Справочник по сварке

Справочник по сварке

Под редакцией
д-ра техн. наук
проф. В. А. ВИНОКУРОВА

ТОМ
3

«МАШИНОСТРОЕНИЕ»
Москва 1970

УДК 621.791(083)

Справочник по сварке. Том 3. Под редакцией д-ра техн. наук проф. В. А. Винокурова. М., «Машиностроение». 1970.

В томе изложены методы расчета и проектирования сварных соединений и конструкций, а также сведения об их прочности при особых условиях эксплуатации (низкие и высокие температуры, коррозионные среды). Приведены расчетные нормы, принятые в различных отраслях промышленности, способы определения деформаций и напряжений, методики оценки свариваемости материалов и склонности их к образованию трещин, сведения по оборудованию для испытаний. Даны рекомендации по рациональному построению технологического процесса, механизации и автоматизации производства, проектированию и планировке сварочных цехов, организации труда, техническому нормированию и экономике сварочного производства.

Справочник предназначен для инженеров и техников, работающих в области сварочного производства на заводах, в проектных и исследовательских организациях. Он может быть полезен преподавателям и студентам втузов.

Рис. 351, табл. 127, библ. 198.

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф. *Бакши О. А.*; канд. техн. наук *Евсеев Г. Б.*; канд. экон. наук *Клочков В. С.*; д-р техн. наук, проф. *Кудрявцев И. В.*; канд. техн. наук *Мигай К. В.*; д-р техн. наук, проф. *Навроцкий Л. И.*; канд. техн. наук *Смирнов Б. А.*; д-р. техн. наук *Фролов В. В.*; канд. техн. наук *Шухгальтер Л. Я.*

3-12-6
54-70

АВТОРЫ ТОМА:

Винокуров В. А., проф., д-р техн. наук; **Гитлевич А. Д.**, инж.; **Грачева К. А.**, канд. техн. наук; **Евсеев В. С.**, канд. техн. наук; **Земзин В. Н.**, д-р техн. наук; **Красовский А. И.**, д-р техн. наук; **Куркин С. А.**, проф., д-р техн. наук; **Лонский Е. Д.**, канд. техн. наук; **Макаров Э. Л.**, канд. техн. наук; **Николаев Г. А.**, засл. деятель науки и техники, проф., д-р техн. наук; **Стеклов О. И.**, канд. техн. наук; **Харченко П. Ф.**, канд. эконом. наук; **Якушин Б. Ф.**, канд. техн. наук.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Раздел I. **ПРОЧНОСТЬ, РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И КОНСТРУКЦИЙ**

Глава I. **Прочность и расчет сварных соединений** (проф. д-р техн. наук *Г. А. Николаев*) . . . 7

Материалы . . . 7
Сварные соединения и расчет их прочности при статических нагрузках . . . 14
Электродуговые соединения . . . 14
Соединения, выполненные контактной сваркой . . . 18
Расчет соединений, нагруженных моментом и перерезывающей силой . . . 22
Сварные соединения в алюминиевых сплавах . . . 25
Соединения при специальных методах сварки и при пайке . . . 27
Условные обозначения сварных швов . . . 30
Распределение усилий в сварных соединениях . . . 34
Механические свойства сварных соединений при статических нагрузках . . . 40
Прочность сварных соединений при переменных нагрузках . . . 42
Допускаемые напряжения в стальных и алюминиевых конструкциях . . . 54

Глава II. **Расчет и проектирование элементов сварных конструкций** (проф. д-р техн. наук *Г. А. Николаев*). . . . 66

Балки . . . 66
Стойки . . . 78
Фермы . . . 84
Листовые конструкции . . . 90
Сварные детали машин . . . 94
Расчет элементов паровых котлов на прочность . . . 102
Литература к главам I и II . . . 106

Глава III. **Прочность сварных соединений и конструкций при особых условиях эксплуатации** . . . 107

Прочность при низких температурах (проф. д-р техн. наук *В. А. Винокуров*) . . . 107
Свойства основного металла . . . 107
Свойства сварных соединений и конструкций . . . 111
Методы повышения прочности при низких температурах . . . 115
Прочность при высоких температурах (д-р техн. наук *В. И. Земзин*) 116
Особенности работы и прочность соединений . . . 116
Хрупкие разрушения . . . 122
Прочность в условиях коррозии (канд. техн. наук, *О. И. Стеклов*) 126
Особенности коррозии и виды коррозионных разрушений сварных соединений 126
Коррозия сварных соединений при наличии напряжений . . . 131
Методы определения коррозионных свойств сварных соединений . . . 133
Основные методы повышения стойкости сварных конструкций против коррозионных разрушений . . . 138
Литература . . . 140

Раздел II. **ПРОИЗВОДСТВО СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Глава IV. **Деформации, напряжения и перемещения, возникающие при сварке конструкций** (проф. д-р техн. наук *В. А. Винокуров*) . . . 142

Основные определения и закономерности . . . 142
Собственные напряжения в сварных соединениях и методы их расчетного определения . . . 145
Перемещения элементов конструкций при сварке . . . 156
Экспериментальные методы определения собственных напряжений и перемещений в сварных конструкциях . . . 166

Глава V. **Методы уменьшения сварочных деформаций, напряжений и перемещений** (проф. д-р техн. наук *В. А. Винокуров*) . . . 171

Влияние сварочных деформаций, напряжений и перемещений на качество сварных конструкций . . . 171

Методы уменьшения остаточных напряжений и пластических деформаций металла при сварке . . . 176
Отпуск сварных конструкций . . . 178
Методы уменьшения перемещений от сварки . . . 180
Мероприятия, используемые до сварки . . . 180
Мероприятия, используемые в процессе сварки . . . 182
Мероприятия, используемые после сварки . . . 183
Технологические особенности некоторых методов уменьшения перемещений от сварки . . . 184
Литература к главам IV и V . . . 189

Глава VI. **Технологическая прочность металлов при сварке** . . . 190
Технологическая прочность в процессе кристаллизации (горячие трещины) (канд. техн. наук *В. Ф. Якушин*) . . . 190
Основы теории . . . 190
Классификация и анализ методов определения технологической прочности металлов в процессе кристаллизации при сварке . . . 195
Способы определения пластичности и температурного интервала хрупкости металлов в условиях сварки . . . 206
Способы повышения технологической прочности сварных соединений в процессе кристаллизации . . . 207
Технологическая прочность стали в процессе превращений аустенита (холодные трещины) (канд. техн. наук *О. Д. Макаров*) . . . 209
Закономерности процесса образования холодных трещин в сталях при сварке 209
Методы оценки технологической прочности сталей в процессе превращений аустенита . . . 212
Способы повышения сопротивляемости сталей образованию холодных трещин при сварке . . . 228
Литература . . . 229

Глава VII. **Технология изготовления сварных конструкций** (проф. д-р техн. наук *С. А. Куркин*) . . . 232
Заготовительные операции . . . 232
Сборочно-сварочные операции и проектирование приспособлений . . . 235
Балки . . . 236
Рамы . . . 242
Решетчатые конструкции . . . 243
Негабаритные емкости и сооружения . . . 247
Сосуды, работающие под давлением . . . 254
Сварные трубы . . . 260
Сварка стыков трубопроводов . . . 263
Корпусные листовые конструкции . . . 265
Сварные детали машин и приборов . . . 268
Сварка стержней и рельсов . . . 277

Глава VIII. **Оборудование для производства сварных конструкций** (инж. *А. Л. Готлевин*) . . . 279
Оборудование для заготовительных работ . . . 279
Механическое сварочное оборудование . . . 284
Оборудование для установки и поворота собираемых и свариваемых изделий 284
Оборудование для сборки сварных конструкций . . . 297
Механическое оборудование для сварки . . . 310
Оборудование для зачистки кромок, швов и отделки сварных конструкций . . . 326
Оборудование для правки сварных конструкций и улучшения механических свойств сварных соединений . . . 326
Специальные подъемно-транспортные средства . . . 334
Литература . . . 344

Глава IX. **Механизация и автоматизация сварочного производства** (инж. *А. Л. Готлевин*) . . . 345
Показатели уровня механизации и автоматизации сварочного производства . . . 345
Классификация и основные характеристики оборудования сварочного производства . . . 347
Литература . . . 353

Раздел III. **ОСНОВЫ ОРГАНИЗАЦИИ ТРУДА И ЭКОНОМИКИ В СВАРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

Глава X. **Организация и экономика сварочного производства** (канд. техн. наук *К. А. Гуськов*, канд. экон. наук *И. Ф. Харченко*) . . . 354
Процессе производства сварных конструкций и основы его построения . . . 354
Основные понятия и определения . . . 354
Построение процесса производства сварных конструкций во времени . . . 354
Построение процесса производства сварных конструкций в пространстве (производственная структура завода-центросвара и сварочных цехов) . . . 357

