 - 1145) + 385000] = 557500 W_1$$

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{557500}{495000} = 1,13.$$

Из графика рис. 3.1, а находим $Fo_2 = 0,72$ и по формуле (3.6) определяем

$$\tau = 0,72 \frac{0,04^2}{0,0019} = 0,606 \text{ ч} \approx 36 \text{ мин.}$$

При расчете охлаждения затвердевшей отливки задаемся сначала $\theta_0 = 0,6$. Согласно (3.13) это соответствует $\Delta t / \Delta t_{пл} = 0,6 (1 + 0,5) = 0,9$ и $\Delta t = 1125 \times 0,9 = 1013$; $t = 1013 + 20 = 1033^\circ \text{C}$. Так как $t_{пл} \gg t \gg t_n$, то этим значением θ_0 можно пользоваться при расчете. Из рис. 3.2 по кривой 2 для $\Delta t / \Delta t_{пл} = 0,9$ находим $\lg Ko = 0,1$, откуда $Ko = 1,26$. По (3.10) определяем $Fo_{1 по} = 1,26 \cdot 0,5^2 \cdot 10^2 = 31,5$. Из рис. 3.3, а по кривой 6 находим $\lg \psi_{II} = -0,207 = -1,793$, откуда $\psi_{II} = 0,621$. Согласно (3.11) $Fo_{1II} = 0,621 \cdot 31,5 = 19,56$ и по (3.15) для $t = 1033^\circ \text{C}$ находим $\tau = 19,56 \cdot 0,04^2 / 0,036 = 0,869 \text{ ч} \approx 52 \text{ мин.}$ Аналогично, задаваясь $\theta_0 = 0,5$ и используя кривую 5 на рис. 3.3, а, для $t = 864^\circ \text{C}$ находим $\tau = 1,51 \text{ ч} \approx 1 \text{ ч } 31 \text{ мин.}$ Пользоваться величиной $\theta_0 = 0,4$ для дальнейшего расчета нельзя, так как при подстановке ее в формулу (3.13) с $D_{зат}$ получаем $t = 695^\circ \text{C}$, т. е. $t < t_n$, а при использовании D_n имеем $t = 749^\circ \text{C}$, т. е. $t > t_n$.

Задаваясь $\theta_0 = 0,3$, при расчете используем D_n и кривую 3 на рис. 3.3, а, а на рис. 3.2 интерполируем между кривыми 2 и 3 так, чтобы получить значения, соответствующие $D_n = 0,62$. В результате для $t = 567^\circ \text{C}$ получаем $\tau = 4,30 \text{ ч} = 4 \text{ ч } 18 \text{ мин.}$ Аналогично для $\theta_0 = 0,2$ $t = 385^\circ \text{C}$ и $\tau = 7,51 \text{ ч} \approx 7 \text{ ч } 31 \text{ мин.}$, а для $\theta_0 = 0,1$ $t = 202^\circ \text{C}$ и $\tau = 16,55 \text{ ч} = 16 \text{ ч } 33 \text{ мин.}$

Охлаждение в кокиле

Расчет охлаждения отливок в кокилях представляет значительные трудности, так как приходится учитывать одновременное влияние большого числа факторов. В то же время можно выделить некоторые основные факторы, определяющие данный процесс. Прежде всего это конфигурация отливки, а также интенсивность теплообмена между отливкой и кокилем через слой краски и возникающий в процессе охлаждения газовый зазор. Важное значение для процесса охлаждения имеют соотношение между m_3 и m_1 , t предварительного нагрева кокиля, наличие перегрева залитого металла и т. п. Интенсивность теплообмена между отливкой и формой зависит от критерия Био краски

$$Bi_{крас} = \frac{\lambda_{крас} \tau_0}{\lambda_1 \delta_{крас}} \quad (3.17)$$

и критерия Био газового зазора

$$Bi_0 = \frac{\epsilon_n c_0 \tau_0}{\lambda_1 (t_1 - t_2)} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \quad (3.18)$$

где T — температура, К.

Суммарный критерий интенсивности теплообмена между отливкой и формой Bi_I определяется по формуле

$$Bi_I = \frac{1}{\frac{1}{Bi_{крас}} + \frac{1}{Bi_0}}. \quad (3.19)$$

Значения $\lambda_{крас}$ колеблются в пределах $0,2—0,3 \text{ ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ \text{C})$ [2]. При расчете $Bi_{крас}$ можно пользоваться средней величиной $\lambda_{крас} \approx 0,25 \text{ ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ \text{C})$ [$0,29 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ \text{C})$].

При расчете Bi_0 в качестве t поверхности отливки целесообразно брать $t_1 \approx t_{пл} = 1145^\circ \text{C}$, а t поверхности слоя краски со стороны отливки t_2 выбирается в пределах $630-930^\circ \text{C}$ (бóльшие значения t_2 берутся для меньших значений $Bi_{крас}$). Для чугуна при охлаждении в кокилях можно принять коэффициент лучеиспускания $\epsilon_{плс0} \approx 3 \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}^4)$

Для оценки влияния, оказываемого основными технологическими факторами на охлаждение чугунных отливок в кокилях при условии $m_3 \geq m_1$, были проведены на ЭВМ расчеты охлаждения отливок характерной конфигурации (плоская стенка, длинный цилиндр, шар) при значениях критерия Bi_1 от 0,3 до 10. Обобщение полученных данных позволило дать приближенную формулу для расчета с точностью $\pm 6\%$ для $\tau_{зат}$:

$$\tau_{зат} = k_1 k_2 f_{зат} r_0^2, \quad (3.20)$$

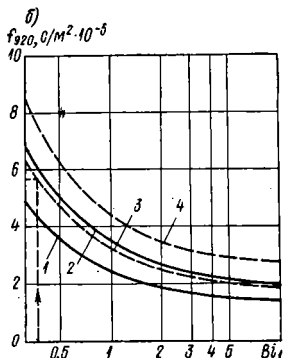
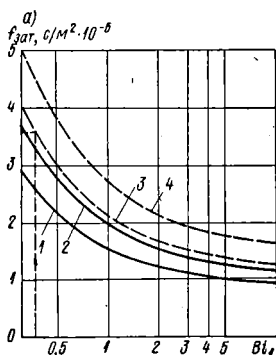


Рис. 3.8. Зависимости от критерия Bi_1 функций, характеризующих охлаждение плоской отливки в кокиле: а — $f_{зат}$ для конца затвердевания; б — f_{920} для охлаждения до 920°C

а также для расчета с точностью $\pm 10\%$ времени τ_{920} достижения отливкой $t = 920^\circ \text{C}$:

$$\tau_{920} = k_3 k_4 f_{920} r_0^2, \quad (3.21)$$

где $f_{зат}$ и f_{920} (рис. 3.8) представляют собой отношения $\tau_{зат}/r_0^2$ и τ_{920}/r_0^2 , а r_0 — характерный размер отливки, равный для плоской стенки половине ее толщины, а для длинного цилиндра и шара — их радиусу.

Коэффициенты k_3 и k_4 определяются по формулам:

$$k_3 = k_{31} [1 - k_{32} (\lg Bi_1 - 0,25)]; \quad (3.22)$$

$$k_4 = 1 + k_{41} [1 + k_{42} (\lg Bi_1 - 0,25)]. \quad (3.23)$$

Коэффициенты k_1 и k_2 характеризуют влияние, оказываемое на охлаждение отливки ее конфигурацией. Для отливки плоской стенки $k_1 = k_2 = 1$. Значения коэффициентов k_1 и k_{31} даны на рис. 3.9, а. Значение коэффициента k_{32} в зависимости от номера кривой на рис. 3.9, а, по которой определяется коэффициент k_{31} , равно:

Для цилиндра				
N_k		1	2	3
k_{32}		0,06	0,07	0,09
Для шара				
N_k		5	6	7
k_{32}		0,03	0,07	0,09
				0,14

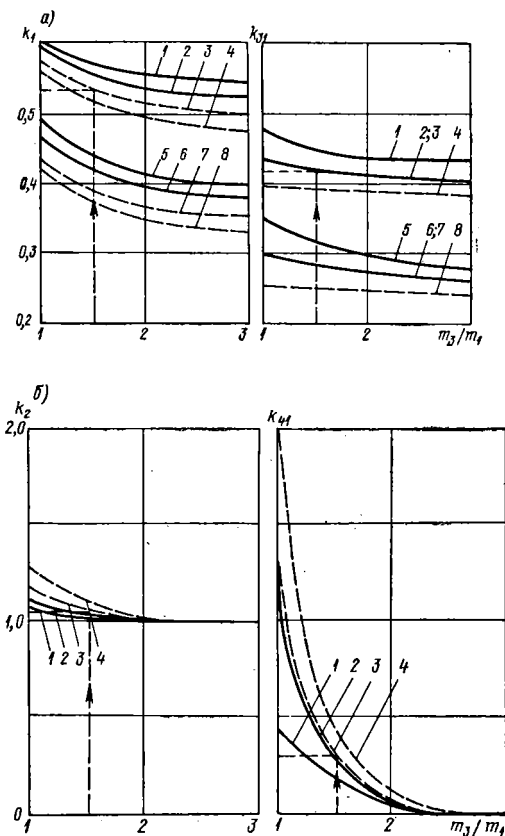


Рис. 3.9. Значение коэффициентов для расчета охлаждения отливок в кокиле: а — k_1 и k_{31} для длинного цилиндра (кривые 1—4) и шара (кривые 5—8); б — k_2 и k_{41} для плоской стенки

Коэффициенты k_2 и k_4 характеризуют влияние, оказываемое на охлаждение отливки массой кокиля. Значения коэффициентов k_2 и k_{41} даны на рис. 3.9, б в зависимости от отношения m_3/m_1 . Значение коэффициента k_{42} в зависимости от номера кривой на рис. 3.9, б, по которой определяется коэффициент k_{41} , равно:

№	1	2	3	4
k_{42}	0,18	0,72	0,65	0,76

Кривые 1, 3 на рис. 3.8 и 1, 3, 5, 7 на рис. 3.9 построены для случая предварительного нагрева кокиля до $t = 130^\circ \text{C}$, а кривые 2, 4, 6 и 8 — до $t = 360^\circ \text{C}$. Кроме того, сплошные линии 1, 2, 5 и 6 на этих рисунках соответствуют нулевому перегреву жидкого металла после его заливки в кокиль ($t_{\text{зал}} = t_{\text{пл}}$), а штриховые линии 3, 4, 7 и 8 — случаю, когда $t_{\text{зал}} = 1260^\circ \text{C}$. Все расчеты выполнены при условии, что теплоотдача с наружной поверхности кокиля соответствует $\alpha_{\text{в}0} = 1,45 \text{ ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$ [$1,7 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$].

Из кривых рис. 3.8 следует, что при $Bi_1 \ll 1$ увеличение значений критерия Bi_1 существенно ускоряет охлаждение отливок в кокиле. Дальнейшее увеличение Bi_1 мало сказывается на ускорении охлаждения отливки.

Увеличение массы кокиля при $m_3 \geq m_1$ мало влияет на продолжительность затвердевания отливки (коэффициент k_2 на рис. 3.9). Время τ_{920} при увеличении массы кокиля с $m_3/m_1 = 1$ до $m_3/m_1 = 2$ резко сокращается (коэффициент k_{41} на рис. 3.9). Дальнейшее увеличение массы кокиля практически не сказывается на величине τ_{920} .

Тепловые расчеты для специальных видов литья весьма разнообразны и зависят от конкретного вида литья. Необходимые зависимости для расчета охлаждения отливок при различных специальных видах литья приведены в работе [1].

Пример. Рассчитать время конца затвердевания и достижения температуры 920°C отливкой длинного цилиндра диаметром 160 мм в чугуном кокиле. Дано: $t_{\text{зал}} = 1260^\circ \text{C}$; $t_{\text{пл}} = 1145^\circ \text{C}$; кокиль подогрет до $t = 130^\circ \text{C}$; $\delta_{\text{крас}} = 0,4 \text{ мм} = 0,0004 \text{ м}$; $m_3/m_1 = 1,5$.

На основании соответствующих зависимостей имеем $r_0 = 0,08$;

$$Bi_{\text{крас}} = \frac{0,25 \cdot 0,08}{36 \cdot 0,0004} = 1,39;$$

принимаем $T_1 \approx 1420 \text{ К}$; $T_2 \approx 1050 \text{ К}$;

$$Bi_0 = \frac{3 \cdot 0,08}{36 (1145 - 775)} \left[\left(\frac{1420}{100} \right)^4 - \left(\frac{1050}{100} \right)^4 \right] = 0,514;$$

$$Bi_1 = \frac{1}{1/1,39 + 1/0,514} = 0,375.$$

Соответственно $\lg Bi_1 = \bar{1},574 = -0,426$. Учитывая $t_{\text{зал}}$ и подогрев кокиля до 130°C , на рис. 3.8 и 3.9 по кривым 3 получаем:

$f_{\text{зат}} = 3,58 \cdot 10^5 \text{ с/м}^2$; $f_{920} = 5,6 \cdot 10^5 \text{ с/м}^2$; $k_1 = 0,533$; $k_2 = 1,06$; $k_{31} = 0,42$; $k_{41} = 0,31$; $k_{42} = 0,65$; $k_{32} = 0,09$. Согласно (3.22) имеем $k_3 = 0,42 [1 - 0,09 \times (-0,426 - 0,25)] = 0,446$, а по (3.23) $k_4 = 1 + 0,31 [1 + 0,65 (-0,426 - 0,25)] = 1,174$.

В соответствии с (3.20) $\tau_{\text{зат}} = 0,533 \cdot 1,06 \cdot 3,58 \cdot 10^5 \cdot 0,08^2 = 1294 \text{ с} \approx 22 \text{ мин}$; согласно (3.21) $\tau_{920} = 0,446 \cdot 1,174 \cdot 5,6 \cdot 10^5 \cdot 0,08^2 = 1877 \text{ с} \approx 31 \text{ мин}$.

Охлаждение в облицованном кокиле

Математический расчет охлаждения отливок в облицованном кокиле на различных этапах процесса дан в работах [4, 5]; приближенный же расчет основного этапа — затвердевания — может быть быстро выполнен по графику рис. 3.10. Расчет этот производится при условии, что $m_3 \gg m_1$.

Пример. Рассчитать продолжительность и скорость затвердевания плоской чугуновой ($t_{\text{пл}} = 1145^\circ \text{C}$) отливки толщиной 20 мм в толстостенном облицованном кокиле при его начальной температуре $t_{\text{зи}} = 150^\circ \text{C}$ и толщине облицовки

5 мм (облицовка на кварцевом песке). В соответствии с данными, приведенными в гл. VI, п. 2, принимаем следующие теплотехнические свойства материала облицовки: $a_2 = 0,00147 \text{ м}^2/\text{ч}$, $c_2 \gamma_2 = 350 \text{ ккал}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{С})$, а $Q_{\text{пл}} \gamma_1 = 385\,000 \text{ ккал}/\text{м}^3$.

Находим множитель, входящий в выражения для безразмерной скорости затвердевания U и безразмерной толщины затвердевшей корочки $\delta_{\text{отн}} = \xi/R_{\text{пр1}}$ (см. рис. 3. 10, а и б):

$$\frac{Q_{\text{пл}} \gamma_1}{c_2 \gamma_2 (t_{\text{пл}} - t_{3\text{н}})} = \frac{385\,000}{350 (1145 - 150)} = 1,1.$$

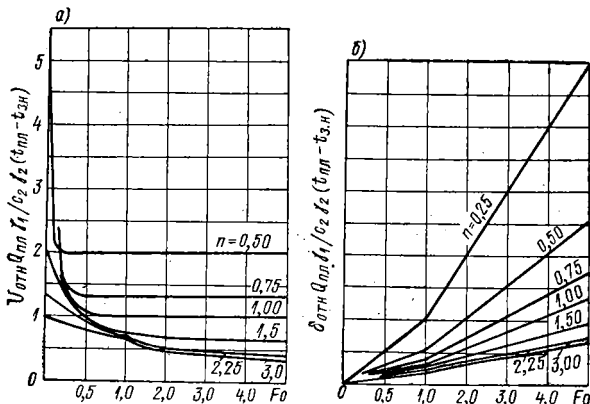


Рис. 3.10. Диаграмма для расчета скорости (а) и продолжительности (б) затвердевания отливки в массивном облицованном кокиле

Для заданных условий $\delta = 1$ ($\xi = R_{\text{пр1}}$) и безразмерная толщина облицовки $n = \delta_2/R_{\text{пр1}} = 5/10 = 0,5$. При найденных значениях множителя и n по рис. 3.10, б определяем $Fo = 0,50$. Отсюда продолжительность затвердевания

$$\tau = Fo \frac{R_{\text{пр1}}^2}{a_2} = 0,50 \frac{0,01^2}{0,00147} = 0,034 \text{ ч} = 139 \text{ с}.$$

Далее по рис. 3.10, а при $Fo = 0,50$ и $n = 0,5$ находим $U \cdot 1,1 = 2$, т. е. $U = 1,82$. Размерная скорость затвердевания в момент окончания процесса

$$\frac{d\xi}{d\tau} = U \frac{a_2}{R_{\text{пр1}}} = 1,82 \frac{0,00147}{0,01} = 0,268 \text{ м/ч} = 0,074 \text{ мм/с}.$$

С помощью графика на рис. 3.10 может быть определена также суммарная продолжительность стадий отвода теплоты перегрева и затвердевания. В этом случае необходимо включить теплоту перегрева в теплоту затвердевания, т. е. подставить в множитель при U и $\delta_{\text{отн}}$ вместо $Q_{\text{пл}}$ величину $Q_{\text{пл}} + c_1' \Delta t_{\text{пер}}$.

* Дополнительные экспериментальные данные и графики для определения времени охлаждения чугунных отливок в облицованных кокилях в зависимости от толщины отливки, облицовки и кокиля приведены в [7]. В [6] показано, что путем изменения толщин облицовки и кокиля можно добиться выравнивания скоростей охлаждения тонких и толстых частей отливок и, таким образом, уменьшения или предотвращения образования остаточных внутренних напряжений.

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ДАННЫХ

Любому закономерному процессу в технике сопутствуют случайные отклонения. Точно предсказать конечный результат отдельного процесса невозможно, так как случайные явления протекают каждый раз по-новому. Однако при многократном повторении обнаруживаются вполне определенные закономерности, позволяющие прогнозировать исход того или иного технологического процесса.

Оценка выборочных характеристик эмпирического распределения

Значения тех или иных характеристик, которые могли бы быть получены при испытаниях всего рассматриваемого объема материала (детали, партии, плавки, всех плавок сплава данной марки и т. д.), образуют генеральную совокупность. Ограниченная совокупность, являющаяся частью генеральной, называется выборочной или выборкой. По закону больших чисел, чем больше членов в выборке, тем лучше ее выборочные характеристики сходятся по вероятности к генеральным. По выборочным характеристикам обычно судят о генеральных.

Случайная величина, какою является результат любого наблюдения, считается заданной, если указан ее закон распределения, т. е. заданы значения, которые она может принимать, и отвечающие им вероятности. Одна из важнейших задач математической статистики состоит в том, чтобы по выборочным данным получить достаточно полное представление о генеральном распределении.

В качестве закона распределения чаще всего принимают нормальный закон, в предположении которого и будет дано большинство приведенных ниже выводов.

В практических задачах вместо задания закона распределения случайной величины бывает достаточно указать некоторые числовые характеристики этого закона. Методика расчета выборочных характеристик зависит от объема экспериментального материала. Примем следующие обозначения выборочных характеристик: $\bar{x}$ — среднее арифметическое значение, характеризующее центр распределения, т. е. величину, по отношению к которой колеблются все остальные члены выборки; s^2 — дисперсия, являющаяся мерой рассеяния случайной величины относительно средней; s — среднеквадратичное отклонение, также являющееся мерой рассеяния; v — коэффициент вариации (%), показывающий насколько велико рассеяние по сравнению со средним значением; S_k — показатель асимметрии (скошенности) распределения; E_k — показатель эксцесса (островершинности или крутости) распределения.

Расчет выборочных характеристик при малом объеме выборки ($n < 40 + 60$) производится по формулам:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}; \quad (4.1)$$

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \text{ или } s^2 = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right]; \quad (4.2)$$

$$s = \sqrt{s^2}; \quad (4.3)$$

$$v = \frac{s}{\bar{x}} 100. \quad (4.4)$$

В этих формулах x_i — значение какого-либо свойства в i -м наблюдении.

В случае малых выборок ($n \leq 40$) расчет показателей асимметрии и эксцесса нецелесообразен в связи с их большими вероятными отклонениями от генеральных характеристик.