Организация поточного производства сварных конструкций 359
Сущность и предпосылки поточного производства 359
Разновидности поточного производства сварных конструкций 360
Основы проектирования и организации поточных линий 360
Особенности организации и расчетные параметры поточных линий с распределительным конвейером 364
Особенности организации и расчетные параметры стационарных непрерывно-поточных линий 366
Особенности организации и расчетные параметры прямоточных (прерывно-поточных) линий 367
Особенности организации и расчетные параметры многономенклатурных (серийно-поточных) линий 370
Разновидности автоматических линий 372
Экономические расчеты при проектировании и производстве сварных конструкций 374
Производственно-технологические показатели 374
Показатели, характеризующие экономичность проектируемых сварных конструкций в эксплуатации 377
Экономическая оценка вариантов технологических процессов изготовления сварных конструкций 380
Единовременные капитальные вложения 380
Эксплуатационные затраты 383
Техническое нормирование работ при производстве сварных конструкций . . . 397
Задачи и содержание технического нормирования 397
Нормирование электродуговой сварки 398
Нормирование электрошлаковой сварки 401
Нормирование расхода электродов, электродной проволоки, флюса и электроэнергии при дуговой сварке 404
Нормирование контактной электросварки 405
Нормирование ацетилено-кислородной сварки 407
Нормирование газовой резки 409
Организация труда, заработной платы и экономическое стимулирование сварочного производства 410
Показатели производительности труда в сварочных цехах 411
Оплата труда 412
Экономическое стимулирование 415
Основные фонды и производственные мощности сварочных цехов 416
Основные фонды и амортизационные отчисления 416
Показатели уровня использования производственных фондов и способы их расчета 417
Производственная мощность и методы ее расчета 419
Плата за производственные фонды 422
Себестоимость продукции сварочных цехов и уровень рентабельности сварочного производства 422
Литература 426

Глава XI. **Основы проектирования цехов сварных машиностроительных конструкций** (д-р техн. наук *А. И. Красовский*) 427

Элементы производства и задачи проектирования 427
Классификация, организационно-технические характеристики и состав проектируемых цехов сварных машиностроительных конструкций 432
Состав проекта, стадии его разработки и исходные данные для проектирования . . . 433
Режим работы и фонды времени 437
Разработка производственного процесса и технико-экономическая оценка его вариантов 438
Механизация и автоматизация производства 442
Определение проектируемого состава основных элементов производства 444
Пространственное расположение производственного процесса 446
Экономический анализ проекта цеха и его технико-экономические показатели . . . 453
Литература 456

Глава XII. **Охрана труда** (канд. техн. наук *В. С. Киреев*) 458

Санитарно-гигиенические характеристики сварочного производства 458
Вентиляция 460
Освещение производственных помещений 464
Защита от вредного воздействия производственного шума и ультразвука 466
Защита от источников ионизирующих излучений 469
Электробезопасность 472
Безопасность эксплуатации газосварочных установок и систем, находящихся под давлением 474
Индивидуальные средства защиты 478
Литература 480

Глава XIII. **Действующие стандарты, используемые в сварочном производстве** (канд. техн. наук *Е. Л. Донский*) 481

РАЗДЕЛ I

ПРОЧНОСТЬ, РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И КОНСТРУКЦИЙ

ГЛАВА I

ПРОЧНОСТЬ И РАСЧЕТ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

МАТЕРИАЛЫ

Малоуглеродистые стали поставляют трех групп: А — по механическим свойствам (табл. 1 и 2); Б — по химическому составу (табл. 3); В — по механическим свойствам и химическому составу.

Мартеновские стали маркируются буквой М, конвертерные — К, бессемеровские — Б; спокойные — сп, полуспокойные — пс, кипящие — кп.

Спокойная сталь по содержанию наиболее однородна. В кипящей стали распределение С, Р и S неравномерно по слитку. Структура спокойной стали более мелкозерниста, порог хладноломкости ее при испытании на копре образцов с надрезами находится в пределах от —30 до —50° С, структура кипящей стали обычно крупнозерниста, порог хладноломкости ее значительно выше.

При пластических деформациях и нагревах малоуглеродистые стали подвергаются старению. Их механические свойства при этом ухудшаются.

Для стали группы В гарантируемыми характеристиками являются предел текучести, временное сопротивление, предел прочности и относительное удлинение, определяемое при испытании на растяжение в соответствии с нормами, указанными в табл. 1, за исключением стали марок ВМ Ст.3кп, ВКСт.3кп 2-го разряда, для которых предел текучести должен быть не менее 23 *кГ/мм*^{2}.

По требованию заказчика в стали группы В должны быть обеспечены испытание на загиб в холодном состоянии в соответствии с нормами, указанными в табл. 1, и ударная вязкость при нормальной температуре +20° С для проката толщиной 10—25 *мм* в соответствии с нормами, указанными в табл. 4. Ударная вязкость при —20° С, а также после механического старения, если испытания проводятся при +20° С для стали марок ВМСт.3сп, ВКСт.3сп, ВМСт.3пс, ВКСт.3пс толщиной 10—25 *мм* должна быть не менее 3 *кГм/см*^{2}.

Химический состав низколегированных сталей по ГОСТу 5058—65 приведен в табл. 5, механические свойства в состоянии поставки — в табл. 6, а улучшенных термической обработкой — в табл. 7.

Стали, рекомендуемые для работы в условиях низких температур, должны иметь высокую прочность, удовлетворительную свариваемость, хладостойкость. К этой категории относятся стали марок: 09Г2С, 09Г2, 10Г2С, 14Г2, 16ГС, 15ХСНД и др. Указанные стали должны проходить термическую обработку (закалка плюс отпуск или нормализация) или другие виды обработки, обеспечивающие достаточно высокую вязкость при движении трещины.

Стали, работающие в условиях низких температур, должны обладать низкой критической температурой перехода в хрупкое состояние. Понижение критической температуры может быть достигнуто рациональным легированием. Возможно повышение хладостойкости сталей обработкой синтетическими шлаками, бескремнистым раскислением, например, добавками алюминия, титана,

1. Механические свойства углеродистых сталей обыкновенного качества группы А (ГОСТ 380–60)*

Марка стали	σ_T в кГ/мм², не менее для разряда толщины [1]			$\sigma_в$ в кГ/мм²	δ_{10} в %	δ_5 не менее	Диаметр оправки при испытании на изгиб в холодном состоянии на 180° (s – толщина образца)
	1	2	3				
Ст. 0	—	—	—	Не менее 32	18	22	2s
Ст. 1 кп	—	—	—	32—40	28	33	0 (без оправки)
Ст. 1 пс							
Ст. 1 сп							
Ст. 2 кп	22	20	19	34—42	26	31	
Ст. 2 пс							
Ст. 2 сп							
Ст. 3 кп	24	22	21	38—40	23	27	0,5s
Ст. 3 пс	24	23	22	41–43	22	26	
Ст. 3 сп				44—47	21	25	
Ст. 4 кп	26	25	24	42—44	21	25	2s
Ст. 4 пс				45—48	20	24	
Ст. 4 сп				49—52	19	23	
Ст. 5 пс	28	27	26	50—53	17	21	3s
Ст. 5 сп				54—57	16	20	
				58—62	15	19	
Ст. 6 пс	31	30	30	60—63	13	16	—
Ст. 6 сп				64—67	12	15	
				68—72	11	14	
Ст. 7 пс	—	—	—	70—74	9	11	—
Ст. 7 сп				75 и более	8	10	

[1] 1-й разряд — сортовая сталь толщиной до 40 мм включительно; фасонная – 15 мм включительно; листовая и широкополосная — 4—20 мм включительно;
2-й разряд — сортовая — толщиной 40–100 мм включительно; фасонная — 15—20 мм включительно; листовая и широкополосная — 20—40 мм;
3-й разряд — сортовая — толщиной 100—250 мм включительно; фасонная — 20 мм, листовая и широкополосная — 40—60 мм включительно.

2. Механические свойства сталей для мостовых конструкций

Марка стали	σ_T	$\sigma_в$	Относительное удлинение стали [1] в %		ψ
	в кГ/мм², не менее		сортовой и фасонной	листовой и универсальной	
М16С	23	38	24 / 27	22 / 25	40
Ст. 3 мост	24		28	26	

[1] В числителе δ_{10} для длинного образца, в знаменателе δ_5 для короткого образца.