Таблица 4.1

Анализ гидроабразивного износа отливок из ВЧШГ

Номер отливки	1	2	3	4	5	6	7
Износ x_i , мг	98	101	96	97	108	93	100
x_i^2	9604	10 201	9216	9409	11 664	8649	10 000
Номер отливки	8	9	10	11	12	13	$n = 13$
Износ x_i , мг	111	118	95	99	113	115	$\sum_{i=1}^n x_i = 1344$
x_i^2	12 321	13 924	9025	9801	12 769	13 225	$\sum_{i=1}^n x_i^2 = 139 808$

Пример 1. В табл. 4.1 приведены значения гидроабразивного износа отливок из ВЧШГ. Требуется вычислить значения выборочных среднего $\bar{x}$, дисперсии s^2 , среднеквадратичного отклонения s и коэффициента вариации v .

По формулам (4.1)–(4.4) находим:

$$\bar{x} = \frac{1344}{13} = 103 \text{ мг}; \quad s^2 = \frac{1}{12} \left(139 808 - \frac{1}{13} 1344^2 \right) = 71,59;$$

$$s = \sqrt{71,59} = 8,5 \text{ мг}; \quad v = \frac{8,5}{103} 100 = 8,25\%.$$

При большом объеме выборки ($n \geq 60$) исходные данные предварительно группируют в такой последовательности. Результаты наблюдений располагают в порядке возрастания от x_1 до x_n , после чего определяют размах варьирования:

$$R = x_n - x_1. \quad (4.5)$$

Весь диапазон R разбивают на определенное число l интервалов (лучше равных) группировки. При этом исходят из условий: $6 \leq l \leq 20$; $l \approx \sqrt{n}$; $l \leq 5 \lg n$, а длину интервала (шага) группировки принимают

$$\delta \approx R/l. \quad (4.6)$$

Далее отмечают середины интервалов: $x_1^0, x_2^0, x_3^0, \dots, x_l^0$ и подсчитывают число значений n_i (число наблюдений), заключенное в i -м интервале (данные,

попавшие на границы интервалов, помещают либо в оба смежных интервала, либо в один из них). Затем считают выборочные характеристики по формулам:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^l x_j^0 n_j}{n}; \quad (4.7)$$

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^l n_j (x_j - \bar{x})^2 \text{ или } s^2 = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{j=1}^l x_j^2 n_j - \frac{1}{n} \left(\sum_{j=1}^l x_j^0 n_j \right)^2 \right]; \quad (4.8)$$

$$S_k = \frac{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^l x_j^4 n_j - \frac{3\bar{x}}{n} \sum_{j=1}^l x_j^3 n_j + 2\bar{x}^3}{s^3}; \quad (4.9)$$

$$E_k = \frac{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^l x_j^6 n_j - \frac{4\bar{x}}{n} \sum_{j=1}^l x_j^5 n_j + \frac{6\bar{x}^2}{n} \sum_{j=1}^l x_j^4 n_j - 3\bar{x}^4}{s^4} - 3. \quad (4.10)$$

Значения s и v определяют соответственно по формулам (4.3) и (4.4).

Таблица 4.2

Анализ отбеливаемости отливок из модифицированного чугуна

Границы интервалов	Середина интервала, x_j^0	Число наблюдений, n_j	$x_j^0 n_j$	$x_j^{02} n_j$	$x_j^{03} n_j$	$x_j^{04} n_j$
5—7	6	2	12	72	432	2 592
7—9	8	4	32	256	2 048	16 384
9—11	10	11	110	1100	11 000	110 000
11—13	12	18	216	2592	31 104	373 248
13—15	14	30	420	5880	82 320	115 480
15—17	16	18	288	4608	73 728	1 179 648
17—19	18	11	198	3564	64 152	1 154 736
19—21	20	3	60	1200	24 000	480 000
21—23	22	2	44	968	21 296	468 512
23—25	24	1	24	576	13 824	331 776
Σ		100	1404	20 816	323 904	5 269 376

Пример 2. В табл. 4.2 приведены сгруппированные данные о глубине отбела, определяющегося в миллиметрах по клиновой пробе одного из модифицированных чугунов. Требуется вычислить значения выборочных среднего $\bar{x}$, дисперсии s^2 , среднеквадратичного отклонения s , коэффициента вариации v , показателей симметрии S_k и эксцесса E_k .

При группировке данных наименьшее значение отбела было $x_1 = 5$ мм, наибольшее — $x_n = 25$ мм. Поэтому размах варьирования определен по (4.5) как $R = 25 - 5 = 20$ мм. Поскольку общее число наблюдений было $n = 100$, количество интервалов было выбрано равным $l = \sqrt{100} = 10$, что удовлетворяло условию $l = 5 \lg 100 = 10$. В результате длина интервала оказалась по

(4.6) $\delta = 20/10 = 2$ мм. Границы интервалов, их середины x_j^0 и число наблюдений в каждом из них n_j приведены в табл. 4.2. Здесь же даны все вычисленные величины, необходимые для определения выборочных характеристик. При этом данные, попавшие на границу интервала, помещали в ближайший меньший интервал, (например, глубину отбела в 15 мм помещали в интервал 13—15). По формулам (4.7)—(4.10) находим

$$\bar{x} = \frac{1404}{100} = 14,04 \text{ мм}; s^2 = \frac{1}{99} \left(20\,816 - \frac{1}{100} 1404^2 \right) = 11,1498;$$

$$s = \sqrt{11,1498} = 3,339; v = \frac{3,339}{14,04} 100 = 23,78\%;$$

$$S_k = \frac{\frac{1}{100} 323\,904 - \frac{3 \cdot 14,04}{100} 20\,816 + 2 \cdot 14,04^3}{3,339^3} = 0,1750;$$

$$E_k = \frac{\frac{1}{100} 5\,269\,376 - \frac{4 \cdot 14,04}{100} 323\,904 + \frac{6 \cdot 14,04^2}{100} 20\,816 - 3 \cdot 14,04^4}{3,339^3} - 3 = 0,3359.$$

Проверку нормальности закона выборочного распределения можно приближенно производить с помощью выборочных показателей асимметрии и эксцесса. Для этого считают среднеквадратичные отклонения указанных показателей:

$$s_{S_k} = \sqrt{\frac{6(n-1)}{(n+1)(n+3)}}; \quad (4.11)$$

$$s_{E_k} = \sqrt{\frac{24(n-2)(n-3)n}{(n-1)^2(n+3)(n+5)}}. \quad (4.12)$$

Гипотеза нормальности распределения подтверждается в случае, когда

$$|S_k| \leq s_{S_k} \text{ и } |E_k| \leq s_{E_k}. \quad (4.13)$$

Пример 3. Требуется проверить предположение о нормальном законе распределения величин отбела по данным примера 2. Подсчитаем по формулам (4.11) и (4.12) значения s_{S_k} и s_{E_k} :

$$s_{S_k} = \sqrt{\frac{6(100-1)}{(100+1)(100+3)}} = 0,239;$$

$$s_{E_k} = \sqrt{\frac{24(100-2)(100-3)100}{(100-1)^2(100+3)(100+5)}} = 0,465.$$

Поскольку вычисленные абсолютные значения S_k и E_k меньше s_{S_k} и s_{E_k} , гипотеза о нормальности распределения глубины отбела в проведенных наблюдениях может быть принята.

Определение доверительных интервалов для выборочных характеристик производится, чтобы указать с их помощью степень точности и надежности оценок генеральных характеристик. Назовем величину α вероятностью практически невозможного события или уровнем значимости [обычно принимают α равным 0,10 (10%); 0,01 (1%) или 0,05 (5%)]. Вероятность $P = 1 - \alpha$, с которой доверительный интервал при многократном повторении опыта накрывает истинное значение характеристики, называют доверительной вероятностью.

Доверительный интервал для среднего арифметического рассчитывают из выражения

$$\bar{x} - \frac{s}{\sqrt{n-1}} t_{\alpha}; t < a < \bar{x} + \frac{s}{\sqrt{n-1}} t_{\alpha}; t \quad (4.14)$$

где a — среднее арифметическое значение генеральной совокупности (математическое ожидание); t — критерий Стьюдента для уровня значимости α и числа степеней свободы * $f = n - 1$ берется из таблиц, например табл. V**.

Доверительный интервал для среднеквадратичного отклонения вычисляют по формуле:

$$\frac{s \sqrt{n}}{\chi_{\alpha/2}; f} < \sigma < \frac{s \sqrt{n}}{\chi_{1-\alpha/2}; f}, \quad (4.15)$$

где σ — среднеквадратичное отклонение генеральной совокупности; χ^2 — критерий Пирсона для уровней значимости $\alpha/2$ или $1 - \alpha/2$ и числа степеней свободы $f = n - 1$ берется из таблиц, например табл. IV.

Пример 4. По данным примера 1 (табл. 4.1), требуется подсчитать 90%-ные доверительные интервалы для среднего значения и среднеквадратичного отклонения величин гидроабразивного износа. В этом случае $\bar{x} = 103$ мг; $s = 8,5$ мг; $n = 13$. По табл. V для $f = 13 - 1 = 12$ и $\alpha = 0,10$ находим $t_{0,10; 12} = 1,78$. Уровень значимости $\alpha = 0,10$; следовательно $\alpha/2 = 0,05$ и $1 - \alpha/2 = 0,95$. Тогда из табл. IV:

$$\chi_{0,05}^2 = 21,0; \chi_{0,05} = 4,583; \chi_{0,95}^2 = 5,2; \chi_{0,95} = 2,280.$$

По формуле (4.14):

$$103 - \frac{8,5}{\sqrt{12}} \cdot 1,78 < a < 103 + \frac{8,5}{\sqrt{12}} \cdot 1,78 \text{ или } 98,6 \text{ мг} < a < 107,4 \text{ мг.}$$

По формуле (4.15):

$$\frac{8,5 \sqrt{12}}{4,583} < \sigma < \frac{8,5 \sqrt{12}}{2,280} \text{ или } 6,4 \text{ мг} < \sigma < 12,9 \text{ мг.}$$

Исключение резко выделяющихся результатов необходимо, так как при проведении испытаний часто возможны грубые ошибки. Если значения полученных результатов вызывают сомнения, исключать их нужно с помощью специальных критериев. Одним из таких критериев является критерий Грubbса. В этом случае определяют значения

$$v_1 = (x_n - \bar{x})/s, \quad (4.16)$$

если резко выделяющимся результатом является последний член вариационного ряда, или

$$v_2 = (\bar{x} - x_1)/s, \quad (4.17)$$

если сомнение вызывает первый член вариационного ряда.

Полученные величины сопоставляют с критическими значениями, которые берут, например, из табл. XI в зависимости от α и n . Если $v \geq v_{\alpha; n}$, результат испытаний считают ошибочным и исключают из выборки.

Пример 5. При определении износостойкости аустенитного чугуна были получены результаты: 24, 44, 44, 45, 46, 47, 47, 48, 48, 48, 48, 52 мм³/ч. Тре-

* Числом степеней свободы называют разность между числом выполненных опытов и числом констант (средних, коэффициентов и пр.), подсчитанных по результатам тех же опытов.

** Здесь и в дальнейшем римскими цифрами обозначены таблицы из книги: Смирнов В. В., Душин-Барковский И. В. Курс теории вероятностей и математической статистики. «Наука», 1965. 511 с.

буется проверить с помощью критерия Груббса, не являются ли ошибочными первый и последний результаты испытаний. Для рассматриваемой выборки $\bar{x} = 49$ мм³/ч, $s = 8,12$ мм³/ч. По формуле (4.16) подсчитаем для последнего образца: $v_1 = (52 - 49)/8,12 = 0,369$, а по формуле (4.17) для первого образца: $v_2 = (49 - 24)/8,12 = 3,078$.

Критическое значение из табл. XI: $v_{0,05; 12} = 2,387$. Поскольку $0,369 < 2,387$, а $3,078 > 2,387$, значение 52 мм³/ч следует оставить в рассматриваемом ряду, а 24 мм³/ч — исключить из этого ряда.

Статистический анализ результатов сравнительных испытаний

Средние значения и среднеквадратичные ошибки, определяемые в испытаниях, являются случайными величинами. Поэтому в разных выборках они могут принимать разные значения. В этой связи часто приходится решать задачу определения значимости или случайности в расхождениях между выборочными характеристиками. Для этого предложено много разнообразных приемов и критериев, некоторые из которых рассмотрены ниже.

Сравнение среднего значения выборки $\bar{x}$ с постоянной величиной a . Отличие $\bar{x}$ от a считается несущественным при заданном уровне значимости α , если

$$\bar{x} > a - t_{\alpha; n-1} \frac{s}{\sqrt{n-1}} \text{ и } \bar{x} < a + t_{\alpha; n-1} \frac{s}{\sqrt{n-1}}, \quad (4.18)$$

где s — среднеквадратичная ошибка выборки объемом n .

Пример 6. Гидроабразивный износ отливок из ВЧШГ по техническим условиям не должен превышать $a = 100$ мг. Измерение износа 13 отливок ($n = 13$) дало среднюю величину износа $\bar{x} = 103$ мг при среднеквадратичном отклонении $s = 8,5$ мг (см. пример 1). Требуется выяснить, организован ли процесс производства отливок таким образом, что в среднем их износ удовлетворяет техническим условиям.

Выберем уровень значимости $\alpha = 0,05$. По табл. V находим, что при $\alpha = 0,05$ и $f = n - 1 = 12$ значение $t_{0,05; 12} = 2,18$. Следовательно, $\bar{x} \geq 100 -$

$$- 2,18 \frac{8,5}{\sqrt{12}} = 94,7 \text{ мг и } \bar{x} < 100 + 2,18 \frac{8,5}{\sqrt{12}} = 105,3 \text{ мг.}$$

Таким образом, несмотря на то, что $\bar{x} = 103$ мг $> a = 100$ мг, изменять процесс производства отливок не следует, так как $\bar{x} = 103$ мг больше 94,7 мг и меньше 105,3 мг.

Сравнение средних значений двух выборок. Часто приходится сравнивать два технологических процесса, две группы изделий и т. д. Сравнение средних значений двух выборок проводят с помощью t -критерия. Возможны два случая, когда дисперсии выборок равны ($s_1^2 = s_2^2$) или различны ($s_1^2 \neq s_2^2$).

В случае, когда $s_1^2 = s_2^2$, вначале рассматривают общую дисперсию

$$s_{\text{общ}}^2 = \frac{(n_1 - 1) s_1^2 + (n_2 - 1) s_2^2}{(n_1 - 1) + (n_2 - 1)}, \quad (4.19)$$

а затем находят величину t -критерия

$$t_{\text{расч}} = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{s_{\text{общ}} \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}, \quad (4.20)$$

где n_1 и n_2 — количество измерений, соответственно, в 1-й и 2-й выборках,

Средние значения выборок считают равными другу другу, если $t^{\text{расч}} \leq t_{\alpha; f}$, где $t_{\alpha; f}$ — табличное значение t -критерия (табл. V) при уровне значимости α и числе степеней свободы $f = n_1 + n_2 - 2$.

Пример 7. В один из месяцев на заводе было проведено 18 плавов ($n_1 = 18$) синтетического чугуна. Оказалось, что среднее значение $\sigma_{\text{н}}$ чугуна этих плавов было равно 28 кгс/мм² ($\bar{x}_1 = 28$ кгс/мм²) при дисперсии $s_1^2 = 9,2$. В другом месяце на том же заводе было сделано 23 плавки ($n_2 = 23$) чугуна того же состава; при этом среднее значение было $\bar{x}_2 = 32$ кгс/мм² при $s_2^2 = 8,5$. Дисперсии s_1^2 и s_2^2 оказались равными*. Требуется выяснить, имеются ли различия в прочности этих чугунов. Для этого по формуле (4.19) подсчитаем общую дисперсию:

$$s_{\text{общ}}^2 = \frac{(18-1)9,2 + (23-1)8,5}{(18-1) + (23-1)} = 8,81.$$

Следовательно, $s = 2,968$. Определяем по (4.20) расчетное значение t -критерия:

$$t^{\text{расч}} = \frac{|28 - 32|}{2,968 \sqrt{1/18 + 1/23}} = 4,28.$$

Табличное значение t -критерия при $\alpha = 0,05$ и $f = 18 + 23 - 2 = 39$: $t_{0,05; 39} = 2,02$. Поскольку $4,28 > 2,02$, следует признать значимой разницу в прочности указанных чугунов.

В случае, когда $s_1^2 \neq s_2^2$, величину t -критерия находят из выражения

$$t^{\text{расч}} = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{s_1^2/n_1 + s_2^2/n_2}}. \quad (4.21)$$

Число степеней свободы f подсчитывают по формуле

$$f = \frac{(n_1 - 1)(n_2 - 1)}{c^2(n_2 - 1) + (1 - c)^2(n_1 - 1)}, \quad (4.22)$$

где

$$c = \frac{s_1^2/n_1}{s_1^2/n_1 + s_2^2/n_2}. \quad (4.23)$$

Средние значения выборок считают равными друг другу, если $t^{\text{расч}} \leq t_{\alpha; f}$.

Пример 8. Было приготовлено 16 отливок ($n_1 = 16$) ковкого чугуна при наличии прибыли и 26 отливок ($n_2 = 26$) — при их отсутствии. Средние значения $\sigma_{\text{в}}$ оказались равными в первом случае $\bar{x}_1 = 34,7$ кгс/мм², во втором — $\bar{x}_2 = 30,3$ кгс/мм². Дисперсии (оказавшиеся неравными), соответственно, были $s_1^2 = 3,69$ и $s_2^2 = 1,75$. Требуется выяснить, меняет ли установка прибыли прочность ковкого чугуна. Для этого определяем по формуле (4.21) расчетное значение t -критерия

$$t^{\text{расч}} = \frac{|34,7 - 30,3|}{\sqrt{3,69/16 + 1,75/26}} = 8,059.$$

Подсчитаем по (4.23):

$$c = \frac{3,69/16}{3,69/16 + 1,75/26} = 0,77,$$

а по (4.22)

$$f = \frac{(16-1)(26-1)}{0,77^2(26-1) + (1-0,77^2)(16-1)} \approx 24.$$

* О способах сравнения дисперсий см. дальше.

Табличное значение t -критерия: $t_{0,05; 24} = 2,06$. Поскольку $8,059 \gg 2,06$, влияние прибыли на свойства существенно.

Сравнение дисперсий выборок часто производится для сравнения точности разных производственных процессов, для оценки однородности ряда дисперсий и в других случаях. Две дисперсии сравнивают с помощью F -критерия Фишера. Для этого вычисляют отношение большей дисперсии к меньшей:

$$F_{\text{расч}} = s_1^2 / s_2^2. \quad (4.24)$$

Расчетное значение F -критерия сравнивают с табличным $F_{\alpha; f_1; f_2}$ (табл. VI), который берут в зависимости от уровня значимости α и числа степеней свободы f_1 и f_2 , соответственно, при определении большей s_1^2 и меньшей s_2^2 дисперсий. Если $F_{\text{расч}} \leq F_{\alpha; f_1; f_2}$, дисперсии s_1^2 и s_2^2 считают равными.

Пример 9. Были проведены две группы плавов синтетического чугуна с использованием разных модификаторов. Требовалось выяснить, влияет ли вид модификатора на уровень свойств чугуна. Решить эту задачу можно было бы сравнением средних значений свойств двух групп плавов; но для того, чтобы провести это сравнение, требовалось предварительно установить, одинаковы или различны дисперсии в определении свойств.

Первая группа состояла из 12 ($n_1 = 12$), вторая — из 37 ($n_2 = 37$) плавов. Для первой группы дисперсия в определении прочности оказалась $s_1^2 = 3,18$, для второй — $s_2^2 = 2,90$.

Рассчитаем по формуле (4.24)

$$F_{\text{расч}} = 3,18/2,90 = 1,097.$$

Число степеней свободы $f_1 = n_1 - 1 = 11$, $f_2 = n_2 - 1 = 36$. Принимая $\alpha = 0,05$, получаем из табл. VI: $F_{0,05; 11; 36} = 2,07$. Поскольку $1,097 < 2,07$, дисперсии s_1^2 и s_2^2 можно считать равными.

Сравнение нескольких дисперсий чаще всего проводится для проверки однородности ряда дисперсий, т. е. для того, чтобы выяснить, производятся ли измерения с одинаковой (ряд однороден) или с разной (ряд неоднороден) точностью. Если в каждой выборке производят одинаковое число измерений, то используют G -критерий Кохрена. Для этого считают

$$G_{\text{расч}} = \frac{s_{\text{max}}^2}{s_1^2 + s_2^2 + \dots + s_N^2}, \quad (4.25)$$

где в числителе стоит максимальная в ряду дисперсия, а в знаменателе — сумма всех дисперсий ряда. Расчетное значение G -критерия сравнивают с табличным $G_{\alpha; f; N}$ (табл. VIII), который берут в зависимости от уровня значимости α , числа степеней свободы $f = m - 1$ (m — число опытов в каждой выборке) и числа выборок N . Ряд дисперсий считается однородным, если $G_{\text{расч}} < G_{\alpha; f; N}$. Если ряд дисперсий оказывается неоднородным, можно найти общую дисперсию

$$s_{\text{общ}}^2 = \frac{s_1^2 + s_2^2 + \dots + s_N^2}{N}. \quad (4.26)$$

Эта дисперсия оценивается с числом степеней свободы $f = N(m - 1)$.