3. Нормы химического состава стали группы Б, определяемого по плавочному анализу ковшовой пробы
(ГОСТ 380-60*)

Марка стали	Содержание элементов в %					P	S
	C	Mn	Si в стали				
			кипящей не более	полуспокойной	спокойной	не более	
МСт. 0, КСт. 0	Не более 0,23	—	—	—	—	0,070	0,060
МСт. 1, КСт. 1	0,06—0,12	0,25—0,5	0,05	0,05—0,15	0,12—0,3	0,045	0,055
МСт. 2, КСт. 2	0,09—0,15	0,25—0,5	0,07	0,05—0,15	0,12—0,3	0,045	0,055
МСт. 3кп, КСт. 3кп	0,14—0,22	0,3—0,6	0,07	—	—	0,045	0,055
МСт. 3пс, КСт. 3пс	0,14—0,22	0,40—0,65	—	0,05—0,15	—	0,045	0,055
МСт. 3сп, КСт. 3сп	0,14—0,22	0,4—0,65	—	0,05—0,15	0,12—0,30	0,045	0,055
МСт. 4, КСт. 4	0,18—0,27	0,4—0,7	0,07	0,05—0,15	0,12—0,30	0,045	0,055
МСт 5, КСт. 5	0,28—0,37	0,5—0,8	—	0,05—0,15	0,15—0,35	0,045	0,055
МСт 6, КСт. 6	0,38—0,49	0,5—0,8	—	0,05—0,15	0,15—0,35	0,045	0,055
МСт. 7, КСт. 7	0,50—0,62	0,5—0,8	—	0,05—0,15	0,15—0,35	0,045	0,055
БСт. 0	Не более 0,14	—	—	—	—	0,09	0,07
БСт. 3	» » 0,42	0,25—0,55	0,07	0,05—0,15	0,12—0,35	0,08	0,06
БСт. 4	0,12—0,2	0,35—0,55	0,07	0,05—0,15	0,12—0,35	0,08	0,06
БСт. 5	0,17—0,3	0,5—0,8	—	0,05—0,15	0,12—0,15	0,08	0,06
БСт. 6	0,26—0,4	0,6—0,9	—	0,05—0,15	0,12—0,35	0,08	0,06

Значительно повышается при этом работа *при распространении* трещин. В значительном большинстве случаев полезна термическая обработка. Категории *высокопрочных* конструкционных строительных сталей приведены в табл. 8.

Выбор для конструкций алюминиевых материалов требует учета механических свойств, коррозионной стойкости, технологичности изготовления полуфабрикатов и объектов, хорошей свариваемости. Наиболее часто в конструкциях применяются *деформируемые* сплавы. Для термически неупрочняемых *сплавов* применяют нагартовку. Алюминиевые сплавы могут находиться в отожженном (мягком) состоянии М, полунагартованном П, нагартованном Н. Термически упрочняемые сплавы проходят закалку и старение. Алюминиевые сплавы находятся в горячекатаном состоянии (г/к), закаленном и естественно состаренном (Т), закаленном и *искусственно* состаренном (Т1).

Конструкции из алюминиевых сплавов сваривают: в среде инертных газов плавящимся и вольфрамовым электродами; по слою флюса полуоткрытой дугой; контактным способом; в более редких случаях электродуговым способом вручную и газом. В значительном большинстве случаев присадочные проволоки и электроды имеют состав основного металла или близкий к нему. Алюминиевые сплавы, применяемые в СССР, можно условно разделить по прочности на три группы.

1) сплавы низкой прочности ($\sigma_в < 25$ *кГ/мм²*): АМц, АМг, АМг2, АМг3, АМг4, АВ-М, АВ-Т, АД31, АД33-Т, Д1-М, Д16-М, В95-М;

2) прочные сплавы (25 *кГ/мм²* $\leqslant \sigma_в <$ 40 *кГ/мм²*): АМг5, АМг5В, АМг6, АМг61, АВ-Т1, АД33-Т1, АД35-Т1;

3) высокопрочные сплавы ($\sigma_в \geqslant$ 40 *кГ/мм²*): Д1-Т, Д16-Т, Д19-Т, Д20-Т, М40-Т, В92-Т, В92-Т1 В95-Т, В95-Т1, В96.

В табл. 9 приведены алюминиевые сплавы некоторых распространенных марок, применяемые в конструкциях, с указанием их системы легирования и физико-химических свойств.

Модули *упругости* алюминиевых сплавов при температуре от +40 до —50° С $E = 700\,000$ *кГ/см²*, для тех же условий модуль сдвига $G = 270\,000$ *кГ/см²*; коэффициент Пуассона $\mu = 0{,}3$; средний удельный вес 2,7 *кг/см³*; коэффициент *линейного расширения* $\alpha = 0{,}000023 \frac{1}{град}$. В табл. 10 приведены механические свойства алюминиевых сплавов в зависимости от состояния полуфабрикатов.

4. Ударная вязкость сталей
(по ГОСТу 380—60*)

Стали	Вид проката	Расположение образца	$a_н$ в кГ·м/см², не менее
Ст. 3пс, ВМСт. 3пс	Лист	Поперек прокатки	7
ВКСт. 3пс, Ст. 3сп	Широкополосная сталь	Вдоль прокатки	8
ВМСт. 3сп, ВКСт 3сп	Фасонный и сортовой прокат	То же	10
Ст. 4пс, ВМСт. 4пс	Лист	Поперек прокатки	6
ВКСт. 4пс, Ст. 4сп: ВМСт. 4сп, ВКСт. 4сп	Фасонный и сортовой прокат	Вдоль прокатки	8

5. Химический состав низколегированных сталей
(по ГОСТу 5058—65)

Сталь	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu
				Не менее		
14Г	0,12—0,18	0,17—0,37	0,70—1,00	0,30	0,30	0,30
19Г	0,16—0,22	0,17—0,37	0,80—1,15	0,30	0,30	0,30
09Г2	≤ 0,12	0,17—0,37	1,4—1,80	0,30	0,30	0,30
14Г2	0,12—0,18	0,17—0,37	1,20—1,60	0,30	0,30	0,30
18Г2	0,14—0,20	0,25—0,55	1,20—1,60	0,30	0,30	0,30
12ГС	0,09—0,15	0,50—0,80	0,80—1,20	0,30	0,30	0,30
16ГС	0,12—0,18	0,40—0,70	0,90—1,20	0,30	0,30	0,30
17ГС	0,14—0,20	0,40—0,60	1,00—1,40	0,30	0,30	0,30
09Г2С	≤ 0,12	0,50—0,80	1,30—1,70	0,30	0,30	0,30
10Г2С1	≤ 0,12	0,90—1,20	1,30—1,65	0,30	0,30	0,30
15ГФ	0,12—0,18	0,17—0,37	0,90—1,20	0,30	0,30	0,30 Ванадий 0,05—0,1
14ХГС	0,11—0,16	0,40—0,70	0,90—1,20	0,70—0,80	0,30	0,30
15ХСНД	0,12—0,18	0,40—0,70	0,40—0,70	0,60—0,90	0,30—0,60	0,20—0,40
10ХСНД	≤ 0,12	0,80—1,10	0,50—0,80	0,60—0,90	0,50—0,80	0,40—0,65

6. Механические свойства низколегированных сталей

Сталь	Толщина проката в мм	$\sigma_в$ в кГ/мм² не менее	σ_T не менее	δ_5 в % не менее	a_μ в кГ/см² при температуре +20	при температуре −40	при температуре −70
Сталь для металлических конструкций [1]							
14Г	4—10	46	29	21	—	3,5	—
19Г	4—10	48	32	19	—	3,5	—
09Г2	4—20	45	31	21	—	3,0	—
	21—31	45	30	21	—	4,0	—
14Г2	4—10	47	34	21	—	3,5	—
	11—32	46	33	21	—	3,0	—
18Г2	8—10	52	36	21	—	4	—
14ГС	4—10	47	32	26	—	—	—
16ГС	4—10	50	33	21	—	4	3
	11—20	49	32	21	6	3	2,5
	21—32	48	30	21	6	3	2,5
	33—60	47	29	21	6	3	2,5
	Св. 60 до 160	46	29	21	6	3	2,5
17ГС	4—10	52	35	23	—	4,5	—
	11—20	50	34	23	—	3,5	—
09Г2С	4—10	50	35	21	—	4	3,5
	11—20	45	33	21	6	3,5	3
	21—32	47	31	21	6	3,5	3
	33—60	46	29	21	6	3,5	3
	61—80	45	28	21	6	3,5	3
	Св. 80 до 160	44	27	21	6	3,5	3
10Г2С1	4—10	52	38	21	—	4	3
	11—20	51	36	21	6	3	2,5
	21—32	50	35	21	6	3	2,5
	33—60	48	34	21	6	3	2,5
	Св. 60 до 160	46	32	21	6	3	2,5
15ГФ	4—10	52	38	21	—	4	—
	11—20	52	36	21	—	3	—
	21—32	48	34	21	—	3	—
14ХГС	4—10	50	35	22	—	4	—
15ХСНД	4—32	50	35	21	—	3	3
10ХСНД	4—10	54	40	19	—	5	—
	11—15	54	40	19	—	4	3
	16—32	54	40	19	—	5	3
	33—40	52	40	19	—	5	3
Сталь для армирования железобетонных конструкций [2]							
35ГС	6—40	60	40	14	—	—	—
18Г2С	6—9	60	40	14	—	—	—
	40—90	50	30	14	—	—	—
25Г2С	6—40	60	40	14	—	—	—
20ХГ2Ц	10—32	90	60	6	—	—	—
80С	10—18	90	60	6	—	—	—

[1] Все стали для металлических конструкций должны иметь угол загиба в холодном состоянии 180° при $c = 2s$, где c — толщина оправки, s — толщина проката. Механические свойства сталей марок 14ХГС и 18Г2 всех толщин, марки 09Г2 толщиной 21—32 мм и марки 10ХСНД толщиной более 15 мм относятся к стали в термически обработанном состоянии. Ударная вязкость стали марок 09Г2 и 15ХСНД толщиной 5—10 мм при $T = -40°$ С должна быть не менее 4 кГ/см².