Пример 10. Определяли σ_B ВЧШГ в четырех сериях плавов ($N = 4$). Каждая серия состояла из трех плавов ($m = 3$). Ряд дисперсий имел вид: $s_1^2 = 4$, $s_2^2 = 9,34$, $s_3^2 = 10,34$, $s_4^2 = 4,34$. Требуется выяснить, однороден ли этот ряд дисперсий, и оценить общую дисперсию при определении предела прочности данных чугунов. Для этого подсчитаем по формуле (4.25):

$$G_{\text{расч}} = \frac{10,34}{4 + 9,34 + 10,34 + 4,34} = 0,369.$$

Выберем $\alpha = 0,05$. Число степеней свободы $f = 3 - 1 = 2$, а общее число серий $N = 4$. Из табл. VIII $G_{0,05; 2; 4} = 0,768$. Поскольку $0,369 < 0,768$, ряд дисперсий следует признать однородным, и все эти дисперсии можно усреднить по формуле (4.26):

$$s_{\text{общ}}^2 = \frac{4 + 9,34 + 10,34 + 4,34}{4} = 7,0.$$

Общая дисперсия оценена в данном случае с числом степеней свободы $f = 4(3 - 1) = 8$.

Если в каждой выборке производят неодинаковое число измерений, то однородность ряда дисперсий проверяют по критерию Бартлетта. Для этого вначале подсчитывают общую дисперсию:

$$s_{\text{общ}}^2 = \frac{\sum_{u=1}^N f_u s_u^2}{\sum_{u=1}^N f_u}, \quad (4.27)$$

где u — номер выборки; N — число выборок; s_u^2 — дисперсия u -й выборки; f_u — число степеней свободы при определении дисперсии s_u^2 . После этого определяют

$$B = 2,3026 \left(\lg s_{\text{общ}}^2 \sum_{u=1}^N f_u - \sum_{u=1}^N f_u \lg s_u^2 \right). \quad (4.28)$$

Найденное значение B сопоставляется с критерием χ^2 , который берется из табл. IV в зависимости от уровня значимости α и числа степеней свободы $f = N - 1$. Ряд дисперсий считается однородным в случае, если $B < \chi_{\alpha; f}^2$.

Значение B , вычисленное по (4.28), всегда сильно завышено. Если оно сравнимо или немного превышает $\chi_{\alpha; f}^2$, то его уточняют по формуле

$$B_1 = B/C, \quad (4.29)$$

где

$$C = \frac{\sum_{u=1}^N \frac{1}{f_u} - \frac{1}{\sum_{u=1}^N f_u}}{3(N-1)} + 1, \quad (4.30)$$

и снова сравнивают с $\chi_{\alpha; f}^2$.

Если ряд дисперсий оказывается однородным, можно пользоваться общей дисперсией $s_{\text{общ}}^2$, рассчитанной по формуле (4.27).

Пример 11. Определялась горячеломкость синтетического чугуна по кольцевой пробе в четырех сериях плавок ($N = 4$). Число отливок в сериях было различным: $n_1 = 2$; $n_2 = 4$; $n_3 = 3$; $n_4 = 5$. Ряд дисперсий оказался следующим: $s_1^2 = 4$ при $f_1 = 1$; $s_2^2 = 6,7$ при $f_2 = 3$; $s_3^2 = 4$ при $f_3 = 2$; $s_4^2 = 12$ при $f_4 = 4$. Требуется определить, однороден ли этот ряд дисперсий, и оценить общую дисперсию при определении горячеломкости данных чугунов. Подсчитываем по (4.27) общую дисперсию:

$$s_{\text{общ}}^2 = \frac{1 \cdot 4 + 3 \cdot 6,7 + 2 \cdot 4 + 4 \cdot 12}{1 + 3 + 2 + 4} = 8,01.$$

Определяем $\lg s_{\text{общ}}^2 = \lg 8,01 = 0,9036$; $\sum_{u=1}^N f_u = 10$; $\sum_{u=1}^N f_u \lg s_u^2 = 8,6014$.

Далее по (4.28) рассчитываем B :

$$B = 2,3026 (0,9036 \cdot 10 - 8,6014) = 1,0007.$$

Таблица 4.3

Анализ влияния типа модификатора на прочность чугуна

σ_B при использовании А, кгс/мм ² (10 ⁷ Па)	28,9	29,3	28,8	28,9	28,7	29,4	29,7	28,4	29,0	29,1	29,1	29,2	28,6	28,8	$\bar{\sigma}_B = 29,0$
σ_B при использовании В, кгс/мм ² (10 ⁷ Па)	28,9	29,4	29,5	28,7	29,1	29,8	29,4	29,3	29,7	29,6	30,2	29,2	29,9	29,8	$\bar{\sigma}_B = 29,5$
Знаки		+	+	—	+	+	—	+	+	+	+		+	+	

Таблица 4.4

Анализ износа чугуна в зависимости от количества в нем графита

Износ, г/500 об (x_1)	$\frac{0,08}{+}$	$\frac{0,02}{-}$	$\frac{0,12}{+}$	$\frac{0,08}{+}$	$\frac{0,04}{-}$	$\frac{0,05}{-}$	$\frac{0,10}{+}$	$\frac{0,06}{-}$	$\frac{0,02}{-}$	$\frac{0,11}{+}$	$\frac{0,08}{+}$	$\frac{0,03}{-}$	$\bar{x}_1 = 0,066$
Число включений графита на 1 мм (x_2)	$\frac{25}{+}$	$\frac{20}{-}$	$\frac{30}{+}$	$\frac{15}{-}$	$\frac{20}{-}$	$\frac{20}{-}$	$\frac{27}{+}$	$\frac{10}{-}$	$\frac{23}{+}$	$\frac{30}{+}$	$\frac{25}{+}$	$\frac{5}{-}$	$x_2 = 20,8$

Выбираем $\alpha = 0,05$. Из табл. IV при $\alpha = 0,05$ и $f = 4 - 1 = 3$ $\chi^2_{0,05}$; $z = 7,81$. Поскольку $1,0 < 7,81$, ряд дисперсий следует признать однородным и можно считать, что дисперсия в определении горячеломкости данных чугунов $s^2_{\text{общ}} = 8,01$ при числе степеней свободы $\sum_{i=1}^N f_i = 10$.

Непараметрическая статистика используется в случаях, когда законы распределения, как правило, либо неизвестны, либо для их установления требуется большая вычислительная работа. Существует большое число так называемых непараметрических критериев, простейшим из которых является критерий знаков. Применение этого критерия иллюстрируется ниже.

Пример 12. Каждый из 14 чугунов перед заливкой модифицировали добавлением модификаторов А и В. Полученные при этом значения прочности чугунов указаны в табл. 4.3. Требуется выяснить, влияет ли вид модификатора на прочность чугуна.

В табл. 4.3 знаками «+» указаны случаи, когда модификатор В давал более высокую прочность, и «—», если при использовании В прочность получалась меньше, чем в случае А. В случаях, когда прочности оказывались одинаковыми, знак отсутствует. Подсчитываем: D = (число положительных знаков) — (число отрицательных знаков), L = (число положительных знаков) + (число отрицательных знаков).

Сравниваем $|D|$ с $2\sqrt{L}$. Если $|D| > 2\sqrt{L}$, можно утверждать с 95%-ной вероятностью, что между двумя вариантами обработки существует различие. В данном случае $D = 10 - 2 = 8$; $L = 10 + 2 = 12$; $2\sqrt{L} = 2\sqrt{12} \approx 2 \cdot 3,5 = 7$. Поскольку $8 > 7$, с 95%-ной вероятностью можно утверждать, что модификатор В приводит к более высокой прочности чугуна по сравнению с модификатором А.

Пример 13. Герметичность отливок определенного типа должна быть 80 ед. Измерение средней герметичности отливок, изготовлявшихся в течение недели, дало следующие результаты: 82; 96; 85; 78; 74; 81; 86; 92; 75; 83; 79; 92; 91; 86; 81; 76; 85; 78; 79; 84; 92. Требуется выяснить, не снизилась ли с начала недели герметичность отливок. Для этого заменим значения герметичности знаками «+», если значение больше 80, и «—», если меньше: + + + — — + + + — + — + + + — + — — + +.

Подсчитаем $D = 14 - 7 = 7$; $L = 14 + 7 = 21$; $2\sqrt{L} = 2\sqrt{21} \approx 2 \cdot 4,6 = 9,2$. Поскольку $7 < 9,2$, то с 95%-ной вероятностью можно утверждать, что с начала недели герметичность отливок не только не снизилась, но даже повысилась.

Пример 14. Измерялись износ чугунных образцов и количество выделений пластинчатого графита (ПГ) в них. Были получены данные, сведенные в табл. 4.4. Требуется выяснить, существует ли зависимость между износом чугуна и количеством ПГ. Для этого в табл. 4.4 подсчитаны средние значения и отмечены знаками «+» и «—» значения, соответственно, больше и меньше средних. Количество пар, в которых оба значения больше или меньше среднего, оказалось равным 10. Количество пар, в которых одно число больше, а другое меньше соответствующего среднего (или наоборот), оказалось равным 2. Таким образом, в данном случае $D = 12 - 2 = 10$; $L = 12$ (общее количество пар); $2\sqrt{L} = 2\sqrt{12} \approx 2 \times 3,5 = 7$. Поскольку $10 > 7$, то с 95%-ной вероятностью можно утверждать, что износ чугунов связан с количеством в них ПГ.

Регрессионный анализ

При решении разнообразных задач часто бывает необходимо найти уравнение (математическую модель), связывающее две или несколько переменных. В общем случае вид модели может быть различным, но здесь будут рассмотрены лишь линейные зависимости типа

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \dots + b_kx_k, \quad (4.31)$$

где y — зависимая переменная; x_i ($i = 1, 2, \dots, k$) — независимые переменные; b_i ($i = 0, 1, 2, \dots, k$) — неизвестные коэффициенты; k — число независимых переменных.

К линейной модели (4.31) можно свести самые разнообразные зависимости. Например, нелинейную модель

$$y = b_0 + b_1 z_1 + b_2 z_2 + b_3 z_1 z_2 + b_4 z_1^2 + b_5 z_2^2,$$

связывающую y с двумя переменными z_1 и z_2 , можно свести к виду (4.31) заменой переменных (см. стр. 724):

$$z_1 = x_1; z_2 = x_2; z_1 z_2 = x_3; z_1^2 = x_4; z_2^2 = x_5.$$

Модель (4.31) часто называют уравнением регрессии, а способ ее построения регрессионным анализом. С помощью регрессионного анализа устанавливается связь между случайной величиной (зависимой переменной y) и неслучайными (независимыми переменными x_i). При этом предполагается, что зависимая переменная y имеет нормальный закон распределения и дисперсия в ее определении не зависит от абсолютной величины, а независимые переменные x_i устанавливаются с пренебрежимо малой ошибкой.

В случае регрессии между двумя переменными строят модель

$$y = b_0 + b_1 x. \quad (4.32)$$

Неизвестные коэффициенты b_0 и b_1 определяют с помощью метода наименьших квадратов. Для этого решают следующую систему нормальных уравнений

$$\left. \begin{aligned} b_0 n + b_1 \sum_{u=1}^n x_u &= \sum_{u=1}^n y_u \\ b_0 \sum_{u=1}^n x_u + b_1 \sum_{u=1}^n x_u^2 &= \sum_{u=1}^n x_u y_u \end{aligned} \right\} \quad (4.33)$$

где u — номер измерения; n — число измерений.

Отсюда:

$$b_0 = \frac{\sum_{u=1}^n y_u \sum_{u=1}^n x_u^2 - \sum_{u=1}^n x_u \sum_{u=1}^n x_u y_u}{n \sum_{u=1}^n x_u^2 - \left(\sum_{u=1}^n x_u \right)^2}; \quad (4.34)$$

$$b_1 = \frac{n \sum_{u=1}^n x_u y_u - \sum_{u=1}^n x_u \sum_{u=1}^n y_u}{n \sum_{u=1}^n x_u^2 - \left(\sum_{u=1}^n x_u \right)^2}. \quad (4.35)$$

Точность определения переменной y при известной переменной x определяется с помощью среднеквадратичного отклонения $s_{\text{ост}}$

$$s_{\text{ост}} = \sqrt{\frac{\sum_{u=1}^n (y_{u_{\text{эксп}}} - y_{u_{\text{расч}}})^2}{n - 2}}, \quad (4.36)$$

где $y_{u_{\text{эксп}}}$ и $y_{u_{\text{расч}}}$ — значения зависимой переменной, соответственно, измеренные экспериментально и рассчитанные по уравнению (4.32).

Пример 15. В табл. 4.5 приведены результаты определения для снятых с модифицированных чугунов отбеливаемости (по клиновой пробе — отношение толщины насквозь отбеленной части клина к наибольшей толщине) и

Таблица 4.5

Анализ связи между отбеливаемостью чугуна и содержанием в нем кремния

Номер, u	x_u (отбел, %)	y_u (Si, %)	$x_u y_u$	x_u^2	y_u^2	$x_u + y_u$	$(x_u + y_u)^2$
1	23	1,73	39,79	529	2,9929	24,73	611,5729
2	35	2,00	70,0	1225	4,0	37,0	1369,0
3	15	1,58	23,7	225	2,4964	16,58	274,8964
4	9	1,60	14,4	81	2,560	10,60	112,360
5	40	2,15	86,0	1600	4,6225	42,15	1776,6225
6	25	1,95	48,75	625	3,8025	26,95	726,3025
7	35	2,25	78,75	1225	5,0625	37,25	1387,5625
8	27	1,81	48,87	729	3,2761	28,81	830,0161
9	7	1,46	10,22	49	2,1316	8,46	71,5716
10	45	2,50	112,50	2025	6,25	47,50	2256,250
11	42	2,35	98,70	1764	5,5225	44,35	1966,9225
12	31	1,90	58,90	961	3,610	32,90	1082,410
Σ	334	23,28	690,58	11 038	46,327	—	12465,487

$$\sum_{u=1}^n (x_u + y_u)^2 = \sum_{u=1}^n x_u^2 + 2 \sum_{u=1}^n x_u y_u + \sum_{u=1}^n y_u^2; \sum_{u=1}^{12} (x_u + y_u)^2 = 11\,038 +$$

$$+ 2 \cdot 690,58 + 46,327 = 12465,487.$$

содержания в сплаве Si. Требуется составить уравнение, связывающее содержание Si (y) в чугуне с отбеливаемостью (x), чтобы, определяя непосредственно в заводских условиях отбел, судить о количестве Si в чугуне.

Все суммы, необходимые для расчета b_0 и b_1 по формулам (4.34) и (4.35), даны в табл. 4.5. С помощью формулы (внизу табл. 4.5) и значений в двух последних столбцах табл. 4.5 проведен контроль правильности выполнения арифметических действий. Рассчитаем по (4.34) и (4.35):

$$b_0 = \frac{23,28 \cdot 11038 - 334 \cdot 690,58}{12 \cdot 11038 - 334^2} = 1,2589;$$

$$b_1 = \frac{12 \cdot 690,58 - 334 \cdot 23,28}{12 \cdot 11038 - 334^2} = 0,02447;$$

Таким образом, можно определять содержание Si в данных чугунах по их отбелу с помощью следующего уравнения:

$$y [\text{Si, \%}] = 1,2589 + 0,02447x [\text{отбел, \%}].$$

Для подсчета среднеквадратичной ошибки предсказания по полученной модели рассчитаем вначале $y_{\text{расч}}$. Например, для первого измерения (см. табл. 4.5)

$$y_1 = 1,2589 + 0,02447 \cdot 23 = 1,82 \text{ и т. д.}$$

Далее вычислим разности $|y_{\text{эксп}} - y_{\text{расч}}|$, возведем их в квадрат, суммируем и по формуле (4.36) определим $s_{\text{ост}}$:

$$s_{\text{ост}} = \sqrt{\frac{1214 \cdot 10^{-4}}{10}} = 0,35\%.$$

В случае множественной регрессии строят модель (4.31). Неизвестные коэффициенты вновь определяют с помощью метода наименьших квадратов. Способ

Выбор вида уравнения для двух переменных

$\bar{x}$	$\bar{y}$	Вид уравнения	Способ линеаризации
$\frac{x_1 + x_n}{2}$	$\frac{y_1 + y_n}{2}$	$y = a + bx$	—
$\sqrt{x_1 x_n}$	$\sqrt{y_1 y_n}$	$y = ax^b$	$z = k + bu$, где $z = \lg y$; $k = \lg a$; $u = \lg x$
$\frac{x_1 + x_n}{2}$	$\sqrt{y_1 y_n}$	$y = ab^x$ или $y = ae^{\beta x}$, где $\beta = \ln b$	$z = k + \beta x$, где $z = \lg y$, $k = \lg a$, $\beta = \lg b$
$\frac{2x_1 x_n}{x_1 + x_n}$	$\frac{y_1 + y_n}{2}$	$y = a + \frac{b}{x}$	$z = ax + b$, где $z = xy$
$\frac{x_1 + x_n}{2}$	$\frac{2y_1 y_n}{y_1 + y_n}$	$y = \frac{1}{a + bx}$	$z = a + bx$, где $z = \frac{1}{y}$
$\frac{2x_1 x_n}{x_1 + x_n}$	$\frac{2y_1 y_n}{y_1 + y_n}$	$y = \frac{x}{a + bx}$	$z = a + bx$, где $z = \frac{x}{y}$
$\sqrt{x_1 x_n}$	$\frac{y_1 + y_n}{2}$	$y = a + b \lg x$	$y = a + bu$ где $u = \lg x$

Таблица 4.7

Выбор уравнения связи между твердостью и износом тормозных колодок из чугуна

$\bar{x}$	$\bar{y}$	$\hat{y}$	$ \hat{y}-\bar{y} $	Вид уравнения
$\frac{x_1 + x_n}{2} = \frac{120 + 360}{2} = 240$	$\frac{y_1 + y_n}{2} = \frac{7 + 0,5}{2} = 3,75$	2	1,75	$y = a + bx$ (не подходит)
$\sqrt{x_1 x_n} = \sqrt{120 \cdot 360} = 207,8$	$\sqrt{y_1 y_n} = \sqrt{7 \cdot 0,5} = 1,87$	2,81	0,94	$y = ax^b$ (мало подходит)
$\frac{x_1 + x_n}{2} = 240$	$\sqrt{y_1 y_n} = 1,87$	2	0,13	$y = ab^x$ (подходит лучше других)
$\frac{2x_1 x_n}{x_1 + x_n} = \frac{2 \cdot 120 \cdot 360}{120 + 360} = 180$	$\frac{y_1 + y_n}{2} = 3,75$	3,5	0,25	$y = a + \frac{b}{x}$ (подходит, но хуже предыдущего)
$\frac{x_1 + x_n}{2} = 240$	$\frac{2y_1 y_n}{y_1 + y_n} = \frac{2 \cdot 7 \cdot 0,5}{7 + 0,5} = 0,93$	2	1,07	$y = \frac{1}{a + bx}$ (мало подходит)
$\frac{2x_1 x_n}{x_1 + x_n} = 180$	$\frac{2y_1 y_n}{y_1 + y_n} = 0,93$	3,5	2,57	$y = \frac{x}{a + bx}$ (не подходит)
$\sqrt{x_1 x_n} = 207,8$	$\frac{y_1 + y_n}{2} = 3,75$	2,81	0,94	$y = a + b \lg x$ (мало подходит)

ПРИМЕНЕНИЕ ЭВМ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Электронные цифровые* вычислительные машины (ЭВМ), появившиеся в 1946 г. как устройства для сверхбыстрых вычислений (30—50 операций/с), в настоящее время получили широкое распространение как эффективное средство механизации и автоматизации процесса обработки различной информации, что вызвало существенное ускорение темпов научно-технического прогресса.

Решение задачи на ЭВМ состоит в последовательном выполнении арифметических и логических операций над числами, для чего решаемая задача расчленяется на ряд элементарных операций с исходными данными и устанавливается их строгая очередность, называемая *алгоритмом* вычислений. Этому этапу предшествует *математическая постановка*, т. е. запись задачи на языке уравнений, неравенств и других формальных средств математики. Представление алгоритма в виде совокупности *команд машины* или текста на одном из универсальных языков программирования (АЛГОЛ, ФОРТРАН, КОБОЛ и др.) называется *программой*.

Применяемые ЭВМ подразделяются по способу управления на три класса (табл. 5.1). К первому классу относятся настольные клавишные вычислительные машины (ЭКВМ) с ручным управлением, используемые для механизации расчетных работ с ограниченным объемом вычислений. Программа расчета на ЭКВМ определяет последовательность операций на клавишном поле машины.

Современные ЭКВМ отличаются относительно высоким быстродействием, развитой системой клавишных микропрограмм для вычисления стандартных функций ($\sqrt{}$, $\sin$, $\lg$, $\ln$ и т. д.), оснащаются запоминающими устройствами для хранения промежуточных результатов вычислений (1—6 числовых ячеек памяти), что делает ЭКВМ наиболее массовым техническим средством механизации учетных и вычислительных работ.