[2] Стали 35ГС, 18Г2С и 25Г2С должны иметь угол загиба в холодном состоянии 90° при $c = 3d$, а стали 20ХГ2Ц при 80С — 45° при $c = 5d$, где c — толщина оправки; d — диаметр стержня.

7. Механические свойства термически улучшенных сталей

Сталь	Толщина проката в мм	Механические свойства (не менее)				
		$\sigma_в$	σ_T	δ_{10} в %	$a_н$ в $кГ \cdot м/см^2$ при температуре в °С	
		в $кГ/мм^2$			−40	−70
09Г2	10—20	52	40	19	5	3
14Г2	10—32	54	40	18	4	3
16ГС	10—32	52	40	18	4	3
09Г2С	10—32	50	37	19	5	3
	33—50	46	32	21	5	3
10Г2С1	10—40	54	40	19	5	3
15ХСНД	10—32	60	50	17	4	3

Примечание. Угол загиба для всех сталей 180° при $c = 2s$, где c — толщина оправки.

8. Механические свойства высокопрочных сталей

Категория прочности	σ_T	$\sigma_в$	δ в %, не менее	Наименьшие значения $a_н$ при −40° С в $кГ \cdot м/см^2$
	в $кГ/мм^2$, не менее			
С-45	45	55	17	3,5
С-60	60	70	13	3,5
С-75	75	85	10	3,5

9. Характеристики свойств некоторых алюминиевых сплавов

Система сплава	Коррозионная стойкость	Технологичность	Свариваемость	Марка сплава
Al технический	Высокая			АД1-1; АМц
Al — Mn				
Al — Mg	Средневысокая		Высокая	АМг (2,5% Mg) АМг3 (3% Mg) АМг5 (5% Mg) АМг6 (6% Mg)
Al — Mg — Si	»		Средняя	АД31, АД33, АД35; АВ
Al — Mg — Zn	Средняя		Средневысокая	В92
Al — Cu — Mg	Низкая	Средняя	Низкая	Д1; Д16
Al — Zn — Mg — Cu	»	«	»	В95

10. Механические свойства деформируемых алюминиевых сплавов

Марка сплава	Вид и состояние полуфабриката	Толщина в мм	Типичные (или минимальные) показатели механических свойств		
			$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ в %
			в кГ/мм²		
АМц-М	Листы отожженные	0,3—3	10—15	5	20
		3,1—10	10—15	5	18
АМц-Н	Листы нагартованные	0,3—0,5	15	13	6
АМц-г к	Листы горячекатаные	5—10	11	—	13
АМц-Н	Профили нагартованные	Все размеры	14	—	—
АМг-М	Листы отожженные	0,3—1	17—23	(—)	13
		1,1—10	17—23	—	18
АМг-Н	Листы нагартованные	0,3—1	24	(21)	4
		1,1—6,5	24	—	6
АМг-Н	*Листы нагартованные*	0,3—0,8	27	—	3
		0,9—4	27	—	4
АМг-г к	Листы горячекатаные	5—10	18	—	7
АМг3-М	Листы отожженные	0,5—4,5	20	10	15
АМг3-г к	Листы горячекатаные	5—10	19	8	15
АМг5-М	Листы отожженные	0,5—4,5	28	15	15
АМг5-г к	Листы горячекатаные	5—10	18	13	15
АМг5	Профили горячепрессованные	Все размеры	26	13	15
АМг6-М	Листы отожженные	0,5—4,5	32	16	15
АМг6-г к	Листы горячекатаные	5—10	32	16	12
АМг6	Профили	Все размеры	32	14	15
АМг6-г к	Листы горячекатаные		36	20	16
АВ-М	Листы отожженные	0,3—0,5	15	—	20
		5—10	15 (12)	—	15
АВ-Т	Листы закаленные и естественно состаренные	0,6—3	20	—	20
		3—5	20	(17)	18
		5—10	18	—	16
АВ-Т1	*Листы закаленные и искусственно состаренные*	0,3—5	30	(24—28)	10
		5—10	30	—	8
АВ-Т	Профили закаленные и естественно *состаренные*	Все размеры	18	—	14
АВ-Т1	Профили закаленные и искусственно состаренные	»	30	23	10
АД31-Т1	Листы закаленные и искусственно состаренные	—	20	15	10
АД33-Т1		—	27	23	10
АД35-Т1		6—10	30—31	26—27	13—17
АД35-Т1	Профили закаленные и искусственно состаренные	7,5 (полка)	31	29	12
В92-Т1	Листы холоднокатаные закаленные и естественно состаренные (30 суток)	—	40	24	15
В92-Т	То же горячекатаные	—	40	22	15
В92-Т1	Листы холоднокатаные закаленные и искусственно состаренные	—	43	32	10
В92-Т1	То же горячекатаные	—	43	30	10
В92-Т	Профиль	Толщина полки			
		до 5	46	32	10
		от 5 до 15	42	28	11
В92-Т1	»	до 5	47	36	10
		от 5 до 15	44	30	10
Д1-М	Листы отожженные	—	18	10	18
Д1-Т	Листы закаленные и естественно состаренные	—	40—42	24	15—18
Д16М	Листы отожженные	—	20—21	11	13

Продолжение табл. 10

Марка сплава	Вид и состояние полуфабриката	Толщина в мм	Типичные или (минимальные) показатели механических свойств		
			$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ в %
			в кГ/мм²		
Д16-Т Д19-Т	Листы закаленные и естественно состаренные	—	44—47 44	31—32 30	13—17 12
М40-Т1	Листы закаленные и искусственно состаренные	—	40	—	8
Д20-М	Листы отожженные	—	16	7	20
Д20-Т1	Листы закаленные и искусственно состаренные	2,5	40	29	11
В95-Т1	То же, неплакированные	—	60	55	12
В95-Т1	То же, плакированные	—	54	47	10
В95-М	Листы отожженные плакированные	—	22	11—12	15—18

СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ И РАСЧЕТ ИХ ПРОЧНОСТИ ПРИ СТАТИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

Электродуговые соединения

Сварные соединения должны быть по возможности равнопрочными с основным металлом конструкции при действии продольных сил и моментов при всех видах нагрузок (статических, ударных и вибрационных) и температурах во время эксплуатации.

Требуемые механические свойства в сварных соединениях достигаются: выбором основного металла и рациональной конструктивной формы соединений, применением рациональных методов и режимов сварки, термической и механической обработкой конструкций после сварки. Конструкции с равнопрочными сварными соединениями хорошо отвечают требованиям экономичности.

Если элемент работает на продольную растягивающую силу, то расчетное усилие для его сварного соединения

$$P = [\sigma]_р F. \qquad (1)$$

При работе на сжимающую силу

$$P = [\sigma]_{сж} F, \qquad (2)$$

где $[\sigma]_р$ и $[\sigma]_{сж}$ — допускаемые напряжения при растяжении и сжатии для основного металла;

F — площадь поперечного сечения элемента.

В наплавленном металле швов могут возникать рабочие и связующие напряжения. Сварные соединения, разрушение которых влечет за собой выход из строя конструкций, называются рабочими, а напряжения, действующие в этих соединениях, — рабочими напряжениями. Напряжения, возникающие в наплавленном металле вследствие его совместной работы с основным металлом, называются связующими. Они, как правило, не опасны для прочности конструкций и при расчете не учитываются.

При автоматической и полуавтоматической сварке под флюсом формирование шва при малых и средних толщинах производится преимущественно за счет

основного металла, при больших — за счет наплавленного. При толщинах $s \geqslant 50$ мм автоматическую сварку под флюсом, как правило, заменяют электрошлаковой.

При одностороннем превышении кромки на более толстом листе должен быть сделан скос.

Соединения при сварке в среде защитных газов и малой толщине выполняются без присадки и с присадкой металла. При больших толщинах делаются

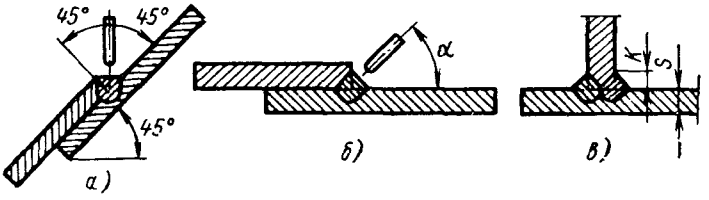


Рис. 1. Угловые швы для сварки под флюсом: *а* — укладка в лодочку, *б* — наклонным электродом; *в* — с глубоким проплавлением

U- и X-образные подготовки кромок. Как правило, стыковые швы направлены перпендикулярно действующим усилиям.

Допускаемые усилия в сварном соединении, работающем при растяжении (сжатии),

$$P = [\sigma']_p \, sl; \tag{3}$$

$$P = [\sigma']_{сж} \, sl, \tag{4}$$

где $[\sigma']_p$ — допускаемое напряжение в шве при растяжении;

$[\sigma']_{сж}$ — то же при сжатии.

В стыковых соединениях высокопрочных сталей и сплавов, подвергнутых термической обработке, при работе элементов наиболее слабым участком оказывается не металл шва, а прилежащая к нему зона, которая в результате термического действия дуги может оказаться разупрочненной. Поэтому расчет

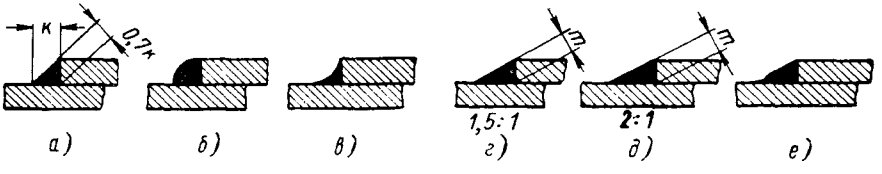


Рис. 2. Очертания угловых швов: *а* — нормальное; *б* — выпуклое; *в* — вогнутое; *г* — с отношением катетов 1 : 1,5; *д* — с отношением катетов 1 : 2; *е* — то же с обработкой конца шва

прочности швов заменяется расчетом прочности ослабленных зон с учетом механических свойств металла, его термической обработки и других факторов.

Угловые швы при сварке под флюсом (рис. 1) получаются с более глубоким проплавлением, чем при ручной. Параметрами, определяющими размеры угловых швов, являются катет K (при автоматической сварке под флюсом часто $K = s$) и длина l.

При сварке вручную угловые швы имеют разные очертания (рис. 2). Выпуклые швы вызывают повышенную концентрацию напряжений. Для снижения концентрации целесообразны угловые швы (рис. 2, *а*, *г*, *д*). В швах этого типа удобно производить механическую обработку концов для плавного сопряжения наплавленного металла с основным (рис. 2, *е*).

Как правило, применяют швы нормального очертания, расчетная толщина их (длина перпендикуляра, опущенного из вершины прямого угла на гипотенузу) равна 0,7 K, в тавровых $г$ и $д$ — равна m.

Наименьшая толщина рабочих швов в машиностроительных конструкциях 3 *мм*. Исключение составляют конструкции, в которых толщина самого металла меньше 3 *мм*. Наибольшая толщина швов не ограничена, но швы, у которых

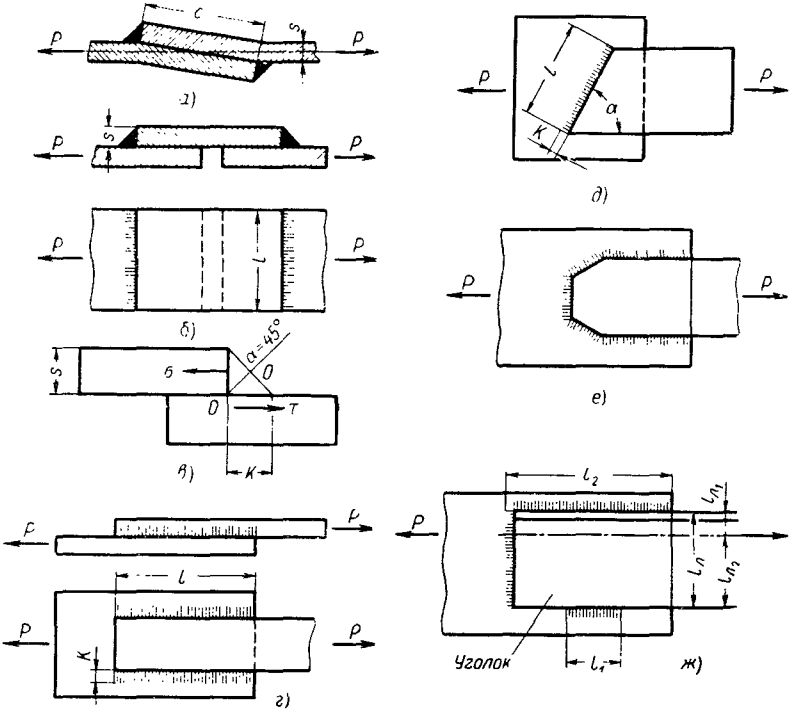


Рис. 3. Соединения с лобовыми и фланговыми швами: $а$ — с двумя расчетными лобовыми швами; $б$ — с одним расчетным лобовым швом; $в$ — схема усилий в лобовом шве; $г$ — с фланговыми швами; $д$ — с косым швом; $е$ — комбинированное соединение; $ж$ — прикрепление уголка

$K > 20$ *мм*, встречаются редко. Минимальная длина рабочих швов принимается 30 *мм*.

Лобовые угловые швы направлены перпендикулярно усилиям (рис. 3, $а$ — $в$). Расстояние между ними следует принимать c 4s. Лобовые швы рассчитывают на срез; прочность проверяют по расчетной толщине

$$P = [\tau'] 0{,}7Kl, \tag{5}$$

P — усилие, воспринимаемое одним лобовым швом;

$[\tau']$ — допускаемое напряжение на срез для металла шва.

Фланговые угловые швы направлены параллельно усилию. В результате совместной деформации основного и наплавленного металла, в них образуются связующие напряжения, не учитываемые расчетом. Расчет прочности фланговых швов производится на срез по плоскости, совпадающей с расчетной толщиной.

Для конструкции, приведенной на рис. 3, *г*,

$$P = 2[\tau']0{,}7Kl. \tag{6}$$

С учетом концентрации напряжений (см. ниже) расчетная длина (рис. 3, *д*) фланговых швов не должна превышать 50 K. Косые швы рассчитывают аналогично лобовым и фланговым.

Комбинированные угловые швы (рис. 3, *е*, *ж*) рассчитывают аналогично лобовым и фланговым швам. Если катеты всех швов, входящих в состав комбинированного соединения, равны между собой, то для симметричного прикрепляемого элемента

$$P = [\tau']0{,}7Kl, \tag{7}$$

где L — длина периметра швов.

При расчете прикрепления уголкового профиля усилие, воспринимаемое лобовым швом (рис. 3, *ж*),

$$P_л = [\tau']0{,}7Kl_л. \tag{8}$$

где $l_л$ — длина лобового шва.

Усилия, передаваемые на фланговые швы,

$$P_{фл} = P - P_л. \tag{9}$$

Величина этого усилия распределяется между швами следующим образом:

$$P_1 = P_{фл}\frac{l_{л1}}{l_л}; \tag{10}$$

$$P_2 = P_{фл}\frac{l_{л2}}{l_л}. \tag{11}$$

Если катеты K_1 и K_2 фланговых швов неодинаковы, то

$$P_1 = P_{фл}\frac{l_{л1}K_1}{l_{л1}K_1 + l_{л2}K_2}; \tag{10а}$$

$$P_2 = P_{фл}\frac{l_{л2}K_2}{l_{л1}K_1 + l_{л2}K_2}. \tag{11а}$$

При расчете прочности прикреплений равнобоких уголков, у которых $K_1 = K_2$, можно принимать

$$P_1 = 0{,}3P_{фл}; \quad P_2 = 0{,}7P_{фл}.$$

Касательные напряжения шва

$$\tau_1 = \frac{P_1}{0{,}7K_1l_1}; \quad \tau_2 = \frac{P_2}{0{,}7K_2l_2}. \tag{12}$$

Конструктивно длину l_1 можно увеличивать относительно размеров, требуемых по расчету прочности, до величины l_2.

При ручной дуговой сварке соединение втавр в большинстве случаев выполняется без подготовки кромок. Для соединения, приведенного на рис. 4, *а*,

$$P = 2[\tau']0{,}7Kl. \tag{13}$$

Для соединения, приведенного на рис. 4, *б* и *в*,

$$P = [\sigma']_p sl, \tag{13а}$$

где s — толщина меньшего из продольных соединяемых элементов;
$[\tau']$, $[\sigma']_p$ — допускаемое напряжение шва соответственно при срезе и растяжении.