Ко второму классу относятся специализированные управляющие машины (УВМ) с неизменяемой программой, ориентированные в силу своей конструкции на решение узкого круга задач оптимизации и управления однотипными процессами. Исходная информация о состоянии управляемого объекта непрерывно или дискретно поступает от датчиков (схема 5.1). УВМ воспринимает преобразованные в числовую форму сигналы в качестве краевых условий задачи и решает заданную систему уравнений, вырабатывая управляющие воздействия на объект, реализуемые с помощью исполнительных механизмов. Высокое быстродействие УВМ позволяет производить расчеты наиболее выгодного режима опережающим темпом, своевременно прогнозировать возможные отклонения и корректировать ход процесса, т. е. осуществлять оптимизацию процесса в натуральном масштабе времени.

Третий класс составляют универсальные ЭВМ с автоматическим программным управлением. Программа вычислений и числовые данные, перенесенные на машинные носители информации (перфокарты или ленты), вводятся в машину

* Аналоговые вычислительные машины непрерывного действия не получили в литейном производстве заметного распространения.

Характеристика различных ЭВМ, применяемых в литейном производстве

Класс	Тип	Система счисления	Разрядность чисел		Среднее быстродействие, операций/с	Скорость ввода информации		Емкость оперативной памяти, Кбайт*	Скорость вывода информации		Язык программирования	Стоимость машинного времени, руб/ч
			двоичных	десятичных		перфокарт/мин	символов/с		строк/мин	символов/с		
Клавишная ЭВМ	Электроника-ДД	Десятичная	—	14	0,5	Вручную		Одна ячейка	Цифровой индикатор		—	—
УВМ Универсальные ЭВМ: малые	Днепр	Двоичная	26	—	$10 \cdot 10^3$	—	45	4	—	80	—	—
средние	Наири-2	»	36	—	400	—	1500	2	—	80	ЯАП	7
	Мир-1	Десятичная	—	12	300	—	1500	4	—	80	АЛМИР	10
	Минск-22	Двоичная	37	10	$5 \cdot 10^3$	300	—	8	400	400	АКИ, АЛГОЛ, ФОРТРАН, КОБОЛ	30 **
	М-222	»	45	10	$25 \cdot 10^3$	600	—	12—32	400	—	АЛГОЛ-60, ФОРТРАН	35 **
	Минск-32	Двоичная, десятичная	37	9	До $65 \cdot 10^3$	600	—	16—64	400	80	АЛГОЛ, ФОРТРАН, КОБОЛ, АКИ	35 **
	БЭСМ-6	Двоичная	48	12	» $1000 \cdot 10^3$	700	—	32—128	400	—	ФОРТРАН, АЛГОЛ, автокод	100 **
большие	ЕС-1050	Двоичная, десятичная	35	8	» $500 \cdot 10^3$	800	—	512—1024	800	—	АСЕМБЛЕР, ФОРТРАН, ПЛ/1, КОБОЛ	200 **

* 1 Кбайт = 1024 ячейки.

** Прейскурант № У-01 на услуги вычислительных центров (постановление Госкомитета цен при Совете Министров СССР № 653 от 21. XII. 1976 г.).

(схема 5.2) с помощью устройства ввода и помещаются в оперативной памяти. При значительном объеме вычислений часть информации, не используемая на данном этапе работы, ввиду ограниченной емкости оперативной памяти помещается во внешней памяти. Управляющее устройство в соответствии с программой организует вычислительный процесс, координируя работу арифметического устройства, оперативной и внешней памяти, а также устройства вывода, где результаты вычислений представляются в цифровой или графической форме.

Универсальные ЭВМ, нашедшие применение в литейном производстве, существенно отличаются по своим эксплуатационным характеристикам [12], что позволяет эффективно использовать вычислительные машины для решения многообразных задач с учетом их специфики, ограниченного ресурса и высокой стоимости предоставляемого пользователям машинного времени (10—200 руб/ч). Малые ЭВМ отличаются относительно малой стоимостью, простотой освоения и эксплуатации и предназначены для автоматизации инженерных расчетов и решения простых научно-технических задач. Средние ЭВМ обладают значительным объемом оперативной памяти и высоким быстродействием, оснащены математическим обеспечением для автоматизированной пакетной обработки потока задач, включающим трансляторы с наиболее распространенных языков программирования (АЛГОЛ-60, ФОРТРАН и др.), и предназначены для выполнения сложных научно-технических расчетов значительного объема, а также решения различных задач управления в составе автоматизированных систем управления производством (АСУП). Большие ЭВМ отличаются развитым математическим обеспечением для работы в многопрограммном режиме с разделением времени между несколь-

Схема 5.1

**ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА
УПРАВЛЯЮЩЕЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ
МАШИНЫ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ**

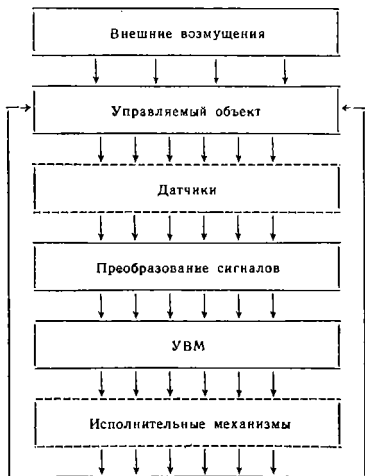
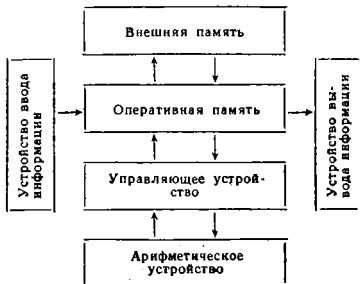


Схема 5.2

**ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА
УНИВЕРСАЛЬНОЙ ЭВМ
С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ**



кими пользователями, имеют существенно увеличенный объем быстродействующей оперативной и внешней памяти, широкий набор внешних устройств вывода (графопостроители, дисплеи и т. д.), что позволяет решать самые сложные задачи обработки информации.

Области применения ЭВМ в литейном производстве разнообразны. Использование ЭВМ для решения задач теории, технологии и управления литейного производства, начиная с 60-х гг. XX в., стремительно расширяется, о чем свидетельствует анализ динамики публикаций [3]. Период удвоения числа работ, посвященных применению математических методов и ЭВМ в литейном производстве, составляет 2,5—4 г., в то время как общий темп развития современной науки характеризуется периодом удвоения около 15 лет. Основными сферами применения ЭВМ являются:

- организация и управление производством (35% работ);
- разработка численных математических моделей литейных процессов (30%);
- автоматизация управления технологическими процессами (16%);
- автоматизация технологической подготовки производства (13%);
- контроль и управление качеством продукции (6%).

Применение ЭВМ в организации и управлении литейным производством наиболее эффективно в форме АСУП, охватывающих широкий круг вопросов управления технической подготовкой производства, технико-экономического планирования и бухгалтерского учета, материально-технического снабжения и сбыта, управления финансами, кадрами, качеством продукции, а также оперативного управления основным и вспомогательным производством.

В настоящее время успешно решены с применением ЭВМ вопросы создания информационно-поисковых систем, формирования оптимального производственного плана литейного цеха на основе различных критериев оптимальности (максимальный выпуск литья в тоннах, максимальный объем продукции в стоимостном выражении, оптимальная загрузка оборудования и т. д.), учета и контроля хода производства по отдельным участкам и цехам, расчета заработной платы, планов по труду и расходу материалов, планов профилактического ремонта оборудования, анализа себестоимости отливок и др. Различные подсистемы АСУП, действующие в литейных цехах, осуществляют функции отображения и анализа информации о ходе процессов, подготавливают варианты управляющих решений и в ряде случаев разрабатывают регламентирующую документацию.

Применение ЭВМ в технологической подготовке производства позволяет осуществить автоматизацию разработки технологического процесса путем решения задачи сортировки (идентификации) рассматриваемых отливок на основе обобщенных статистических данных о существующих технологических процессах, обеспечивающих высокое качество литья, и выделения классов (групп) эталонных отливок (форм, оснастки) и типовых (групповых) технологических процессов.

Начальным этапом решения задачи автоматического проектирования технологии изготовления отливки является проверка гипотезы о принадлежности рассматриваемой отливки к определенной группе (классу), после чего с помощью аналитических зависимостей или статистических связей рассчитываются количественные параметры технологии.

Разработанные системы автоматизации проектирования на основе информации о специфике производства (серийность, состав и свойства исходных материалов) и данных чертежа отливки позволяют без участия технолога произвести выбор расположения отливки в пространстве и положения разъема формы, типа литниковой системы, условий плавки (тип правильного агрегата, состав шихты и т. д.) и заливки металла (состав сплава, температура и продолжительность заливки и т. п.). Необходимое машинное время на ЭВМ типа М-222 составляет 4 мин, в то время как для решения задачи обычными средствами (вручную) требуется 1,5—2 ч, при этом на 50% снижается трудоемкость технологических работ [5].

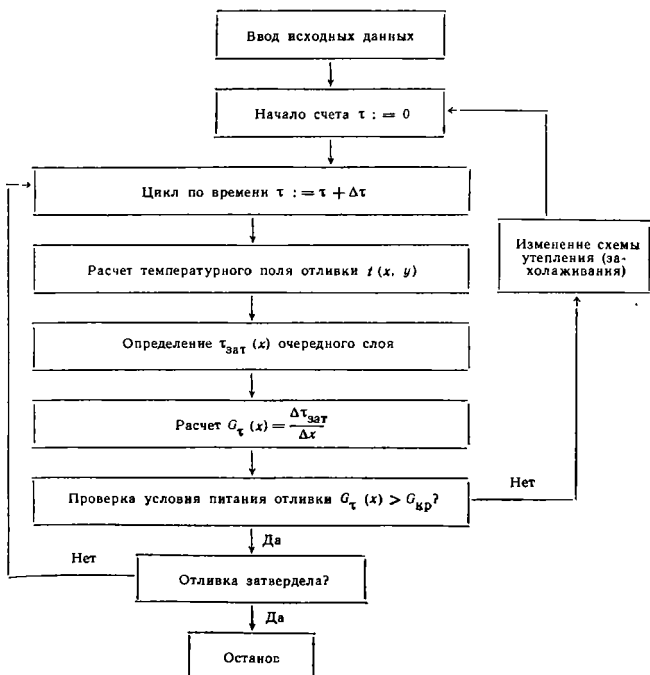
Наиболее перспективной формой автоматизации проектирования литейной технологии является разработка оптимального технологического процесса на базе численных математических моделей формирования качества отливок (см. стр. 732). Примером разработок этого направления является методика численного анализа и оптимизации процесса питания отливок, особенно из ВЧШГ, путем

создания интенсифицированного направленного затвердевания, которое оценивается на основе критического параметра $G_{кр}$, определяемого с учетом коэффициента фильтрации жидкой фазы в зоне затвердевания [4]. Блок-схема вычислительного алгоритма иллюстрирует последовательность автоматического подбора требуемой тепловой активности формы (схема 5.3), т. е. необходимых технологических средств дифференцированного захлаживания (утепления) в различных зонах отливки, из условия $\Delta\tau_{зат}/\Delta x \geq G_{кр}$, где $\Delta\tau_{зат}$ — изменение продолжительности затвердевания в направлении питания Δx с учетом охлаждения жидкого металла при заполнении формы, многократной доливки прибылей, неравномерного отвода тепла в соответствии с принятой схемой применения материалов с различной захлаживающей способностью.

Применение ЭВМ в автоматизированных системах управления технологическими процессами (АСУ ТП) осуществляется в рамках общей системы автоматизированного управления производством и включает ряд устройств для сбора

Схема 5.3

**БЛОК-СХЕМА АЛГОРИТМА РАСЧЕТА УСЛОВИЙ
ИНТЕНСИФИЦИРОВАННОГО НАПРАВЛЕННОГО ЗАТВЕРДЕВАНИЯ
ОТЛИВОК**



первичной информации о ходе процесса и работе оборудования, ее передачи по каналам связи, нанесения информации на машинные носители и ввода в ЭВМ для логической и математической обработки по заданным алгоритмам и выработки управляющих воздействий. Реализованные в литейных цехах АСУ ТП охватывают различные стадии производства отливок:

режим плавки металла в различных агрегатах;
выплавление модельного состава в цехах точного литья;
автоматические поточные линии изготовления, заливки и охлаждения форм;
манипуляторы (роботы) с дистанционным управлением для обслуживания машин литья под давлением, выбивки отливок и т. д.

Автоматизированная система управления поточной линией формовки, заливки, охлаждения и выбивки форм [13] насчитывает 512 входных и 430 выходных периферийных устройств для регистрации состояния оборудования и основных параметров технологического процесса, передачи первичной информации ЭВМ и приема управляющих сигналов. ЭВМ на основе поступающей информации рассчитывает потребность в стержнях (формах) и необходимым количеством персонала, управляет сменой модельных комплектов, режимом работы очистных установок, определяет темп движения заливочного конвейера, фиксирует количество залитых форм, время простоя оборудования и его причины и т. д.

ЭВМ используются для контроля и управления качеством в рамках АСУП, выполняя автоматический сбор, классификацию и анализ информации о браке, отказах оборудования, технологических потерях, обработку данных о результатах контроля исходных материалов и качестве продукции по этапам производства.

Применение ЭВМ для численного моделирования литейных процессов и синтеза сплавов направлено на разработку численных математических моделей двух типов:

1) статистических, получаемых методом регрессионного анализа по результатам пассивного или активного эксперимента *;

2) детерминированных, представленных системой дифференциальных уравнений, решаемых численным методом на ЭВМ.

Статистическая обработка с помощью ЭВМ больших массивов производственных данных и результатов специально поставленных планируемых экспериментов позволяет построить полиномиальные модели вида

$$y = b_0 + \sum b_{1i}x_i + \sum b_{1j}x_ix_j + \sum b_{ii}x_i^2, \quad (5.1)$$

где y — параметр оптимизации, выходная характеристика процесса; x_i — контролируемые входные факторы описываемого процесса; b_0 , b_{1i} , b_{1j} , b_{ii} — коэффициенты регрессии.

На основе совокупности этих данных создается математическое описание процесса, используемое для решения задачи оптимизации, т. е. отыскания набора факторов, обеспечивающих максимум (или минимум) выбранного параметра оптимизации или обобщенного показателя качества [1] при наложении ряда ограничений технического, экономического или организационного характера. Поиск оптимума осуществляется на ЭВМ известными методами вычислительной математики (математическое программирование, градиентные методы, метод Монте-Карло и т. д.) с помощью стандартных программ, имеющихся в математическом обеспечении машины.

По описанной схеме выполнена оптимизация условий выплавки синтетического чугуна в индукционной печи (ИП), анализ оптимальных конструкционных и технологических параметров плавки в вагранке, выбор рационального состава шихты при плавке чугуна, синтез ряда новых литейных сплавов с заданными свойствами [8, 10, 11] и т. д.

Примером может служить разработка статистической модели процесса индукционной плавки СЧ [7]. В опытных плавках, проводившихся по методу планируемых экспериментов [1] в ИП емкостью 80 кг (частота 2500 Гц), варьировали в качестве независимых переменных одиннадцать технологических факторов:

* См. Приложение 4.

C, Si, Mn, P — содержание химических элементов в чугунах, %; $\Delta t_{\text{пер}}$ — перегрев металла при плавке, °C; τ_b — продолжительность выдержки перегретого металла в печи, мин; q_m — расход модификатора ФС75, %; q/Q — доля стальных отходов в шихте; $\Delta t_{\text{зал}}$ — перегрев металла при заливке, °C; H_2O — влажность литейной формы, %; γ — плотность набивки формы, г/см³.

Свойства чугуна характеризовали шестью выходными параметрами — пределами прочности при разрыве σ_b и изгибе $\sigma_{\text{из}}$, стрелой прогиба f , твердостью HB , жидкотекучестью $\lambda_{\text{ж}}$ и глубиной отбела b . На основе обработки результатов опытов были получены уравнения регрессии (по числу выходных параметров), описывающие совокупное влияние исследованных технологических факторов на характеристики СЧ индукционной плавки, например, для предела прочности при разрыве σ_b , кгс/мм²:

$$\begin{aligned} \sigma_b = & 141,5 - 20C (q_m + 0,105) - \\ & - 6,2Si + 107,5q_m + 0,035 \Delta t_{\text{пер}} (1 - \\ & - 3,22q_m) + 0,04 \Delta t_{\text{зал}} - \\ & - 21,4H_2O + 14,3\gamma. \end{aligned}$$

Полученная математическая модель процесса формирования качества СЧ использовалась для поиска оптимальных параметров процесса, обеспечивающих минимизацию отбела в чугунных отливках при заданных ограничениях по величине остальных параметров. Экстремальная задача решалась методом выпуклого программирования. Результаты решения, показанные на рис. 5.1 (для условий: $Mn = 0,75\%$; $P = 0,15\%$; $\tau_b = 15$ мин; $H_2O = 5,5\%$; $\gamma \approx 1,63$ г/см³), позволяют произвольно выбрать состав чугуна для получения различных марок СЧ.

Детерминированные численные модели описывают процесс путем решения совокупности дифференциальных уравнений, соответствующих сопряженным физико-химическим явлениям, процессам тепло- и массопереноса. Решение дифференциальных уравнений производится методом сеток [9], т. е. путем разбиения пространственной области x и временного промежутка t на малые интервалы Δx и Δt , в результате чего соответствующее дифференциальное уравнение преобразуется в систему разностных алгебраических уравнений по числу элементов Δx , последовательно решаемую на каждом шаге по времени Δt одним из известных численных методов [6]. Необходимое машинное время для задач такого типа составляет на машинах среднего класса от 0,1 ч до нескольких десятков часов.

Полученное численное решение сопоставляется с экспериментальными данными, что позволяет в результате корректировки исходной системы уравнений и используемого набора числовых констант достигнуть определенного соответствия расчетной модели и натуры, т. е. осуществить численное моделирование процесса [2], на основе которого устанавливаются основные закономерности исследуемого явления, а также численное значение ранее не известных констант.

Численная математическая модель процесса ваграночной плавки [14] разработана на основе описания совокупности тепловых, гидродинамических и физико-химических процессов, происходящих на различных горизонтах шахты вагранки. При этом в рассмотрение включены следующие явления:

гомогенные газовые реакции в столбе материалов, достигающие при плавке равновесного состояния благодаря интенсивному перемешиванию;

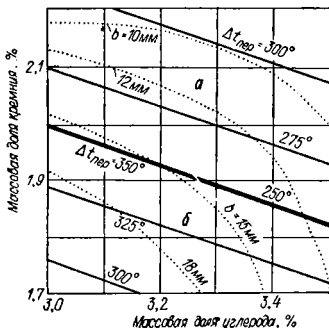


Рис. 5.1. Диаграмма определения состава синтетического немодифицированного чугуна в зависимости от перегрева металла при плавке $\Delta t_{\text{пер}}$ и допустимой глубины отбела b : а — $\sigma_b = 21$ кгс/мм²; б — $\sigma_b = 24$ кгс/мм²

гетерогенные реакции горения и газификации кокса с учетом изменения диаметра и реакционной поверхности кусков, а также порозности слоя в зависимости от реакционной способности кокса, толщины диффузионного пограничного слоя и кинетики транспортных газовых реакций;

конвективный теплообмен между потоком газов и шихтой, между газами, шихтой и стенами шахты, а также между стенами шахты и окружающей средой и лучистый теплообмен в холостой колоше;

теплообмен при фазовых превращениях в результате испарения воды, плавления шихты, разложения известняка и образования шлака;

тепловой и материальный баланс компонентов шихты и продуктов плавки.

Полученная система уравнений использовалась для расчета материальных и энергетических балансов для всех 30—40 элементарных слоев, на которые расчленяется столб материалов. Изменение температуры шихты от колошника до зоны фурм на начальном этапе расчета принимали линейным, затем рассчитывали концентрационные и температурные профили ваграночных газов по высоте вагранки и в случае значительного расхождения с первоначальным осуществляли последовательные приближения (до 6 приближений).

При разбивке столба материалов на 30 элементарных слоев необходимое машинное время составляет 5,5 мин. Было получено удовлетворительное соответствие расчетных и измеренных значений производительности вагранки, температуры коксовой колоши, колошниковых газов и металла в зависимости от температуры и расхода дутья, размера кусков и расхода кокса. С помощью численной модели исследованы показатели работы вагранки с холодным дутьем при дополнительной подаче жидкого топлива на уровне фурм в оптимальном режиме.

Особенно успешно численные методы используются для анализа тепловых процессов при литье. Осуществлен расчет затвердевания и охлаждения для отливок балочного типа и тел вращения с произвольной формой поперечного сечения с учетом зависимости теплофизических характеристик металла и формы от температуры, неравномерного выделения теплоты кристаллизации в температурном интервале затвердевания [2], охлаждения металла при заполнении формы, применения местных холодильников (или утеплителей) и т. д. Разработаны численные модели процессов затвердевания отливок в песчаной и металлической форме, при оболочковом и непрерывном литье.