Прочность швов соединения, изображенного на рис. 4, *а*, при сжатии проверяют с учетом, что значительная часть усилий передается через плоскость

соприкасания деталей. Поэтому в случае, когда зазоров в соединении нет, $[\tau']$ повышается до величины $[\sigma']_{сж}$.

Соединения втавр могут выполняться точечными швами (рис. 4, *г*). Применяют подобные швы, главным образом, при малых нагрузках, когда условия равнопрочности не обязательны, в конструкциях с толщиной листов $s \leq 5$ *мм*.

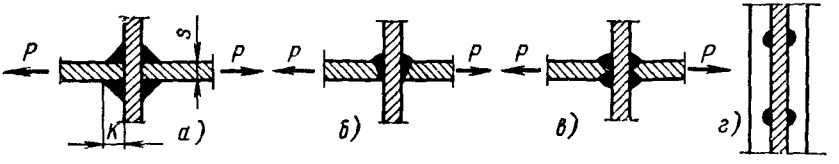


Рис. 4. Соединения втавр: *а* — без подготовки кромок; *б* — с односторонней подготовкой кромок; *в* — с двусторонней подготовкой кромок; *г* — точечные дуговые швы

Угловые соединения показаны на рис. 5.

Электрозаклепки ставят в соединениях листов внахлестку путем проплавления более тонкого листа (рис. 6). Такие соединения рациональны при небольших толщинах металла, например 5 *мм*. При использовании усовершенствован-

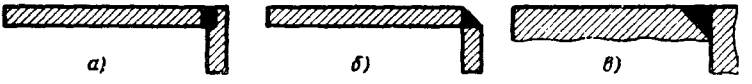


Рис. 5. Угловые соединения: *а* — для ручной сварки; *б* — для автоматической сварки $s = 6 \div 14$ *мм*; *в* — для автоматической сварки $s = 10 \div 40$ *мм*

ного сварочного оборудования возможно сваривание элементов большей толщины. В большинстве случаев соединения электрозаклепками являются связующими и рабочих усилий не передают. Расчет прочности электрозаклепок, передающих усилие, производится аналогично точечным соединениям при контактной сварке.

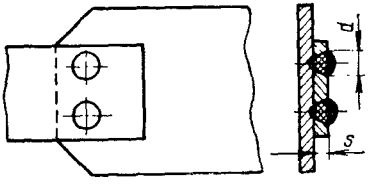


Рис. 6. Соединение проплавной электрозаклепкой

При проверке прочности комбинированных клепано-сварных соединений усилия P_2, возникающие в них после его усиления сварными швами, считаются передающимися на швы. Усилия P_1, действующие в клепаном соединении до его усиления, и $0.5\ P_2$ считаются передающимися на заклепки. Расчет прочности клепано-сварного соединения производится на величину усилия $P_2 - P_1 + 0.5\ P_2$. Клепано-сварные соединения применяются лишь при усилении старых клепаных конструкций. Во вновь проектируемых изделиях такие соединения не рекомендуются вследствие неравномерного распределения усилий между заклепками и сварными швами.

Соединения, выполненные контактной сваркой

Стыковым способом соединяют элементы с круглыми, квадратными, треугольными, трубчатыми, профильными (уголки, тавры, рельсы и т. д.) сечениями (рис. 7, *а* – *д*). Наиболее хорошо свариваются элементы одинакового попереч-

ного сечения (рис. 7, *а*, *б*). С увеличением периметра детали, при уменьшении ее толщины, процесс сварки усложняется.

При контактной стыковой сварке площади поперечного сечения и моменты сопротивления сварного стыка и элемента примерно равны между собой. Специальный расчет напряжений в стыках не производят. Прочность стыка опре-

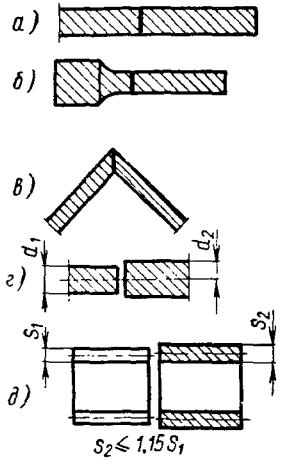


Рис. 7. Соединения при стыковой сварке: *а*, *б* — плоскости стыков перпендикулярны осям; *в* — то же под углом к оси; *г*, *д* — при разных размерах поперечных сечений

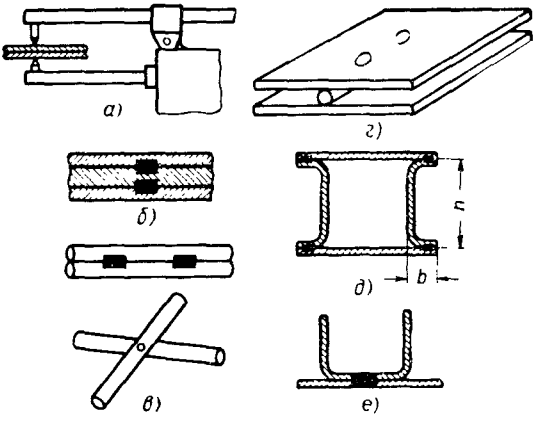


Рис. 8. Точечные сварные соединения заготовок: *а* и *б* — плоских; *в* и *г* — цилиндрических; *д* и *е* — корытообразных

деляется прочностью самого элемента с учетом термического действия, оказываемого швом на основной металл.

Точечной сваркой соединяют между собой плоские и цилиндрические детали различных толщин (рис. 8, *а*—*е*). Для такой сварки наиболее целесообразны заготовки с открытыми профилями или с отбортовкой (рис. 8, *д*) при

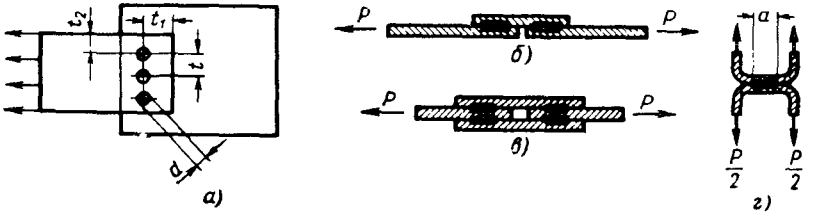


Рис. 9. Точечное соединение, работающее на срез и отрыв: *а* — расположение точек; *б* — односрезные точки; *в* — двусрезные точки; *г* — схема работы точки на отрыв

толщине элементов, не превышающей 8—10 *мм*. На специальных машинах возможна сварка точками элементов с суммарной толщиной до 40—60 *мм*.

Расстояние *t* между центрами точек в соединениях, называемое шагом (рис. 9, *а*), как правило, не должно превышать трех диаметров.

Диаметр точки в стальных конструкциях при $s \geq 2$ *мм* определяют по формуле

$$1{,}2s + 4 \text{ мм} < d < 1{,}5s + 5 \text{ мм}, \tag{14}$$

где s — наименьшая толщина свариваемых частей.

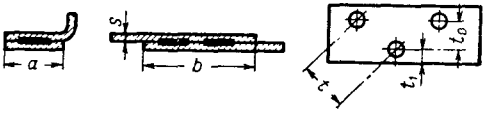
Расстояние от центра сварной точки до края детали в направлении действия силы должно быть $t_1 \geq 2d$, а в направлении, перпендикулярном действию силы, $t_2 \geq 1{,}5\ d$.

Минимальные диаметры точек приведены в табл. 11, а рекомендуемые параметры сварных точечных соединений малоуглеродистых и легированных сталей — в табл. 12.

11. Минимальные размеры диаметров точек d

Толщина s наиболее тонкой детали пакета в *мм*	Минимальный диаметр d в *мм* ядра точек			Толщина s наиболее тонкой детали пакета в *мм*	Минимальный диаметр d в *мм* ядра точек		
	Малоуглеродистые и низколегированные стали	Нержавеющие и жаропрочные стали, титановые сплавы	Легкие сплавы		Малоуглеродистые и низколегированные стали	Нержавеющие и жаропрочные стали, титановые сплавы	Легкие сплавы
0,3	2,0	2,5	—	1,5	5,0	5,5	6,0
0,5	2,5	2,5	3,0	2,0	6,0	6,5	7,0
0,6	2,5	3,0	—	2,5	6,5	7,0	8,0
0,8	3,0	3,5	3,5	3,0	7,0	8,0	9,0
1,0	3,5	4,0	4,0	4,0	9,0	10,0	12,0
1,2	4,0	4,5	5,0				

12. Рекомендуемые параметры сварных точечных малоуглеродистых соединений и легированных сталей в *мм*



Толщина s наиболее тонкой детали пакета	Минимальная ширина нахлестки или отбортовки		Рекомендуемое расстояние		
	при однорядном шве a	при двухрядном шве b	между рядами сварных точек t_0	между сварными точками t (шаг)	минимальное от центра сварной точки до кромки нахлестки t_1
0,5	10	16	6	15	5
0,8	10	18	8	18	5
1,0	12	20	8	20	6
1,2	14	22	8	22	7
1,5	16	24	8	25	8
2,0	18	28	10	30	9
3,0	20	37	16	40	10
4,0	24	42	18	50	12

Напряжения в односрезных точках (рис. 9, *б*)

$$\tau = \frac{4P}{\pi d^2} \leq [\tau_0']; \tag{15}$$

в двусрезных (рис. 9, *в*)

$$\tau = \frac{2P}{\pi d^2} \leqslant [\tau'_0], \qquad (16)$$

где $[\tau']_0$ — допускаемое напряжение в точке при срезе;
P — усилие, передаваемое на точку.