На основе численного решения задачи затвердевания (охлаждения) металла и нагрева формы разработаны численные модели формирования качества отливок (структуры металла при самопроизвольном и вынужденном зарождении центров кристаллизации, усадочных пустот, газовых включений, ликвации, напряжений и деформаций, поверхностных дефектов типа механического пригара и др.), используемые для построения рациональной технологии литья и устранения брака отливок.

Предметный указатель

- А** автоклав 248—250
автоматизация ваграночной плавки 183—185
— заливки 491—495
— приготовления, подачи и распределения смесей 401
— формовки 413—414
азотирование 97, 639—640
алитирование 640
алюминий для раскисления 151
анализ статистический 711—726
— фаз количественный 40—42
антихлор 115
асбест 398, 457—458
аустенизация структуры 106, 124
аустенит 10, 96, 106, 124—127, 629—631
аэраторы 403
- Б** базы для механической обработки 289
барабан галтовочный 620—621
— дробеметный 618
барда сульфитно-спиртовая 398, 420
бегуны смешивающие 402
бейнит 31, 72, 73, 573
бензосульфокислота 451
бентонит, бентонитовая глина 375, 380
биметалл 602—606
битум 398, 458
борирование 641
брак (дефекты отливок) 450, 473, 646—657
— кокильного литья 512—513
— литья в облицованные кокили 524—525
— оболочковых форм и стержней 448—449
- В** вагранки газовые 185—200
— закрытого типа 164—169
— коксовые 159—185
— коксгазовые 201—203
вакуум-формовка 473—476
валки, валы 568—582, 604—605
вентиляция кокилей 511
— литейной формы и стержней 403, 424
венты 307, 469
вески (подъемы) для стержней 298, 301
виброочистка 621—623
включения металлические 650
— неметаллические 39—40, 650
влажность глины 378
— песка 372
— смесей 399
воздуходувки 174
воздухоподогреватели 171
воронка литниковая 341—343
вскип 650
встряхивание чугуна в ковше 266
втулки для опок 322
выбивка форм и стержней 613—617
— электрогидравлическая 615—617
вылеживание формовочных смесей 402
вылом 654
вязкость жидкого чугуна 19
— статическая 134
— условная 382
- Г** газ природный 154—155
— углекислый 459
газопроницаемость 373, 397, 399
газотворность 384, 401, 471
газы отходящие ваграночные 160, 189—190
— отходящие из индукционных печей 215
— в чугуне 22—25, 216
гигроскопичность 384
гидрокамеры 613, 616
глинорезка 395
глины формовочные 371, 374—381
горелки газовые 185—189
границы стержней 296—298
графит, свойства 8
— оценка формы, размеров, количества, характера распределения 25—31

- графитизация степень 46
графитизация 632—633
груз опочный 407
грунты эмалевые 642
- Д** дезинтеграторы 170
дефекты отливок 473, 646—657
— усадочные 646, 655—657
деформации отливок 661—674
диаграммы состояния Fe—C 7—10
— состояния тройные 10—17
дожигание ваграночных газов 164
дозаторы для шихты 174
дозаторы для шихты 174
документация технологическая 366—368
долговечность глин 375
древесина для моделей 304, 305
дробилка 396
дробь 537
дроссель 343—356
ДС-РАС 398, 462
дуплекс-процесс 226—228, 553
- Ж** жаростойкость 59, 61, 75, 100, 114, 119—121
жгут прокладочный 393
железо, свойства 8
жидкотекучесть 64—65, 75
ЖСС-процесс 456—459, 562—564
- З** заварка дефектов (сварка) 674—689
загрузка вагранок 173
задир 653
закалка 633—636
— изотермическая 636—638
— поверхностная 638—639
залив 651
заливка форм 332, 335, 337, 480—495, 563—564, 580—582
— кокилей 507
замазка для отливок 689—690
— для стержней 393
замер температуры чугуна 488—490
зачистка отливок 624—628
зерно эвтектическое 39, 44
зерновой состав песков 371
— состав глин 378
- И** известковый камень 156
изложницы 582—591
износостойкость 62—64, 73—74, 84—85, 100
искривление отливок 665—674
исправление дефектов отливок 674—690
- К** камеры гидравлические 613, 616
— дробетные 618—619
карбюризаторы 211, 215
каркасы стержневые 298
катализаторы 450—451, 454—455
качество поверхности отливок 283—284
кислота азотная 451
— ортофосфорная 451
клей для оболочковых форм 444, 446
— для стержней 392—393
ковши 480—487
кокиль, изготовление 501—502
— конструкция 497—501
— профилированный 575
кокс литейный 152—153
коллоидальность глин 379
кольца поршневые 598—603
кондукторы для зачистки стержней 325
константа графитизации 45, 132
контакт Петрова 398, 451
контроль качества отливок 551—552, 690—695
— модельно-опочной оснастки 325—326
— противопригарных покрытий 382—385
— склонности чугуна к отбеливанию 231
— смесей 399—401, 434, 455
— твердости 551—552, 569, 574
— температуры жидкого чугуна 232, 488—489
— формовочных глин 378—380
— формовочных песков 372—374
— химического состава 228—230
концентрация водородных ионов (pH) 373, 379
копильники 171, 173
коробление 542, 588, 653
королек 650
коррозионностойкость 59, 74, 86, 100, 103, 104, 108, 114—116
коэффициент габаритности отливки 496
— полезного действия вагранки 176
краски для пенополистироловых моделей 538
— для форм и стержней (см. Покрытия противопригарные) крахмалит 398
крепление форм (опок) 324, 407
кристаллизатор водоохлаждаемый 534—536, 596—598
крошка асбестовая 457
- Л** легирование 162, 545
— ковшовое 255—256
линии формовочные автоматические 413—414
литниковые системы 326—366
— для литья в кокиль 507—511
— для литья в оболочковые формы 445—447
литье автомобильное 552—557
— биметаллическое 602—606

- в кокиль 496—516, 706—709
- в магнитные формы 537—541
- в облицованный кокиль 516—525, 709—710
- в оболочковые формы 437—450
- для тяжелого машиностроения 557—564
- для электротехнической промышленности 564—565
- изложниц 582—591
- многослойное 602
- напорных труб 592—598
- непрерывное 534—537
- по газифицируемым моделям 465—473
- поршневых колец 598—602
- санитарно-техническое 565—568
- станкостроительное 542—552
- труб полунепрерывным способом 595—598
- художественное 606—612
- центробежное 525—534, 568, 592
- чугунных валков и валов 568—582
- лом и отходы черных металлов 144—145
- лопатки дробебетных аппаратов 129, 617
- лучи инфракрасные 428
- люнкерит 582
- М** магний 151
- мазут 152, 398
- маркировка модельного комплекта 303, 306
- маслота 599
- материалы модельные 302—307, 310
- огнеупорные 156—159, 196—197
- присадочные для сварки 679—682
- противопригарные 381—393
- формовочные 369—381
- формовочные вспомогательные 381—393
- шихтовые 138—152
- машины для изготовления оболочковых полуформ и стержней 443—444
- для литья в кокиль 514—515
- для центробежного литья 532—534, 568, 594
- заливочные 492—494
- стержневые 427, 435—436, 444
- формовочные 410—412
- мельницы 396
- метод магнитно-металлографический 44
- механизация заливки 491—495
- литья в кокиль 513—516
- литья в облицованный кокиль 523—525

- формовки 403—412
- микроструктуры чугуна 26—39
- микротвердость 542—543
- миксеры для жидкого чугуна 171, 173, 207—209
- модели литейные 302—312, 325
- пенополистироловые 465—473
- модификаторы 234—235, 241—245, 252—253
- модифицирование 132, 233—254, 560—562, 585
- ВЧШГ 240—251
- ковкого и отбеленного чугунов 252—254, 577—579
- серого чугуна 233—240, 560—562
- молотки рубильные пневматические 622—623, 628
- монтмориллонит 375, 380—381
- Н** набухаемость глины 379
- наладка литниковых систем 366
- напряжения 661—674
- литейные 78
- механические 661—662
- остаточные 664—674
- температурные 662—663
- фазовые 663
- нарос 652
- натр едкий 457
- неполадки при плавке в вагранках 180—182
- нормализация 633—635
- О** обвал 652
- обжим 653
- обработка ВЧШГ термомеханическая 641—642
- чугуна термическая 632—639
- чугуна химикотермическая 639—641
- обрубка отливок 623, 628
- огнеупорность 374, 380
- огнеупоры 156—159, 196—197
- окалиностойкость 121
- окраска модельной оснастки 303
- оливинит 370—371
- опоки 321—324
- осветление воды 479
- осыпаемость формовочных смесей 400
- отбел 654
- отбеливаемость 576—579
- отбеливание чугуна 231
- отверстия лите 284, 313
- отжиг 634—635, 669, 673—674
- графитизирующий 88—91, 95, 632—635
- отпуск 633—636
- отсер 654
- оформление технологической документации 366—368

- охлаждение вагранок 165, 167
 - кокилей 497—498
 - отливок в форме принудительное 548—551
- очистка ваграночных газов от пыли 169—171
 - вибрационная 621—623
 - отливок дробью 617—619
 - электрохимическая 622—623
- П** пайка 675, 681, 685
 - пайкосварка 675, 681—682, 685
 - пасты натирочные 389
 - пек древесный 462
 - пенополистирол 465—473
 - перегрузка динамическая 671—672
 - статическая 669, 671
 - перекос 652
 - перлит 33
 - пески формовочные 369—374, 472
 - пескометы 412
 - печи дуговые электрические 218—221
 - индукционные 204—209
 - пламенные 224—226
 - термические 91
 - электрошлаковые 258
 - пирометр 488—489
 - пирофераль 121, 124
 - питатели 327—332, 358—359, 445—447, 507—511
 - плавка в газовых вагранках 185—201
 - в дуговых электропечах 218—224
 - в индукционных печах 204—218
 - в коксовых вагранках 159—185
 - в коксогозовых вагранках 201—203
 - в пламенных печах 224—226
 - дуплекс-процессом 226—228
 - плакирование 438, 440
 - пластичность глины 378
 - пластмассы для моделей 307, 310—312
 - плиты модельные 314—321
 - модельные для литья в облицованные кокили 518
 - подопочные 324
 - сушильные 324—325
 - плотность жидкого чугуна 22
 - структурных составляющих 58
 - поверхностное натяжение жидкого чугуна 20—21
 - подготовка вагранки к плавке 177—179, 197—200
 - формовочных материалов 394—396
 - подутость 652
 - подрыв 652
 - показатель качества отливок 52
- покрытия противопопригарные 381, 386—393, 470
 - теплозащитные 502—504
 - упрочняющие 389
- получить 72
- поливинилбутираль, 470
- положение отливок в форме 290—295
- пористость 656
 - ситовидная 649
- пресс-форма 468—469
- прибыли 362—366, 523
- пригар 283, 648, 660
- приливы технологические 285
- принцип Шарпи 127
- пропуски на механическую обработку 285—289
 - отрицательные на моделях 312
- припылы 393
- продувка жидкого чугуна газами 250, 264—265
- производительность вагранок удельная 176
- промывка, полупромывка 580—582
- проницаемость магнитная 126
- пропитка отливок 690
- прошпиливание форм 417
- прочность усталостная при вибрации 51
- ПСС-процесс 459—462
- пылеуловители 169—171
- пятна черные 651
- Р** разностенность 653
- разработка чертежей отливки 284—289
- разъем формы 290—295
- раковины газовые 473, 649, 658—659
 - газоусадочные 649
 - песочные 650
 - углеродистые 473
 - усадочные 648
 - шлаковые 650
- рассев размеров отливок 280—282
- расширение предусадочное 67
- регенерация песков из отвальных смесей 476—480, 521
- резка чугуна 623, 628, 689
- рекуператоры 171—172
- ремонт вагранок 177—178, 198—199
 - дуговых электропечей 219—221
 - индукционных печей 209—211
- решетки выбивные 613—615
- рыхлота 649
- С** сборка облицованного кокиля 521—522
 - форм 406, 444, 446
- сварка (заварка дефектов) 674—689
- свойства чугуна литейные 64—67, 75, 86—88, 97, 105, 117, 124, 136—137

- магнитные 59, 126, 538
- механические 50—57, 72, 80, 81—84, 95—96, 102—103, 105, 110—111, 115—116, 121—123, 133—136
- служебные 64, 73—74, 86, 135—136
- технологические 61, 75—76, 86, 135
- физические 58—59, 73, 84—85, 95, 106, 112, 123, 135
- химические 59—61, 74—75, 86, 109, 114, 120
- электрические 59, 73
- связующие 418—420, 431, 451, 455
- сетка с дросселем 349—354
- силикокарбид 10
- сита 372, 395
- складчатость 648
- скорость заливки 491
- охлаждения отливок 545
- смеси для формовки по-сырому 416
- для формовки по-сырому 396—403
- жидкие самоотверждающиеся (ЖСС) 463, 562—563
- захлаживающие 546
- песчано-жидкостекольные 458
- песчано-смоляные холодноотверждающиеся 452—453
- песчано-смоляные, продуваемые катализатором 455
- плакированные 438, 440
- пластичные самоотверждающиеся (ПСС) 459—461
- стержневые 421, 434
- смесители 402, 453
- смолы для получения оболочковых форм и стержней 439
- синтетические для холодноотверждающихся смесей 450—451
- составы разделительные 432—433, 450
- спай 652
- стабилизация размеров отливок 668—674
- стабильность чугуна термическая 643
- старение естественное 674
- статистика математическая 711—726
- стекло жидкое 457
- степень графитизации 46
- деформации 641
- стержни: классификация, границы, фиксация в форме 296—300, 418
- изготовление 420, 422—426
- из ЖСС 465
- из песчано-смоляных холодноотверждающихся смесей 453—454
- из ПСС 461—462
- оболочковые 439—440, 444
- по горячим ящикам 431—437
- стойкость изложниц 589—591
- кавитационная 97
- кокилей 504
- релаксационная 542
- столы дробетные 619
- сульфидирование 641
- сульфиды 38, 40
- суспензия глинисто-угольная 566
- сушила 395, 430
- сушка ковшей 481, 486—487
- форм и стержней 428—430, 585
- Т** твердомер 551
- твердость металла 551—552, 569, 574
- смесей 417
- текучесть формовочных смесей 400
- температура заливки 487
- термоантрацит литейный 152
- термообработка 628, 632—639
- ковкого чугуна 88—91
- термопара 489
- термостойкость 569, 574
- термоудар 672—673
- техника безопасности 183, 216—217, 534
- технологичность отливок 268—274
- технология заливки 490—491
- технические условия на отливки 289
- токи высокой частоты 428
- топливо 152—155
- точность модельной оснастки 303, 307
- отливок 274—283, 289
- трещины в изложницах 538
- горячие 651
- термические 651
- холодные 651, 664—665
- троостит 31
- трубы чугунные 568, 592—598
- У** угар металлургический 163, 190, 214—215
- уголь гранулированный 398
- каменный молотый 398, 457
- ужинина 648, 659—660
- уклон формовочный 284, 306, 314, 319
- стенок кокиля 497
- ультразвук 692—694
- уплотняемость формовочных смесей 401
- усадка 67, 86, 124, 137, 363
- установки выбивающие провальные 613—615
- регенерационные 476—480
- утяжины 649
- Ф** феррит 10, 31, 33
- ферросилид 10, 115
- ферросплавы 146—151

- флюсы 156
- формовка безопасная 403
 - вакуумная 473—476
 - вручную 415—416
 - в почве 415—416
 - машинная 408—414
 - по-сухому 415—417
 - по-сырому 396—415
 - с отверждением в оснастке без нагрева 450—465
- формуемость смесей 400
- формы кокильные 575
- футеровка вагранок 177—178, 196—197, 204
 - дуговых электропечей 219—221
 - индукционных печей 209—211
 - ковшей 481
- Х** холодильники 545—547, 559—560
- Ц** цементит 10, 36, 39
- циркон 470
- Ч** чаша литниковая 341—344
- чеканка 609
- чугун алюминиевый конструкционный 91—100
 - алюминиевый высоколегированный 117—124
 - антифрикционный 62—64, 74, 124
 - аустенитный 110—112, 126, 128
 - белый 127—129, 133
 - ванадиевый 127—131
 - высокопрочный с шаровидным графитом 67—79
 - для литья в кокиль 504—507
 - жаростойкий 100—105, 111—112, 119—121
 - зеркальный 146
 - износостойкий 100—104, 127—131
 - ковкий 81—91
 - коррозионностойкий 104, 114—115
 - кремнистый 112—117
 - марганцовый 124—126
 - немагнитный 125
 - никелевый 106—112
 - окислостойкий 112, 121
 - отбеленный 569
 - ростоустойчивый 112, 119
 - с вермикулярным графитом 79—81, 237
 - серый 45—67, 558—559
 - синтетический 131—137, 565
 - хромовый 100—106
 - чушковый литейный 139—142
 - чушковый передельный 143
- чугуны конструкционные 44—100
 - легированные со специальными свойствами 100—131
- Ш** шамот 157—159, 370
- шероховатость поверхности моделей 303, 307—309
 - поверхности отливков 289
- шихта, материалы 138—152
- шлаки ваграночные 161—163
- шлак карбидный 223—224
 - феррохромовый 460—461
- шлакоуловитель 339—340, 353—357, 446
- шлифы 42—44
- шпат плавиковый 156
- Э** ЭВМ 727—734
- эвтектика фосфидная 17, 34—36
- эвтектичность 47
- эквивалент углеродный 47, 94, 229—230
- экспресс-контроль чугуна по ходу плавки 228—232
- электромагнит 540
- электрофильтры 170—171
- электрошлаковая обработка жидкого чугуна 257—263
- эмалирование 642—645
- Я** ящики стержневые 296—311
 - стержневые нагреваемые 307

Глава I

1. Александров Н. Н., Ключнев Н. И. Технология получения и свойства жаростойких чугунов. М., «Машиностроение», 1964. 171 с.
2. Александров Н. Н., Ковалевич Е. В. Исследование структуры и свойств аустенитных чугунов при высоких температурах. — В кн.: НТИ о работах ЦНИИТмаш. М., 1966, № 58, с. 21—23.
3. Белый износостойкий ванадиевый чугун. — «Литейное производство», 1970, № 6, с. 7—10. Авт.: В. А. Шалашов, Г. И. Сильман, Ю. Н. Таран, А. А. Жуков, В. М. Снаговский, Л. З. Эпштейн, В. А. Тейх, Г. С. Сосновская, В. С. Лучкин.
4. Белякова П. Е., Неймарк Б. Е. Теплофизические свойства износостойких чугунов. — «Литейное производство», 1973, № 12, с. 20—22.
5. Бобро Ю. Г. Алюминиевые чугуны. Харьков, ХГУ, 1964. 195 с.
6. Бобро Ю. Г. Легированные чугуны. М., «Металлургия», 1976. 286 с.
7. Бунин К. П., Малиночка Я. Н., Таран Ю. Н. Основы металлографии чугуна. М., «Металлургия», 1969. 414 с.
8. Васильев Е. А. Отливки из ковкого чугуна. М., «Машиностроение», 1976. 238 с.
9. Ващенко К. И. Химически стойкие отливки. М., Машгиз, 1946. 130 с.
10. Ващенко К. И., Софрони Л. Магнийевый чугун. Москва—Киев, Машгиз, 1960. 487 с.
11. Вертман А. А., Самарин А. М. Свойства расплавов железа. М., «Наука», 1969. 280 с.
12. Влияние модифицирования и технологии плавки на свойства синтетического чугуна. — «Литейное производство», 1969, № 1, с. 26—28. Авт.: Л. Б. Коган, Г. Ф. Горбульский, С. К. Кантенин, А. В. Островерхов.
13. Влияние шихтовых материалов на структуру и свойства чугуна с пластинчатым шаровидным графитом. ЛДНТП, 1975. 33 с. Авт.: Н. Г. Гиршович, А. Я. Иоффе, В. С. Голицын, Л. Р. Зоммер, В. В. Евсиков.
14. Волков А. Н. Влияние молибдена на свойства марганцового чугуна. — «Литейное производство», 1974, № 5, с. 46.
15. Воробьева Э. Л., Мигачев Б. А., Скоблю Т. С. Структура белого чугуна и ее соответствие правилу Шарпи. — «Металловедение и термическая обработка металлов», 1975, № 5, с. 48.
16. Гиршович Н. Г. Кристаллизация и свойства чугуна в отливках. Л., «Машиностроение», 1966. 562 с.
17. Гиршович Н. Г., Иоффе А. Я., Белицкий В. А. Повышение качества чугуна при выплавке в индукционной печи и дулекс-процессом. ЛДНТП, 1976. 30 с.
18. Гиршович Н. Г., Иоффе А. Я., Еремин В. М. Обеспечение герметичности отливок из чугуна с пластинчатым графитом. — «Литейное производство», 1976, № 6, с. 9—11.
19. Гольденберг Л. И. Плавка синтетического чугуна в дуговых печах. — «Литейное производство», 1972, № 8, с. 38—40.

20. Гречин В. П. Износостойкие чугуны и сплавы. М., Машгиз, 1961. 125 с.
21. Дефранк Ш., Эшем Ж. А., А. де Си. Дальнейшее исследование Al-чугуна, модифицированного добавкой значительного количества кальция. — В кн.: Труды 40-го Международного конгресса литейщиков. М., НИИМаш, 1975, с. 157—173.
22. Довгалецкий Я. М. Чугуны с особыми свойствами. М., Metallurgizdat, 1957. 198 с.
23. Еремин Н. И., Решеткина Н. А. Магнитная металлография. — В кн.: Физико-химические исследования металлов. М., ЦНИИТмаш, 1953, кн. 59, с. 58—71.
24. Жуков А. А. Геометрическая термодинамика сплавов железа. М., «Металлургия», 1971. 272 с.
25. Жуков А. А. Основы расчета состава, структуры и прочности чугуна. — В кн.: «Вопросы теории литейных процессов». М., Машгиз, 1960, с. 163—168.
26. Жуков А. А., Эпштейн Л. З., Сильман Г. И. Микроструктура стали и чугуна и принцип Шарпи. — «Изв. АН СССР. Металлы», 1971, № 2, с. 145.
27. Кириевский Б. А., Затуловский С. С., Корниенко А. С. Структурообразование и свойства чугуна, легированного алюминием, при суспензионном литье. — В кн.: Новые конструкционные материалы. Киев, «Знание», 1975, с. 142—156.
28. Ключнев Н. И. Высокопрочный чугун с шаровидным графитом. М., Машгиз, 1963. 211 с.
29. Коган Л. Б. Структурные диаграммы для синтетического чугуна. — «Литейное производство», 1972, № 11, с. 13—14.
30. Криштал М. А., Титенский Э. Г. Свойства ковкого чугуна. М., «Металлургия», 1967. 230 с.
31. Куликов В. И., Александров Н. Н. Свойства и применение легированных чугунов в странах СЭВ. — «Литейное производство», 1971, № 3, с. 2—4.
32. Леви Л. И. Азот в чугуне для отливок. М., «Машиностроение», 1964. 228 с.
33. Леви Л. И., Клецкин Я. Г. Жидкотекучесть чугуна. — «Литейное производство», 1972, № 3, с. 37.
34. Лядский В. Б. К вопросу об износостойчивости аустенитных чугунов. — В кн.: Труды Таджикского сельскохозяйственного института. Т. 2, 1958. 125 с.
35. Малиночка Я. Н., Осада Н. Г. Выявление внутрикристаллической ликвации в сталях и чугунах методом травления. — «Заводская лаборатория», 1962, № 3, с. 315.
36. Материалы для карбюраторных двигателей. М., «Машиностроение», 1969. 223 с. Авт.: А. В. Лакедемонский, Ю. Е. Абраменко, Е. А. Васильев, А. Г. Возлинский.
37. Меськин В. С., Сомин Б. Е. Электротехнические чугуны. М., ОНТИ, 1935. 136 с.
38. Паттерсон В. Влияние присадок, вводимых в ковш, на свойства чугуна. — В кн.: 25-й Международный конгресс литейщиков. М., Машгиз, 1961, с. 93—122.
39. Пивоварский Е. Высококачественный чугун. Пер. с нем. М., «Металлургия», 1965. 1164 с.
40. Плавка синтетического чугуна в индукционных печах и ее технология на Каунасском литейном заводе «Центролит». Под ред. Н. Г. Гиршовича. Вильнюс, «Минтис», 1974. 297 с.
41. Процессы микродеформации у включений графита в синтетическом чугуне. — «Литейное производство», 1973, № 11, с. 25—26. Авт.: В. М. Финкель, А. М. Мордухович, В. П. Кашин, В. Н. Агеев, И. С. Ивахненко.
42. Рабинович Б. В. Введение в литейную гидравлику. М., «Машиностроение», 1966. 423 с.
43. Репина Н. И., Лев И. Е., Яценко А. И. Особенности фазовых переходов и ликвация меди в сплавах Fe—C—Si. В кн.: Структура и свойства чугуна и стали. М., «Металлургия», 1967, т. 26, с. 62—70.
44. РТМ. Технология плавки и внепечной обработки серого, ковкого и высокопрочного чугуна. ВНИИТмаш, ВПТИлпром, ВНИИТмаш, ЦНИИТмаш, ИПЛ АН УССР, НИИСЛ. М., 1976. 287 с.

45. Салтыков С. А. Стереометрическая металлография. М., Metallurgizdat, 1975. 446 с.
46. Сильман Г. И. Методика термодинамического анализа строений систем в области трехфазного равновесия. — В кн.: Диаграммы состояния металлических систем. М., «Наука», 1971, с. 233—237.
47. Сильман Г. И., Жуков А. А., Элштейн Л. З. Кристаллизация ванадиевых чугунов с инвертированной структурой карбидной эвтектики. — В кн.: Литейные свойства сплавов. Киев, ИПЛ АН УССР, 1972, с. 201—204.
48. Сильман Г. И., Фрольцов М. С., Болховитина Н. А. Влияние термической обработки на структуру и свойства легированного белого чугуна. — «Металловедение и термическая обработка металлов», 1976, № 2, с. 16—18.
49. Справочник. Материалы в машиностроении. Т. 4. М., «Машиностроение», 1969. 248 с.
50. Справочник по изготовлению отливок из высокопрочного чугуна. М., Mashgiz, 1963. 297 с. Авт.: А. А. Горшков, М. В. Волощенко, В. В. Дубров, О. Ю. Крамаренко.
51. Справочник по чугунному литью. Под ред. Н. Г. Гиршовича. Л.—М., Mashgiz, 1961. 800 с.
52. Структурные диаграммы для синтетического чугуна. — В кн.: «Вопросы металлургии и физики металлов». Тула, 1972, с. 217—221. Авт.: Н. Г. Гиршович, А. Я. Иоффе, В. В. Евсиков, А. М. Иванов.
53. Технология получения и свойства высокопрочного чугуна с вермикулярным графитом. — «Литейное производство», 1976, № 8. с. 12—14. Авт.: Н. Н. Александров, Б. С. Мильман, Л. В. Ильичева, Н. Г. Осада, В. В. Андреев.
54. Тодоров Р. П. Структура и свойства ковкого чугуна. М., «Машиностроение», 1974. 159 с.
55. Храпковский Э. Я. Структура и прочность тонкостенных отливок из серого чугуна. М., «Машиностроение», 1965. 116 с.
56. Чугунное литье в станкостроении. Под ред. Г. И. Клецкина. М., «Машиностроение», 1975. 320 с.
57. Шапранов И. А. Отливки из магниевого чугуна. Технология изготовления. РМО 1171—62, 1962. 78 с.
58. Шумихин В. С., Лузан П. П., Жельнис М. В. Синтетический чугун. Киев, «Наукова думка», 1971. 156 с.
59. Юкалов И. Н. Отливки из химически стойких сплавов. М., «Машиностроение», 1964. 68 с.
60. Bobro J. G. Particularités de la structure et de propriétés des fontes à l'aluminium. 43-ème Congrès international de Fonderie, N 26. Bucaresti, 1976. 14 p.
61. Collins H. H. Graphitic corrosion of cast iron. — «BCIRA Journal», 1962, № 5, p. 543—550.
62. Der Einsatz des Werkstoffes Gusseisen mit Vermiculargraphit aus technischer und wirtschaftlicher Sicht. — «Giesserei-Praxis», 1972, № 22, S. 396—400. Autoren: I. Siggenér, W. Thury, R. Hummer, E. Nechtelberger.
63. Holzmüller A. Gusseisen mit Vermiculargraphit — ein Spezialwerkstoff für den Motorenbau. — «Giesserei», 1976, № 10, S. 281—285.
64. Sakwa W. Zeliwo. Wydawnictwo «Ślask», 1974. 413 S.
65. Walton C. F. Gray and ductile iron castings. Handbook. Cleveland, 1971, 679 p.
66. Zhukov A. A., Snezhnoy R. L., Girshovitch N. G. Soviet research work on the liquid state of cast iron. — «International cast metals journal», 1976, p. 11—16.

Глава II

1. Анализ существующих и выбор наиболее целесообразных направлений процесса плавки чугуна в литейных цехах отрасли тракторного и сельскохозяйственного машиностроения. Отчет ВНИИТмаш № 131—67. Волгоград, 1968. 62 с.
2. Баккер И. Опыт эксплуатации вагранки, оборудованной системами автоматического контроля. — В кн.: 40-й Международный конгресс литейщиков. М., НИИМаш, 1975, с. 130—154.

3. Влияние химического состава на свойства. — «Литейное производство», 1968, № 12, с. 29—31. Авт.: Л. Б. Коган, А. В. Островерхов, С. К. Кантенник, Г. Ф. Горбульский.
4. Гиршович Н. Г. Чугунное литье. М.—Л., «Металлургия», 1949. 708 с.
5. Гиршович Н. Г., Иоффе А. Я., Белицкий В. А. Дуплекс-процесс — прогрессивный метод плавки серого чугуна. ЛДНТП, 1976. 28 с.
6. Горшенков А. Н. Футеровки для печей промышленной частоты. М., НИИинформтяжмаш, 1974, № 9-74-1, с. 30—34.
7. Грачев В. А. Дуплекс-процессы плавки чугуна в СССР и за рубежом. М., НИИинформтяжмаш, 1973, № 9-73-3. 48 с.
8. Грачев В. А. Применение газового и жидкого топлива для плавки чугуна. М., НИИинформтяжмаш, 1970, № 9-70-11. 40 с.
9. Двоскин С. М. Увеличение производительности и длительности непрерывной работы вагранок. — «Литейное производство», 1974, № 3, с. 39—40.
10. Ефименко Г. Г., Гимельфарб А. А., Левченко В. Е. Металлургия чугуна. Киев, «Высшая школа», 1970. 487 с.
11. Индукционные тигельные печи промышленной частоты для плавки черных и цветных металлов (каталог). М., «Информэлектрон», 1970. 22 с.
12. Каталог. Дуговые сталеплавильные электропечи емкостью 6—100 т. М., «Информэлектрон», № 14. 01-08—1974. 20 с.
13. Леви Л. И., Мариенбах Л. М. Основы теории металлургических процессов и технология плавки литейных сплавов. М., «Машиностроение», 1970. 495 с.
14. Макаров Л. П., Гольденберг Л. И., Катунин В. В. Экономическая эффективность внедрения выплавки синтетического чугуна в индукционных печах. М., Черметинформация, 1970. 65 с.
15. Мариенбах Л. М., Юдкин А. К., Панов В. А. Влияние расхода воздуха и кокса на условия ваграночной плавки. — «Литейное производство», 1967, № 6, с. 28—30.
16. Плавка синтетического чугуна в индукционных печах и ее технология на Каунасском литейном заводе «Центролит». Под ред. Н. Г. Гиршовича. Вильнюс, «Минтис», 1974. 227 с.
17. Плавка чугуна в коксогоазовой вагранке. — «Литейное производство», 1965, № 12, с. 1—3. Авт.: Г. И. Клецкин, Ю. С. Сухарчук, Б. П. Благонравов, Н. Л. Соболев, В. Е. Дьяконов, В. Д. Рабинович.
18. Применение вагранки длительного действия. Реферативная информация. М., НИИинформтяжмаш, 1973, № 9-73-6. 11 с.
19. Рысс М. А. Производство комплексных модификаторов. — В кн.: Высокопрочный чугун с шаровидным графитом. Киев, «Наукова думка», 1974, с. 96—103.
20. Сравнительное исследование свойств чугунов, выплавленных в индукционных печах и вагранках. Под ред. Н. Г. Гиршовича. Вильнюс, «Минтис», 1972. 136 с.
21. Технический прогресс и топливоэнергопотребление в черной металлургии. М., «Металлургия», 1975, с. 29—31. Авт.: Н. И. Перлов, А. П. Егоричев, А. П. Петраковский, А. А. Федотов, Н. П. Банный.
22. Чугунное литье в станкостроении. Под ред. Г. И. Клецкина. М., «Машиностроение», 1975. 320 с.
23. Юдкин А. К., Оберман Я. И. Современные плавильные агрегаты для плавки чугуна. М., ВНИИЭСМ Министройдормаша СССР, 1973. 73 с.
24. Calcul automatique des lits de fusion economiques pour le cubHot. — «Fonderie», 1974, N 330, p. 3—7.
25. Diamond G. X. New source of iron challegens scrap and pig. — «Modern Casting», 1971, N 3, p. 64—66.

Глава III

1. Ващенко К. И. Модифицированный чугун. М., 1946. 231 с.
2. Ващенко К. И., Софрони Л. Магниевый чугун. Москва—Киев, Машгиз, 1960. 487 с.
3. Волощенко М. В. О фазовых превращениях в магниевом чугуне, легированном марганцем. Киев, НТОмашпром, 1958. 23 с.

4. Воронова Н. А., Могильцев О. А., Штейн Г. Н. Качество доменного чугуна и пути его повышения. Киев, УкрНИИТИ, 1972. 51 с.

5. Герметизированные ковшки для обработки чугуна магнием. М., ЦНИИТмаш, 1958. 37 с. Авт.: Б. С. Мильман, Н. И. Клочнев, В. Т. Лисицын, М. А. Полозков.

6. Гиршович Н. Г. Кристаллизация и свойства чугуна в отливках. Л.—М., «Машиностроение», 1966. 562 с.

7. Графитизация белых чугунов, модифицированных теллуром. — «Литейное производство», 1975, № 10, с. 9. Авт.: В. Н. Гершун, Е. А. Васильев, В. Г. Федорченко, В. А. Эксанов.

8. Грачев В. А., Черный А. А. Современные методы плавки чугуна. Саратов, Приволжское книжное издательство, 1973. 337 с.

9. Кокильное литье. Справочное пособие. М., Машиностроение, 1967. 460 с. Авт.: Н. Г. Дубинин, О. А. Беликов, А. Ф. Вязов, В. А. Комиссаров, К. П. Косяков, А. П. Судариков, Э. А. Чернин.

10. Лютый И. Ю., Латаш Ю. В. Изменение содержания серы и углерода в чугуне при электрошлаковой плавке. — «Литейное производство», 1973, № 6, с. 43—44.

11. Модифицирование ваграночного чугуна синтетическим. — «Литейное производство», 1971, № 12, с. 37. Авт.: И. А. Дибров, В. А. Комиссаров, С. А. Добня, В. С. Зайцев, Б. Б. Зенков.

12. Модифицирование чугуна в форме. — «Литейное производство», 1975, № 1, с. 32. Авт.: Л. В. Перегудов, Г. С. Сосновская, Н. С. Мартынец, А. П. Киреев, Ю. Я. Ненахов.

13. Модифицирование чугуна комплексными модификаторами с РЗМ и иттрием. — «Литейное производство», 1975, № 7, с. 3—5. Авт.: Н. Н. Александров, Б. С. Мильман, Л. В. Ильичева, С. Д. Моисеев, В. Д. Косынкин, В. В. Супруненко.

14. Продукция черной металлургии. Каталог. Комплексные сплавы для легирования, раскисления и модифицирования. М., 1973. 37 с.

15. Рыжинов А. А. Теоретические основы литейного производства. М., Машгиз, 1961. 447 с.

16. Опыт производства и применения легирующих сплавов с редкоземельными элементами. Запорожье, «Металлургия», 1975. 47 с.

17. Справочник по изготовлению отливок из высокопрочного чугуна. М., Машгиз, 1961. 300 с. Авт.: А. А. Горшков, М. В. Волощенко, В. В. Дубров, О. Ю. Крамаренко.

18. Справочник по чугунному литью. 2-е издание. Под ред. Н. Г. Гиршовича. М.—Л., Машгиз, 1961. 800 с.

19. Суспензионная заливка чугуна. — «Литейное производство», 1975, № 8, с. 24—25. Авт.: Л. С. Этелнс, И. Е. Блохин, В. А. Плотников, В. Г. Бабенков.

20. Технология получения чугуна с шаровидным графитом (обзор). М., НИИмаш, С-Х-2, 1974. 73 с. Авт.: Ю. С. Лернер, А. А. Самарин, Ю. И. Сенкевич, Р. Л. Снежной, Е. Б. Шнцман, А. М. Яковский, Д. И. Яский.

21. Турбовский М. М. Жидкое модифицирование. — «Литейное производство», 1952, № 6, с. 16; 1956, № 2, с. 15; 1959, № 3, с. 4; 1962, № 7, с. 22.

22. Ферри Р. Исследование синергетического модификатора для высокопрочных конструкционных чугунов. 34-й Международный конгресс литейщиков. М., «Машиностроение», 1971, с. 41—54.

23. Фраш А. Анализ графитизирующих модификаторов. — «Przegląd odlewów», 1973, № 10, с. 312—320.

24. Чугунное литье в станкостроении. Под ред. Г. И. Клецкина. М., «Машиностроение», 1975. 320 с.

25. Шалашов В. А. Комплексные модификаторы. — «Литейное производство», 1972, № 9, с. 38.

26. Mc Canlay I. I. Production of nodulargraphite iron castings by the in mold process. — «Foundry trade journal», 1971, April 15, p. 327—335.

27. Modi E. K. Übersicht über die Behandlungsverfahren zur Herstellung von Gusseisen mit Kugelgraphit. — «Giesselei», 1969, 56, N 14, S. 416—421;

«Foundry», 1970, 98, № 7, p. 42—48; «British Foundrymen», 1970, 63, № 6, p. 193—199.

28. Neumann F. Metallurgische Schmelzföhrung und ihre Bedeutung für die Treffsicherheit der Gusseiseneigenschaften beim induktiven Schmelzen. BBC, Verlag W. Girardet, Essen, 1972. 95 S.

29. Piaskowski J., Jankowski A. Zeliwo sferoidalne. Warszawa, «Naukowo—Techniczne», 1974. 433 s.

30. Sofroni L., Stefanescu D. Fonta Modificate. Bucuresti, «Editure Technica», 1971, 389 p.

Глава IV

1. Аксенов П. Н. Технология литейного производства. Том 1. М., Машгиз, 1946. 487 с.

2. Анисимов Н. Ф., Благов Б. Н. Проектирование литых деталей. М., «Машиностроение», 1967. 272 с.

3. Балабин В. В. Модельное производство. М., «Машиностроение», 1970. 158 с.

4. Бурдун Г. Д. Справочник по международной системе единиц. М., Издательство стандартов, 1972. 231 с.

5. Вишняков Н. В. Размерные расчеты при проектировании оснастки для изготовления литейных форм. — В кн.: Точность и качество поверхности отливок. Под ред. Ф. Д. Оболенцева. М., 1962, с. 25—30.

6. Воробьев Ю. А. Теоретические и экспериментальные исследования точности отливок. — В кн.: Точность отливок. Под ред. Б. Б. Гуляева, —1960, с. 29—53.

7. Гуляев Б. Б. Современное состояние точности отливок. — В кн.: Точность отливок. М., 1960, с. 6—18.

8. Гурман В. С. Теория вероятностей и математическая статистика. М., «Высшая школа», 1972. 361 с.

9. Дубицкий Г. М. Литниковые системы. Москва—Свердловск, Машгиз, 1962. 256 с.

10. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям, 2-е издание. М., «Машиностроение». 1975. 559 с.

11. Изготовление стержней по нагреваемой оснастке. М., «Машиностроение», 1970. 213 с. Авт.: Г. В. Просняник, Г. И. Бобряков, В. А. Соколова, Р. Г. Данилевская, М. К. Соков, В. В. Любимов.

12. Куртов И. Ф., Платонов Б. П. Повышение качества отливок блоков цилиндров автомобильного двигателя. ЦБТИ Автомобильной промышленности. М., 1959. 35 с.

13. Ложичевский А. С. Литейные металлические модели. М., «Машиностроение», 1973. 346 с.

14. Минаев И. М. Изготовление каркасов в литейном производстве. М., «Высшая школа», 1972. 190 с.

15. Платонов Б. П. Размерные расчеты литейной формы. Горький, ВВКИ, 1970. 173 с.

16. Платонов Б. П. Расчет припусков на обработку отливок. — «Литейное производство», 1972, № 4, с. 5—9.

17. Повышение точности отливок и эксплуатационной надежности литых деталей. Сборник. Под редакцией Ф. Д. Оболенцева. Одесса, 1975. 182 с.

18. Просняник Г. В. Технология изготовления оболочковых форм и стержней. М., «Высшая школа», 1971, с. 235—237.

19. Рабинович Б. В. Введение в литейную гидравлику. М., «Машиностроение», 1966. 423 с.

20. Рабинович Б. В. Экспериментальное исследование затвердевания отливок из белого чугуна и определение размеров боковых прибылей. — В кн.: Затвердевание металлов. М., 1958, с. 428—445.

21. Розенфельд С. Е., Эльберт С. А. Анализ размерной точности производства крупных и средних станочных чугунных отливок. М., ЦБТИ, ЭНИМС, 1959, с. 54.