При работе сварной точки на отрыв (рис. 9, *г*) расчетное напряжение

$$\sigma = \frac{4P}{\pi d^2} \leqslant [\sigma'_0], \qquad (17)$$

где $[\sigma'_0]$ — допускаемое напряжение в точке при отрыве.

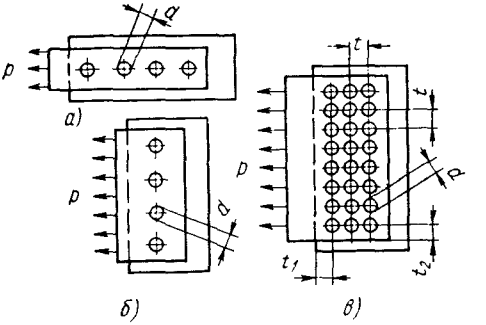


Рис. 10. Соединения с различным расположением точек к действующей силе: *а* — продольном; *б* — поперечном; *в* — смешанном

Напряжения в соединениях, изображенных на рис. 10, определяют, предполагая, что все точки работают равномерно. С учетом неравномерности распределения усилий допускаемое напряжение $[\tau'_0]$ в сложном соединении целесообразно снизить на

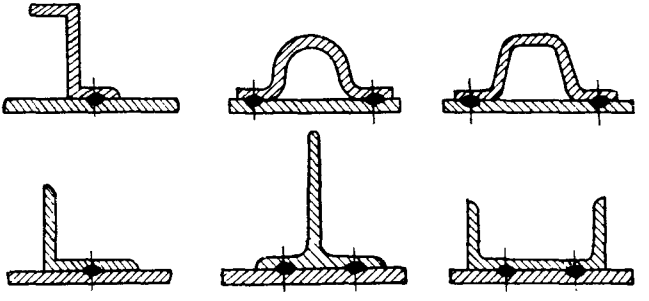


Рис. 11. Элементы со связующими точками

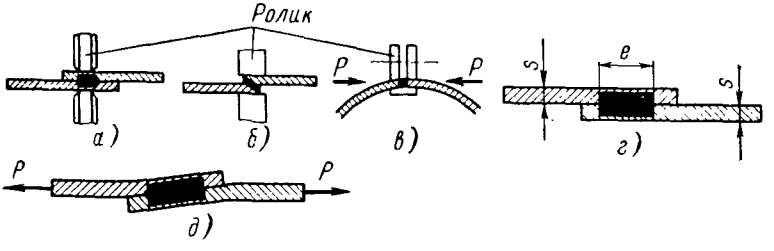


Рис. 12. Соединения при роликовой сварке: *а*, *б* — внахлестку; *в* — встык без подготовки кромок; *г*, *д* — соединения после сварки

10—20%. Число точек, расположенных вдоль действия силы, не должно превышать пяти.

При формировании профилей элементов конструкций, работающих на продольную силу, точки служат для связи между отдельными частями (рис. 11) и при статических нагрузках не оказывают существенного влияния на прочность, а поэтому при расчете не учитываются.

Роликовую сварку применяют для соединения элементов малых толщин ($s \leqslant 2 \div 3$ *мм*. рис. 12). Соединения, изображенные на рис. 12, *б* и *в*, применяются редко.

Напряжения в рабочих швах при роликовой сварке

$$\tau = \frac{P}{el} \leqslant [\tau'], \tag{18}$$

e — ширина шва; l — его длина.

Рельефная сварка обеспечивает хорошее качество соединений. Напряжения в них от расчетных нагрузок определяют так же, как в точечных.

Расчет соединений, нагруженных моментом и перерезывающей силой

Если при расчете сварных соединений на изгиб швы, прикрепляющие элемент (рис. 13, *а*), сварены с подготовкой кромок, расчетные напряжения в них определяются по формуле

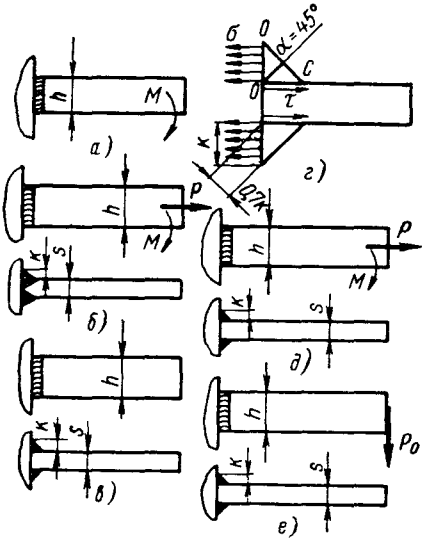


Рис. 13. Соединения, работающие на изгиб совместно с продольной силой: *а* — с подготовкой кромок при M; *б* — то же при M и P; *в* — с угловыми швами при M; *д* — с угловыми швами при M и P; *г* — схема работы углового шва; *е* — с угловыми швами при M и P_0

$$\sigma = \frac{M}{W} \leqslant [\sigma']_p; \tag{19}$$

$$W = \frac{sh^2}{6},$$

s — толщина элемента;

h — его высота.

При наличии в том же соединении момента M и продольной силы N, равной P (рис. 13, *б*),

$$\sigma = \frac{M}{W} + \frac{N}{F} \leqslant [\sigma']_p. \tag{20}$$

Для соединений с угловыми швами (рис. 13, *в*) напряжение от M определяется формулой

$$\tau = \frac{M}{W_c} \leqslant [\tau'], \tag{21}$$

где W_c — момент сопротивления угловых сварных швов.

В плоскости OO (рис. 13, *г*) момент сопротивления двух сварных швов высотой h и катетом K

$$W_c = \frac{2 \cdot 0{,}7Kh^2}{6}. \tag{22}$$

С учетом того, что разрушение угловых швов происходит по наименьшей плоскости в шве,

$$\tau = \frac{M}{2 \cdot 0{,}7\frac{Kh^2}{6}} \leqslant [\tau']. \tag{23}$$

Напряжения в угловых швах от момента M и продольной силы N, равной P (рис. 13, *д*), определяются по формуле

$$\tau = \frac{M}{W_c} + \frac{N}{F_c} \leqslant [\tau'], \tag{24}$$

где F_c — площадь сечения швов;
$[\tau']$ — допускаемое напряжение в шве при срезе.

При нагружении по схеме рис. 13, *е* напряжения от изгиба

$$\tau = \frac{M}{W_c}, \tag{25}$$

напряжения от поперечной силы, равной P_0,

$$\tau_P = \frac{P_0}{2 \cdot 0{,}7 K h}. \tag{26}$$

Для соединений, изображенных на рис. 14 и 15, расчет может быть проведен по одному из двух способов.

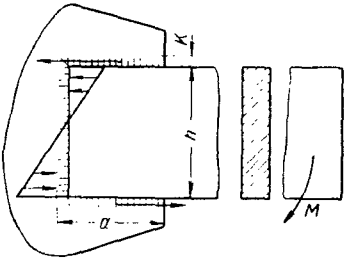


Рис. 14. Схема расчета по принципу расчленения на составляющие соединения

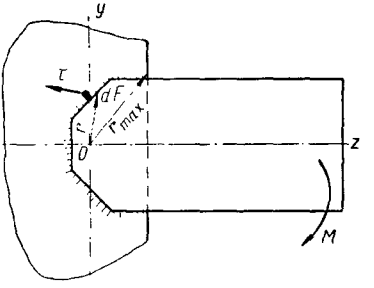


Рис. 15. Схема расчета соединения по принципу полярного момента инерции

При расчленении соединений на составляющие (рис. 14)

$$M = M_{верт.\,шв} + M_{гор.\,шв}, \tag{27}$$

откуда касательные напряжения

$$\tau = \frac{M}{0{,}7Ka(h + K) + 0{,}7\frac{Kh^2}{6}} \leqslant [\tau']. \tag{28}$$

По формуле легко найти требуемую длину швов *a* или их катет *K*.