22. **Справочник** по чугунному литью. Под ред. Н. Г. Гиршовича, Изд. 2-е. М.—Л., Машгиз, 1961. 800 с.
23. **Bishop H. F. and Ackerlind C. G.** Dimensioning of risers for nodular iron castings. — «Foundry», 1956, N 12, p. 115—119.
24. **Dietert H. W.** How fast should a mold be poured. — «Foundry», 1953, N 8, p. 205—206.
25. **Kauseud H.** Vertikale Anschnittechnik für kastenlose Grünsand-Hochdruckformen. — «Giesserei-Praxis», Berlin, 1975, N 8, S. 127—132.
26. **Wallace J. F. and Evans E. B.** Gating of gray iron castings. — «AFS Transactions», v. 65, 1957, p. 267—275.
27. **Wallace J. F. and Evans E. B.** Riserling of gray iron castings. — «Modern castings», v. 33, 1958, N 3, p. 39—45.

Г л а в а V

1. **Абрамов Г. Г.** Повышение качества чугунных отливок. М., «Московский рабочий», 1975, с. 60—76.
2. **Аксенов П. Н.** Оборудование литейных цехов. М., «Машиностроение», 1968. 458 с.
3. **Берг П. П.** Формовочные материалы. М., Машгиз, 1963. 408 с.
4. **ВНИИлитмаш.** Технология изготовления стержней и форм из ЖСС в условиях единичного и мелкосерийного производства. Руководящие материалы. М., НИИмаш, 1970. 256 с.
5. **Водные** самотвердеющие противопожарные краски на органических связующих. — В кн.: Обмен опытом внедрения технологии изготовления литейных стержней и форм из жидких самотвердеющих смесей. НИИинформтяжмаш, 1966. 346 с. Авт.: А. Е. Соколов, А. Л. Садомский, Е. М. Носова, А. А. Юхимец.
6. **Гетьман В. Г., Кремнев А. А.** Зарубежные заливочные установки. — Научно-технический и реферативный сборник «Литейное машиностроение», М., НИИмаш, 1973, № 4, с. 6—10.
7. **Дорошенко С. П., Ващенко К. И.** Приборы и контроль свойств исходных материалов и наливных самотвердеющих смесей. М., НИИмаш, 1971. 44 с.
8. **Изготовление** и отделка форм и стержней, сборка форм и подготовка их к заливке. Технологические регламенты ОС2-040-78—69, ОС2-040-79—69, ОС2-040-80—69. М., НИИмаш, 1969. 20 с.
9. **Изготовление стержней на пескодувных машинах.** Руководящие материалы. М., НИИмаш, 1971. 108 с.
10. **Изготовление стержней по нагреваемой оснастке.** М., «Машиностроение», 1970. 216 с. Авт.: Г. В. Просяник, Г. И. Бобряков, В. А. Соколова, Р. Г. Данилевская, М. К. Соков, В. В. Любимов.
11. **Лясс А. М.** Быстротвердеющие формовочные смеси. М., «Машиностроение», 1965, с. 61—68, 287—309.
12. **Магнитодинамическая установка для подогрева и разлива чугуна.** — «Литейное производство», 1974, № 4, с. 12—13. Авт.: В. П. Полищук, В. К. Погорский, С. Д. Манеев, В. Ф. Злобин, П. И. Загоровский, В. Е. Яковчук, В. Н. Кочерга, Г. К. Голубчик, В. В. Кулик, Е. В. Веринский, Ю. А. Зисс.
13. **Медведев Я. И., Валисовский И. В.** Технологические испытания формовочных смесей. М., «Машиностроение», 1973. 312 с.
14. **Медведев Я. И.** Газы в литейной форме. М., «Машиностроение», 1965. 239 с.
15. **Нормали машиностроения.** МН 5100—63—МН 5105—63. Ковши для жидкого металла ручные. 36 с. МН 5106—63—МН 5110—63. Ковши для жидкого металла монорельсовые. 12 с. МН 5182—63—МН 5193—63. Ковши для жидкого металла крановые. 28 с.
16. **Озеров В. А., Шуляк В. С., Плотников Г. А.** Литье по моделям из пенополистирола. М., «Машиностроение», 1970. 182 с.
17. **Определение основных параметров магнитной формы.** — «Литейное производство», № 7, с. 10—12. Авт.: М. Б. Закута, В. С. Шуляк, Л. С. Панасюк, А. М. Музыкант.
18. **Павлов В. А.** Пенополистирол. М., «Химия», 1973. 239 с.

19. Проектирование машиностроительных заводов и цехов. Т. 2. Проектирование литейных цехов и заводов. Под ред. В. М. Шестопада. М., «Машиностроение», 1974. 294 с.
20. Присяник Г. В. Технология изготовления оболочковых форм и стержней. М., «Высшая школа», 1971. 272 с.
21. Противопригарные покрытия для форм и стержней. М., «Машиностроение», 1968. 96 с. Авт.: К. М. Ткаченко, Л. Ф. Кемлер, Н. И. Давыдов, Г. С. Баясникова.
22. Разумов К. А. Проектирование обогатительных фабрик. М., «Недра», 1970. 591 с.
23. Рубцов Н. Н., Балабин В. В., Воробьев М. И. Литейные формы. М., Машгиз, 1959. 558 с.
24. Рывкис Я. М., Юдкин А. К. Технология и оборудование для плавки цветных и черных сплавов. М., НИИмаш, 1974. 36 с.
25. Системы литниковые для чугуна литья в оболочковые формы. МН 2422—61—МН 2448—61. 26 с.
26. Сосненко М. Н. Приготовление формовочных и стержневых смесей. М., «Высшая школа», 1972. 256 с.
27. Степанов О. А., Семенов В. И. Формовочные материалы. М., «Машиностроение», 1969. 156 с.
28. Технологическая инструкция № 4Л 67/70. Свердловск, Уралмашзавод. 97 с.
29. Типаж литейного оборудования на 1971—1975 гг. М., НИИмаш, 1972. 155 с.
30. Хинчин А. С. Сокращение времени сушки крупных литейных форм. М., ЦИТЭИН, 1959, № М-59-450/36. 25 с.
31. Хинчин А. С. Сокращенные режимы поверхностной сушки крупных литейных форм для стальных отливок. М., ГОСИНТИ, 1962, № М-62-136/15. 17 с.
32. Черногоров П. В., Никифоров А. П. Пластичные самотвердеющие смеси в литейном производстве. Южно-Уральское книжное издательство, 1970. 84 с.
33. Шацких М. И. Формовочные и стержневые смеси. Л., «Машиностроение», 1969, с. 64—70.
34. Шакин А. Н. Типаж и размерные ряды сушил литейных цехов машиностроительных заводов. — В кн.: Сушка сыпучих материалов и формовочных изделий в литейных цехах машиностроительных заводов. Под ред. Я. И. Лифшица. — Труды ВНИПИ «Теплопроект», 1973, вып. 28, с. 7—11.
35. Эндриус Р. Техника оболочкового литья в США. М., «Машиностроение», 1968. 221 с.
36. Bunting C. R., Carr J. C. Using calcium stearat in shell process sand. — «Foundry», 1973, N 12, p. 4.
37. Goss H. R. Shell-Mold—68. — «Modern Casting», 1968, N 3, p. 5.
38. Harpula J., Wertz Z. Formowanie skorupowe. Warszawa, WNT, 254 s.
39. Kubo I., Nakata K. Molding unbonded sand with vacuum — the V-process. — «AFS Transactions», 1973, vol. 81, p. 529—544.
40. Schneider Ph. Das Vacuumformverfahren — Herstellung von Formen mit binderfreiem Sand. — «Giesserei», 1973, N 21, S. 661—669.

Глава VI

1. Вейник А. И. Кокиль. Минск, «Наука и техника», 1972. 350 с.
2. Вейник А. И. Расчет отливки. М., «Машиностроение», 1964. 402 с.
3. Германн Э. Непрерывное литье. М., Металлургиздат, 1961. 814 с.
4. Горизонтальное непрерывное литье цветных металлов и сплавов. М., «Металлургия», 1974. 175 с. Авт.: О. А. Шатагин, В. Т. Сладкошteeв, М. А. Вартазаров, С. М. Козаченко, В. Н. Терехов.
5. Дубинин Н. П. Чугунное литье в металлических формах. М., Машгиз, 1956. 319 с.
6. Зальцман Ю. Е. Литейные магнитные формы. М., НИИмаш, 1974. 63 с.
7. Коган Л. Б., Горбульский Г. Ф. Литье деталей мелкосерийного и серийного производства в металлические формы. М., НИИмаш, 1967. 58 с.

8. Комиссаров В. А. Особенности производства тонкостенных машиностроительных чугунных отливок в кокилях с применением крупногабаритных металлических стержней. — В кн.: Специальные способы литья. Л., «Машиностроение», 1971, с. 158—165.

9. Кралль Г., Кох Г. Свойства и использование непрерывных отливок из серого чугуна. — В кн.: «Экспорт—Маркт», изд. ФРГ на русском яз. Ж.У.31/1969.

10. Литье в облицованные кокили. — «Литейное производство», 1969, №1, с. 1—5. Авт.: Е. Г. Николаенко, Я. М. Рывкис, В. С. Серебро, Р. Л. Снежной.

11. Механизация и технология производства кокильного литья. Киев, «Техника», 1969. 229 с. Авт.: Е. Г. Николаенко, С. Л. Бураков, Я. Б. Айзенштейн, Н. И. Зинкевич.

12. Основы и комплексная механизация получения отливок из черных сплавов в облицованных кокилях. — «Литейное производство», 1973, № 11, с. 10—15. Авт.: Р. Л. Снежной, В. С. Серебро, Я. М. Рывкис, Б. В. Рабинович.

13. Петриченко А. М. Теория и технология кокильного литья. Киев, «Техника», 1967. 249 с.

14. Серебро В. С. Исследование температурных полей и стойкость кокилей. Минск, БПИ, 1965. 185 с.

15. Серебро В. С. Оценка пригодности материалов для кокилей. — В кн.: Новые технологические процессы литейного производства, ч. II. М., НИИмаш, 1967, с. 35—39.

16. Соколов Н. А. Литье в оболочковые формы. М., «Машиностроение», 1969, 326 с.

17. Температурный режим облицованной металлической формы при циклической эксплуатации. — В кн.: Тепловые процессы в облицовках и формах. М., «Наука», 1972, с. 127—132. Авт.: В. С. Серебро, А. И. Бренер, Л. Я. Нетес, А. Ф. Шевченко, Н. П. Дмитришин.

18. Шварцмайер В. Непрерывная разливка. М., Металлургиздат, 1962. 386 с.

19. Шицман Е. Б., Лернер Ю. С. Номограммы для расчета литниковых систем кокильных отливок из магниевого чугуна. — «Литейное производство», 1969, № 12, с. 25—26.

20. Шуляк В. С., Панасюк Л. С., Закута М. Б. Получение отливок в формах из металлического песка в магнитном поле. — «Литейное производство», 1971, № 9, с. 4—7.

21. Эндрюс Р. С. Л. Техника оболочкового литья в США. Пер. с англ. М., «Машиностроение», 1968. 221 с.

22. Thomson R., Ellwood E. Closed-head continuous casting. — «The British Foundryman», 1972, Part 4, 5, 6, p. 138—145, 186—197, 234—242.

Глава VII

1. Бубнов Б. Д., Трифонов В. Д. Новая центробежная машина модели ЛН-104. — В сб.: Литейное машиностроение. М., НИИмаш, 1967, Вып. 2, с. 10—15.

2. Ващенко К. И., Жижченко В. В., Фирстов А. Н. Биметаллические отливки железо—алюминий. М., «Машиностроение», 1966. 174 с.

3. Власевщина Л. К., Гини Э. Г. Методика расчета плоского потока расплава при изготовлении биметаллических отливок. «Известия вузов», 1969, № 4, с. 159—161.

4. Влияние микроструктуры и твердости чугуна на износ корпусных деталей станков. — «Станки и инструмент», 1971, № 9, с. 21—24. Авт.: В. П. Митрович, Р. И. Сажнева, Н. Д. Егоркина, М. С. Перетятко.

5. Выбор способа обработки чугуна для отливки труб полунепрерывным способом. — В кн.: Повышение технического уровня и эффективности литейного производства. Тезисы XXVI Всесоюзной научно-технической конференции литейщиков. Харьков, НТО Машпром, 1973, с. 36—37. Авт.: В. Б. Поля, Ю. А. Поповцев, В. С. Ивлиев, А. В. Мартемьянов, Л. И. Пермукова.

6. Горшков А. А. Отливки для металлургического оборудования. М., Машгиз, 1947. 283 с.

7. Захарченко Э. В., Радзиевская Л. Д. Состояние и перспектива производства изложниц повышенной стойкости из высокопрочного чугуна. Киев, УкрНИИТИ, 1971. 51 с.
8. Изложницы, надставки, поддоны, центровые (конструкция и характеристики). Под ред. О. Б. Николаева и В. Я. Миневича, кн. 1. Тбилиси, «Медицинреба», 1973. 374 с.
9. Износ базовых деталей станков из закаленного чугуна. — «Станки и инструмент», 1970, № 7, с. 29—31. Авт.: В. П. Митрович, А. А. Бондаревская, Л. Р. Аванесов, М. Ю. Бровина.
10. Константинов Л. С. К вопросу о форме свободной поверхности отливки при горизонтальном положении оси вращения формы. — В кн.: Теория и практика центробежного литья (ВНИТОЛ). М., Машгиз, 1949, с. 38—47.
11. Кривошеев А. Е. Литые валки. М., Metallurgizdat, 1957. 360 с.
12. Кривошеев А. Е. Развитие литейного производства в 1971—1975 гг. Киев, АН УССР, 1971 г., с. 85—96.
13. Модифицирование доменного чугуна в чугуновозных ковшах. — «Литейное производство», 1975, № 5, с. 13—14. Авт.: Н. А. Воронова, П. И. Стовпченко, К. В. Шадрин, Ю. А. Лымарь, А. А. Шинкаренко, А. А. Серов, А. К. Макаренко.
14. Моделирование тепловой работы изложницы. — «Литейное производство», 1970, № 10, с. 35—36. Авт. В. Ф. Сумцов, Р. Г. Немировский, Ф. Н. Тавадзе, О. Б. Николаев, Р. Б. Траншивский, Д. И. Фролов.
15. Непрерывное литье чугуна. «Металлургия», 1968. 336 с. Авт.: О. А. Баранов, Б. Г. Ветров, В. Б. Поль, А. Д. Попов, А. С. Филиппов.
16. Повышение стойкости изложниц. Тематический отраслевой сборник, № 1 и № 2. М., «Металлургия», 1972. 207 с.; 1973. 136 с.
17. Полунепрерывная отливка чугунных труб. Минск, Изд-во «Наука и техника», 1965. 94 с. Авт.: Г. С. Архипов, О. А. Бараиов, А. Н. Подобедов, И. Н. Тихомиров.
18. Хинчин А. С. Интенсификация и регулирование процессов в крупных литейных формах. М., НИИмаш, 1975. 63 с.
19. Холодильники для станочных отливок. — «Литейное производство», 1974, № 11, с. 4—6. Авт.: С. А. Шевчук, Н. Д. Егоркина, Б. В. Ратников, В. С. Дьяконов.
20. Чугунное литье в станкостроении. Под ред. Г. И. Клецкина. М., «Машиностроение», 1975. 320 с.
21. Шевчук С. А., Циринская С. И. Контроль твердости чугунных отливок прибором Польди. — «Литейное производство», 1974, № 9, с. 15—16.
22. Юдин С. Б., Розенфельд С. Е., Левин М. М. Центробежное литье. М., Машгиз, 1962. 360 с.
23. Krause H. Untersuchungsergebnisse von Hartguss mit Kugelgraphit als Walzenqualität. — «Freiberg Forschungshefte», 1971, N 163, S. 113—128.
24. Margerie I. C. Composition et structure du fontes pour lingotières. — «Fondeur aujourd'hui», 1973, N 245, p. 247.

Г л а в а VIII

1. Бобро Ю. Г. Легированные чугуны. М., «Металлургия», 1976. 286 с.
2. Богачев И. Н. Металлография чугуна. М., Машгиз, 1952. 366 с.
3. Бунин К. П., Малиночка Я. Н., Тараи Ю. Н. Основы металлографии чугуна. М., «Металлургия», 1969. 415 с.
4. Волощенко М. В. Термічна обробка високоміцного чавуну. Киев, Держтехвидав УРСР, 1961. 98 с.
5. Габинская Г. Д., Полтавец А. Г., Каданер Д. С. Химико-термическая обработка чугуна, легированного хромом и алюминием. — В кн.: Тематический сборник Краматорского научно-исследовательского и проектно-технологического института машиностроения. 1972, вып. 12, с. 149—152.
6. Коротков В. Д., Пасечник С. Я., Хабаров В. А. Борирование чугунов. В кн.: Труды Воронежского технологического института, 1970, 17, № 2, с. 10—13.

7. Литвинова Е. И. Металл для эмалирования. Изд. 2-е. М., «Металлургия», 1975. 208 с.
8. Переверзев В. М., Барботак А. И. Силицирование серого чугуна. — Сб. «Защитные покрытия на металлах», вып. 5. Киев, «Наукова думка», 1971, с. 77—78.
9. Петриченко А. М., Солнцев Л. А. Повышение свойств магниевого чугуна. — В кн.: «Высокопрочный чугун с шаровидным графитом». Киев, «Наукова думка», 1974, с. 115—125.
10. Плетник Р. И., Браун М. П. Превращение аустенита в легированном высокопрочном чугуне при непрерывном охлаждении. — «Литейное производство», 1964, № 9, с. 35—36.
11. Справочник по изготовлению отливок из высокопрочного чугуна. Москва—Киев, Машгиз, 1961. 300 с. Авт.: А. А. Горшков, М. В. Волощенко, В. В. Дубров, О. Ю. Крамаренко.
12. Федюкин В. К., Бреусов В. П. Новое в термической обработке чугуна. ЛДНТП, 1972. 24 с.
13. Шовкун А. Н. Термокинетические диаграммы распада аустенита чугуна. — «Научные труды УСХА», вып. 87 (Т. 1, Механизация сельскохозяйственного производства), Киев, 1973, с. 259—264.
14. Эмалирование металлических изделий. Под ред. В. В. Варгина. Изд. 2-е Л., «Машиностроение», 1972. 404 с.
15. Laplanche M. H. La sulfuration des aciers et des fontes. — «Metallurgie et la Construction Mecanique», 1972, 104, N 10, p. 383—391.
16. Walton Charles F. Gray and ductile iron castings. Handbook. Cleevland, 1971. 679 p.

Глава IX

1. Асиновская Г. А., Журавицкий Ю. И. Газовая сварка чугуна. М., «Машиностроение», 1974. 97 с.
2. Берг П. П. Проверка качества отливок. М., Машгиз, 1957. 234 с.
3. Боровский Ю. Ф., Боговой М. В. Термостойкость покрытий литейных форм. — В кн.: Формирование качества поверхности отливок. М., 1969, с. 94—99.
4. Васин Ю. П., Александров В. М., Иткис З. Я. В кн.: Новое в технологии литейного производства. Пермь, Западно-Уральское ЦБТИ, 1968, с. 61—68.
5. Ващенко К. И., Софрони Л. Магнийевый чугун. Москва—Киев, «Машгиз», 1960. 487 с.
6. Вибрационное старение чугунных отливок. — «Литейное производство», 1961, № 8, с. 31—34. Авт.: О. Ю. Кошубинский, А. М. Герчиков, Р. А. Утешев, М. П. Новиков.
7. Воинов К. П. Ремонт оборудования сваркой. М., «Машиностроение», 1967. 192 с.
8. Гетьман А. А. Качество и надежность чугунных отливок. Л., «Машиностроение», 1970. 224 с.
9. Гиршович Н. Г. Основные металлургические пороки в отливках из серого чугуна и меры борьбы с ними. — В кн.: Борьба с браком и повышение качества отливок из серого чугуна. Л., 1962, с. 6—86.
10. Гиршович Н. Г., Лебедев К. П., Нехендзи Ю. А. Предусадочное расширение черных и цветных металлов. — «Литейное производство», 1963, № 4, с. 23—28.
11. Иванов Б. Г. Исправление дефектов чугунного литья. М., Машгиз, 1955. 100 с.
12. Иммерман Е. Б. Технический контроль и борьба с браком в литейном производстве. Практическое руководство для контрольных мастеров и мастеров производственников. М.—Л., Машгиз, 1950. 175 с.
13. Карякин А. В., Боровиков А. С. Люминесцентная и цветная дефектоскопия. М., «Машиностроение», 1972. 239 с.
14. Клецкин Г. И., Иванов Б. Г., Журавицкий Ю. И. Исправление дефектов в чугунных отливках методом сварки — «Литейное производство», 1973, № 6, с. 9—14.
15. Ключев Н. И., Ивахненко Н. С., Тонконоженко В. И. Исследование плотности и определение коэффициентов объемного расширения чугуна в жидком

состоянии с помощью метода проникающих излучений.—В кн.: Усадочные процессы в сплавах и отливках. Киев, 1970, с. 30—32.

16. Константинов Л. С. Расчет термических напряжений и деформаций отливок постоянного сечения (метод подвижной нормали). — «Литейное производство», 1959, № 11, с. 27—31.

17. Коцюбинский О. Ю. Стабилизация размеров чугунных отливок. М., «Машиностроение», 1974, 296 с.

18. Медведев Я. И. Газы в литейной форме. М., «Машиностроение», 1965. 239 с.

19. Металлы. Методы механических и технологических испытаний. Госстандарт, 1970. 303 с.

20. Неразрушающие испытания. Справочник. Под ред. Р. Мак-Мастера. Пер. с англ., Кн. 1 и 2. М.—Л., «Энергия», 1965. 115 с.

21. Неразрушающий контроль металлов и изделий. Справочник, М., «Машиностроение», 1976. 456 с. Авт.: П. И. Беда, Б. И. Выборнов, Ю. А. Глазков, С. П. Луцко, Г. С. Самойлович, Г. С. Шелихов.

22. Оолитизация формовочных смесей. — «Литейное производство», 1976, № 5, с. 19—20. Авт.: П. Н. Аксенов, Ф. С. Кваша, Ю. Г. Чудин, С. М. Мырзоян.

23. Сборник технологических инструкций по исправлению дефектов чугунных отливок. Завод «Станколит». М., НИИмаш, 1972. 68 с.

24. Соколов В. С. Дефектоскопия металлов. М.—Л., Госэнергоиздат, 1961. 325 с.

25. Справочник по сварке, т. 4. М., «Машиностроение», 1971. 415 с.

26. Справочник по чугунному литью. Под ред. Н. Г. Гиришовича. Изд. 2-е, М.—Л., Машгиз, 1961. 800 с.

27. Стеренбоген Ю. А., Хорунов В. Ф., Грецкий Ю. Я. Сварка чугуна. Киев, «Наукова думка», 1968. 213 с.

28. Шергин И. В., Боровский Ю. Ф., Ямщиков А. П. Влияние силикатного расплава на образование пригара чугунных отливок. — В кн.: Формирование качества поверхности отливок. М., 1969, с. 80—87.

29. Fuller A. Sinking under Bosses on thin plates. — «British Foundryman», 1959, № 9, p. 400—409.

30. Grundbach R. Phosphideutektikum in Molybden und/oder Chromhaltigen grauen Gusseisen. — «Giesserei-Praxis», 1974, № 1, S. 1—11.

Приложение 3

1. Баландин Г. Ф. Литье намораживанием. М., Машгиз, 1962. 263 с.

2. Вейник А. И. Испытания кокильных красок на теплопроводность. М., Машгиз, 1956. 232 с.

3. Коцюбинский О. Ю., Берман А. М. Расчет охлаждения сложных отливок на ЭВМ. — «Литейное производство», 1972, № 1, с. 38—39.

4. Серебро В. С. Математическое исследование охлаждения отливок в облицованных кокилах. — В кн.: Литейные свойства сплавов. Киев, ИГЛ АН УССР, 1972, с. 43—44.

5. Серебро В. С. Охлаждение отливки в облицованном кокиле. — «Литейное производство», 1973, № 12, с. 26—29.

6. Esche H. Verringerung von Eigenspannung im Gußstück mit Hilfe des Stützschalenverfahrens, nachgewiesen am Spannungsgitter. — «Giessereitechnik», 1977, № 1, S. 7—10.

7. Rabinovic B. V., Esche H. Einige Untersuchungen über die Abkühlungsdauer von Gußstücken in Stützschalenformen. — «Giessereitechnik», 1976, № 9, S. 295—298.

Приложение 5

1. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование экспериментов при поиске оптимальных условий. М., «Наука», 1976. 279 с.

2. Голод В. М. Численное моделирование затвердевания сплавов на ЭВМ. — В кн.: Исследования литейных процессов и сплавов. Труды ЛПИ. М., 1971, № 319, с. 144—151.

3. Ерохина Л. С., Батышев А. И. Применение математических методов и ЭВМ в литейном производстве. — «Литейное производство», 1976, № 8, с. 1—2.
4. Исследование условий получения плотных отливок ответственного назначения на основе применения ЭВМ. — В кн.: Повышение точности отливок и эксплуатационной надежности литых деталей. Одесса, НТО Машпром, 1975, с. 157. Авт.: В. И. Володин, В. М. Голод, В. Г. Левин, З. Ш. Лоц.
5. Ищенко В. В. Информационная модель автоматизированного проектирования технологических процессов литейного производства. — «Литейное производство», 1976, № 12, с. 2—6.
6. Коздоба Л. А. Методы решения нелинейных задач теплопроводности. М., «Наука», 1975. 225 с.
7. Определение оптимальных параметров процесса для получения заданных свойств серого чугуна. — В кн.: Синтез сплавов. Ч. 2. ЛДНТП, 1971, с. 3—8. Авт.: Н. Г. Гыршович, Р. П. Ришэ, Ю. А. Каплуновский, В. П. Антоничев, А. Я. Иоффе.
8. Проблемы автоматизации и применение кибернетики в литейном производстве. Ч. 1; 2. ЛДНТП, 1970. 141 с; 130 с.
9. Саульев В. К. Интегрирование уравнений параболического типа методом сеток. М., Физматгиз, 1960. 324 с.
10. Семесенко М. П., Пелых С. П. ЭВМ в управлении литейными процессами. Донецк, изд. «Донбасс», 1975. 96 с.
11. Синтез сплавов. ЛДНТП, 1971, Ч. 1, 76 с.; Ч. 2, 83 с.
12. Шелихов А. А., Селиванов Ю. П. Вычислительные машины. Справочник. М., «Энергия», 1973. 330 с.
13. Prozeßrechner steuert Giesserei. — «Fördern und Heben», 1976, 26, № 5, S. 157.
14. Rührenbeck W., Günter R. Mathematisches Modell des Kupolofenprozesses. Vergleich von Rechnungen und Messungen. — «Giessereiforschung», 1973, 25, N 2, S. 47—59.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Принятые обозначения	5
Принятые сокращения	6
Г л а в а I. Основные типы чугуна, его структура, свойства и применение	7
1. Диаграммы состояния Fe—C-сплавов (А. А. Жуков, Г. И. Сильман)	—
Двойная диаграмма	—
Тройные диаграммы	10
Общая характеристика влияния элементов	17
2. Строение и физические свойства чугуна в жидком состоянии (Л. И. Леви)	18
3. Газы в чугуне (Л. И. Леви)	22
4. Классификация и структура чугуна (Л. В. Ильичева, Н. Г. Осада)	25
Основные структурные составляющие чугуна	—
Неметаллические включения	39
Методы количественного анализа фаз	40
Методы определения микро- и макроструктуры чугуна	42
5. Конструкционные чугуны	44
Серый чугун (Н. Г. Гиршович, А. Я. Иоффе)	45
Высокопрочный чугун с шаровидным графитом (Н. И. Клочнев, Б. С. Мильман)	67
Чугун с вермикулярным графитом (Н. Н. Александров, В. В. Андреев, Л. В. Ильичева, Б. С. Мильман)	79
Ковкий чугун (Е. А. Васильев)	81
Конструкционный алюминиевый чугун (Ю. Г. Бобро)	91
6. Легированные чугуны со специальными свойствами	100
Хромовый чугун	—
Никелевый чугун	(Н. Н. Александров, ...) 106
Кремнистый чугун	Е. В. Ковалевич, ... 112
Алюминиевый чугун	В. И. Куликов) 117
Марганцовый чугун	124
Ванадиевые и некоторые другие легированные чугуны, удовлетворяющие принципу Шарпи (А. А. Жуков, Г. И. Сильман)	127
7. Особенности структуры и свойств синтетических чугунов (Н. Г. Гиршович, Г. Ф. Горбульский, А. Я. Иоффе, Л. Б. Коган)	131
Г л а в а II. Плавка чугуна	138
1. Материалы, применяемые при плавке (Н. А. Воронова, П. И. Стояпченко, Г. Н. Штейн)	—
Основные металлические материалы	—
Легированные, рафинирующие и модифицирующие добавки	—
Топливо	152
Флюсы	156
Огнеупорные материалы	—

2. Плавка в коксовых вагранках (<u>Л. М. Мариенбах</u>), А. К. Юдкин)	159
Тепловые и металлургические процессы плавки	—
Конструкции ваграночных установок	163
Технология плавки в коксовых вагранках	175
3. Плавка в газовых вагранках (В. А. Грачев, <u>Л. М. Мариенбах</u>), А. А. Черный)	185
Тепловые и металлургические процессы плавки	—
Конструкции газовых вагранок	191
Футеровка газовых вагранок	196
Технология плавки в газовых вагранках	197
Преимущества плавки в газовых вагранках	200
4. Плавка в коксгазовых вагранках (Г. И. Клецкин, Н. Л. Соболев)	201
5. Увеличение продолжительности плавочной кампании в вагранках (Г. И. Клецкин, Н. Л. Соболев)	203
6. Плавка в индукционных печах (Н. Г. Гиршович, Г. Ф. Горбовский, М. В. Жельнис, А. Д. Качан, Л. Б. Коган)	204
Конструкции индукционных печей	—
Футеровка индукционных печей	209
Размещение индукционных печей и технология плавки	211
Технико-экономические показатели плавки чугуна в индукционных печах	217
7. Плавка в дуговых электропечах (Л. С. Эренбург)	218
Конструкции дуговых электропечей	—
Технология плавки в дуговых электропечах	222
8. Плавка в пламенных печах (Н. Г. Гиршович, А. Я. Иоффе)	224
9. Плавка дуплекс-процессом (В. А. Белицкий, Н. Г. Гиршович, А. Я. Иоффе, Г. А. Косников)	226
10. Экспресс-контроль чугуна по ходу плавки (Г. И. Клецкин, Н. Л. Соболев)	228

Глава III. Внепечная обработка жидкого чугуна 233

1. Модифицирование (К. И. Ващенко, Н. Г. Гиршович)	—
Модифицирование серого чугуна	—
Модифицирование для получения высокопрочного чугуна с шаровидным графитом	240
Модифицирование при производстве ковкого и отбеленного чугунов	254
2. Ковшовое легирование (Г. И. Клецкин)	255
3. Электрошлаковая обработка жидкого чугуна (В. А. Грачев)	257
4. Прочие методы внепечной обработки жидкого чугуна (<u>Л. И. Леви</u>)	263

Глава IV. Основы проектирования технологических процессов изготовления литейных форм 268

1. Технологичность чугунных отливок (А. М. Липницкий)	—
2. Разработка чертежей и пути повышения геометрической точности отливок	274
Определение класса точности отливок (Б. П. Платонов)	275
Влияние технологических факторов на рассев размеров отливок (Ф. Д. Оболенцев)	280
Пространственные отклонения элементов отливок (Ф. Д. Оболенцев)	282
Качество поверхности отливок (Ф. Д. Оболенцев)	283
Разработка чертежей отливок (Б. П. Платонов)	284
Разработка технических условий на отливки (Б. П. Платонов)	289
3. Выбор положения отливки в форме (М. Г. Ханин)	295
4. Разработка модельно-опочной технологической оснастки (Л. И. Спирин)	—

Общие положения по разработке и эксплуатации средств технологического оснащения литейного производства	295
Литейные модели и стержневые ящики	296
Модельные плиты	314
Опоки	321
Плиты для сушки стержней	324
Кондукторы для зачистки стержней	325
Общие правила изготовления и приемки модельных комплектов	—
5. Литниковые системы и прибыли, их расчет и конструирование (Б. В. Рабинович)	326
Выбор места подвода металла и конструкции литниковых систем	327
Время заливки и средний массовый расход металла	332
Расчет литниковых систем	337
Нормализованные элементы подводящих систем	340
Графический расчет литниковой системы с местным сопротивлением	357
Графический расчет сужающейся литниковой системы	360
Типы прибылей и их расчет	362
Правила наладки	366
6. Оформление технологической документации (М. Г. Ханин)	—
Глава V. Литье в песчаные формы	369
1. Основные и вспомогательные формовочные материалы	—
Формовочные пески (Ф. Ф. Резинских)	—
Формовочные глины (Ф. Ф. Резинских)	371
Вспомогательные материалы (Н. И. Давыдов)	381
Подготовка исходных формовочных материалов (А. А. Шпектор)	394
2. Формовка по-сырому (М. А. Иоффе, А. Д. Романов)	396
Смеси для формовки по-сырому	—
Изготовление форм	403
3. Изготовление форм и стержней по-сухому	415
Изготовление форм (С. Я. Головин)	—
Изготовление стержней (С. Я. Головин)	417
Сушка форм и стержней (А. С. Хинчин)	428
4. Изготовление форм и стержней по нагреваемой оснастке	430
Изготовление стержней по горячим ящикам (Г. В. Просяник)	431
Литье в оболочковые формы (П. И. Кантор, С. П. Сибирцев)	437
5. Изготовление форм и стержней, отверждающихся в оснастке без нагрева	450
Процесс на основе песчано-смоляных холодноотверждающихся смесей (Г. В. Просяник)	—
Процесс на основе песчано-смоляных смесей, отверждающихся при продувке газообразным катализатором (Г. В. Просяник)	454
Процесс на основе песчано-жидкостекольных смесей, отверждающихся при продувке газообразным реагентом (CO ₂ -процесс) (Ю. Ф. Боровский)	456
Процесс на основе песчано-жидкостекольных пластичных самоотверждающихся смесей (ПСС-процесс) (Ю. Ф. Боровский)	459
Процесс на основе жидких самоотверждающихся смесей (ЖСС-процесс) (Ю. Ф. Боровский)	462
6. Особые виды формовки	465
Формовка по газифицируемому моделям (В. С. Шуляк)	—
Вакуумная формовка (v-процесс) (Б. В. Рабинович)	473
7. Регенерация песков из отвалных смесей (А. А. Шпектор)	476
8. Заливка форм (Я. М. Рывакис)	480
Ковши для транспортировки и заливки жидкого металла	—
Температура чугуна при заливке в форму	487
Технология заливки	490

Механизация и автоматизация заливки	491
Глава VI. Литье в металлические формы	496
1. Литье в кокиль (<i>В. С. Серебро</i>)	—
Особенности процесса	—
Изготовление рабочих стенок кокилей	501
Теплозащитные покрытия кокилей	502
Эксплуатация кокилей и их стойкость	504
Чугун для литья в кокиль и формирование его структуры	—
Литниковые системы	507
Вентиляция кокилей, виды брака и меры борьбы с ним	511
Механизация литья в кокиль	513
2. Литье в облицованный кокиль (<i>В. С. Серебро, Р. С. Снежной</i>)	516
Особенности процесса и оснастки	—
Сборка и заливка облицованного кокиля	521
Технология процесса и его механизация	523
3. Центробежное литье (<i>Л. С. Константинов</i>)	525
Изготовление фасонных отливок	—
Изготовление полых цилиндрических отливок общего назначения	529
Литье заготовок под слоем флюса	531
Машины для центробежного литья и особенности технологического процесса	532
4. Непрерывное литье (<i>А. А. Жуков, Д. И. Ясский</i>)	534
Особенности установок	—
Технология процесса	535
5. Литье в магнитные формы (<i>Ю. Е. Зальцман</i>)	537
Глава VII. Характерные особенности основных видов чугунного литья	542
1. Станкостроительное литье	—
Общая характеристика литья и выбор состава металла (<i>С. А. Шевчук</i>)	—
Применение холодильников для регулирования скорости охлаждения (<i>С. А. Шевчук</i>)	545
Другие методы регулирования скорости охлаждения крупных отливок (<i>А. С. Хинчин</i>)	548
Контроль качества отливок (<i>С. А. Шевчук</i>)	551
2. Автомобильное литье (<i>Б. П. Платонов</i>)	552
Общая характеристика литья и выбор состава металла	—
Особенности плавки чугуна и технологии изготовления формы	553
3. Литье для тяжелого машиностроения (<i>В. Н. Кузнецов, В. Н. Перцовский, Ю. П. Пышминцев</i>)	557
Выбор состава чугуна, его шихтовка, плавка и модифицирование	—
Формовка и заливка	562
4. Литье для электротехнической промышленности (<i>Е. В. Алимов, С. В. Лобановский</i>)	564
5. Санитарно-техническое литье (<i>А. М. Липницкий</i>)	565
6. Литье чугунных валков и валов (<i>А. Е. Кривошеев, Л. С. Рудницкий</i>)	568
Общая характеристика литья, состав металла, его структура и свойства	—
Особенности изготовления форм	574
Плавка и заливка чугуна	576
7. Литье изложниц (<i>Н. А. Воронова, П. И. Стоялченко</i>)	582
Классификация изложниц, условия их работы и требования к металлу	—
Технология изготовления форм, плавки и заливки	584
Пути дальнейшего повышения стойкости изложниц	589
8. Литье напорных труб (<i>Б. Д. Хахалин</i>)	592

Производство труб центробежным способом	—
Производство труб полунепрерывным способом	595
9. Литье поршневых колец (<i>В. А. Карасева</i>)	598
10. Многослойное и биметаллическое литье (<i>П. П. Лузан</i>)	602
11. Художественное литье (<i>А. М. Петриченко</i>)	606
Глава VIII. Финишные операции по обработке чугунных отливок . .	613
1. Выбивка, очистка, обрубка и зачистка отливок (<i>Н. Я. Балакин, О. А. Корнюшкин</i>)	—
2. Термическая и химико-термическая обработка чугуна (<i>М. В. Волощенко</i>)	628
Фазовые превращения в чугуне	629
Термическая обработка чугуна	632
Химико-термическая обработка чугуна	639
3. Термохимическая обработка высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (<i>Л. М. Бажанов, С. И. Витензон</i>)	641
4. Эмалирование (<i>Е. И. Литвинова</i>)	642
Глава IX. Дефекты в чугунных отливках и способы их предотвращения и исправления	646
1. Классификация дефектов и причины их образования (<i>Ф. С. Кваша</i>)	—
2. Усадочные дефекты (<i>Н. Г. Гиринович, Н. А. Мельников</i>)	—
3. Взаимодействие металла с формой и возникающие при этом дефекты (<i>Б. В. Рабинович</i>)	657
4. Напряжения и связанные с ними дефекты (<i>Л. С. Константинов</i>)	661
Образование напряжений и трещин	—
Остаточные напряжения и образование холодных трещин	664
Образование искривлений	665
5. Снижение остаточных напряжений и стабилизация размеров чугунных отливок (<i>О. Ю. Коцюбинский</i>)	668
6. Исправление дефектов в чугунных отливках (<i>Ю. И. Журавичский, Г. И. Клецкин</i>)	674
Способы сварки	—
Технологический процесс сварки и применяемое оборудование	683
Резка чугуна	689
Прочие методы исправления дефектов	—
7. Контроль качества отливок (<i>И. И. Александров, В. Г. Богатырев</i>)	690
Приложение 1. Характеристика элементов, встречающихся в чугуне (<i>А. А. Жуков, Г. И. Сильман</i>)	696
Приложение 2. Таблица значений функций $\varphi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2}$ (<i>Б. П. Платонов</i>)	697
Приложение 3. Расчет продолжительности затвердевания и дальнейшего охлаждения отливок в форме	698
Охлаждение в песчаной форме (<i>О. Ю. Коцюбинский</i>)	—
Охлаждение в кокиле (<i>О. Ю. Коцюбинский</i>)	706
Охлаждение в облицованном кокиле (<i>В. С. Серебро</i>)	709
Приложение 4. Статистическая обработка производственных данных (<i>Ф. С. Новик</i>)	711
Приложение 5. Применение ЭВМ в литейном производстве (<i>В. М. Голод</i>)	727
Предметный указатель	735
Список литературы (<i>В. М. Голод</i>)	741

**Издательство
„МАШИНОСТРОЕНИЕ“**

**выпустило
в 1978 г.
следующие книги**

по литейному производству:

**Галдин Н. М. Литниковые системы
для отливок из легких сплавов. 13 л.**

Горский А. И. Расчет машин и механизмов автоматических линий литейного производства. 36 л.

**Никулин Л. В., Липчин Т. Н.,
Заславский М. Л. Литье под давлением магниевых сплавов. 14 л.**

*Указанные книги
можно приобрести или заказать
в магазинах технической книги*

ИЗДАТЕЛЬСТВО ЗАКАЗОВ НЕ ПРИНИМАЕТ

Цена р. 12207

ИБ № 769

СПРАВОЧНИК

ПО ЧУГУННОМУ ЛИТЬЮ

Под ред. Н. Г. Гыршовича

Редакторы издательства:

И. А. Денина, Л. И. Вожик, Л. М. Пинскер

Переплет художника Н. И. Абрамова

Технический редактор Т. П. Малашкина

Корректоры З. С. Романова и Н. Б. Семенова

Сдано в набор 22.12.77.

Подписано в печать 28.07.78. М-23458.