При расчете по способу полярного момента инерции, например для соединений, имеющих сложную форму (рис. 15),

$$M = \int_F \tau\, dF r. \tag{29}$$

Полярный момент инерции равен сумме двух осевых моментов

$$J_p = J_z + J_y. \tag{30}$$

Наибольшее напряжение

$$\tau_{max} = \frac{M}{J_p} r_{max}. \tag{31}$$

Расчет по способу полярного момента инерции обеспечивает больший запас прочности.

Расчет соединения с двумя точками, работающего на изгиб, производят определением усилия по формуле $T = \frac{M}{h}$ (рис. 16, *а*) с последующим вычислением напряжения среза (рис. 16, *в*).

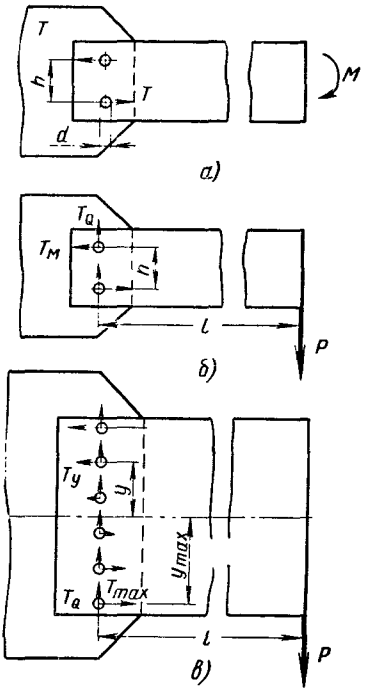


Рис. 16. Точечные соединения, работающие на изгиб и на срез

Напряжение в точке, наиболее удаленной от нейтральной оси, находят по формуле

$$\tau_{max} = \frac{4M}{\pi d^2 \sum y^2} y_{max}. \qquad (32)$$

Напряжения, вызванные поперечной силой $Q = P$, вычисляют по формуле (рис. 16, *б*)

$$\tau_Q = \frac{4Q}{n\pi d^2}, \qquad (33)$$

где n — количество точек в вертикальном ряду.

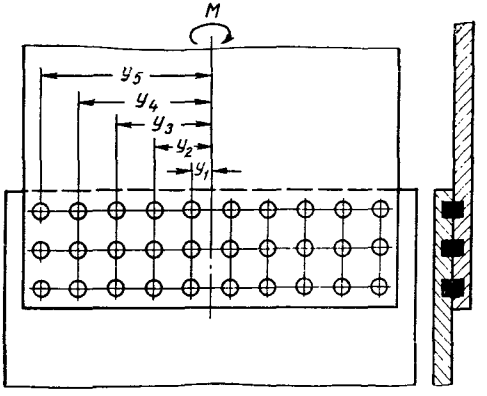


Рис. 17. Схема расчета соединения на изгиб

При наличии нескольких рядов точек (рис. 17) напряжение от изгиба

$$\tau_{max} = \frac{4M}{i\pi d^2 \sum y^2} y_{max}. \qquad (34)$$

Напряжение от поперечной силы

$$\tau_Q = \frac{4Q}{in\pi d^2}. \qquad (35)$$

Результирующее напряжение

$$\tau_{рез} = \sqrt{\tau^2_{max} + \tau^2_Q} \leqslant [\tau']. \qquad (36)$$

При обваренных периметрах элементов (рис. 18, *а—г*), работающих на изгиб, касательные напряжения в швах определяют по формуле

$$\tau = \frac{M}{W_c} \leqslant [\tau']. \qquad (37)$$

Момент сопротивления

$$W_c = \frac{J_c}{y_{max}},$$

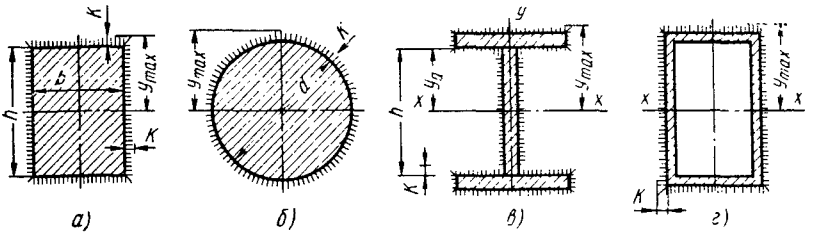


Рис. 18. Сварные соединения элементов, обваренных угловыми швами по периметру, работающие на изгиб

где J_c — расчетный момент инерции периметра швов, равный 0,7 момента инерции сечения швов.

Для круглого поперечного сечения (рис. 18, *б*)

$$J_c = 0{,}7\left[\frac{\pi(d+2K)^4}{64} - \frac{\pi d^4}{64}\right]; \tag{38}$$

$$y_{max} = \frac{d}{2} + K.$$

Напряжения в швах от Q определяют при допущениях: поперечная сила воспринимается только вертикальными швами, распределение напряжений по длине вертикальных швов равномерно. Среднее напряжение от Q

$$\tau_0 = \frac{Q}{F_в} = \frac{Q}{2 \cdot 0{,}7 K h_в}, \tag{39}$$

где $F_в$ — расчетная площадь вертикальных швов.

Сварные соединения в алюминиевых сплавах

В конструкциях применяют алюминиевые сплавы в соответствии с их составами с термической обработкой и без нее.

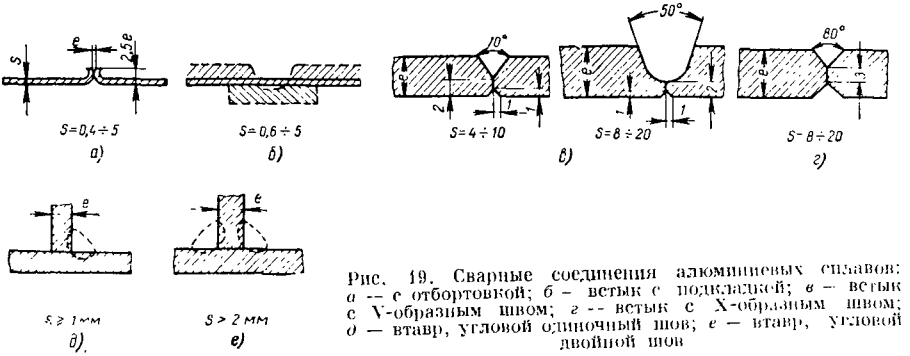
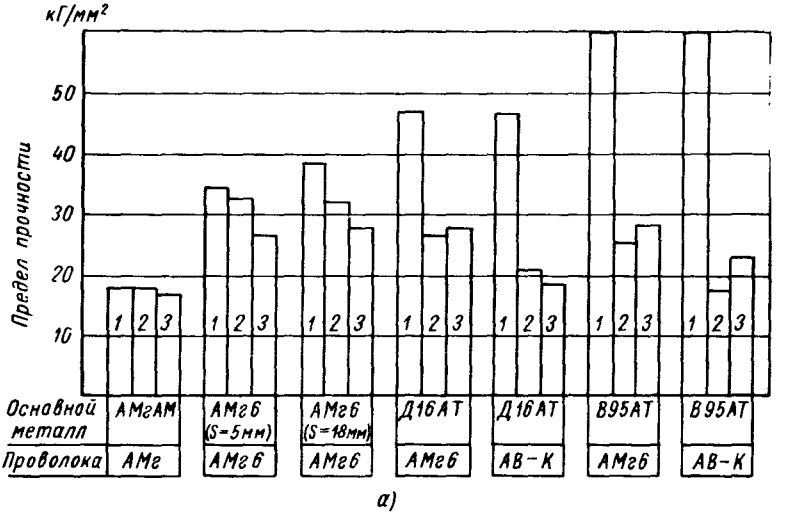
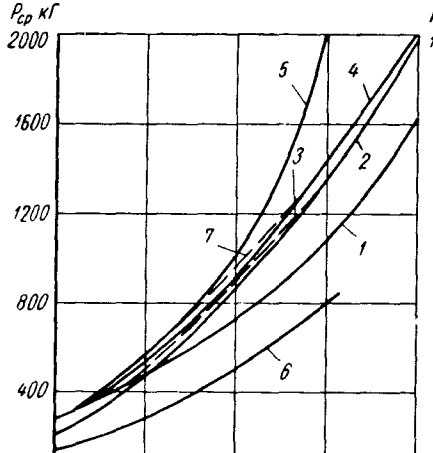


Рис. 19. Сварные соединения алюминиевых сплавов: *а* — с отбортовкой; *б* — встык с подкладкой; *в* — встык с V-образным швом; *г* — встык с X-образным швом; *д* — втавр, угловой одиночный шов; *е* — втавр, угловой двойной шов

При дуговой сварке (аргоно-дуговой и флюсовой) рекомендуются соединения встык, внахлестку, втавр и др. (рис. 19). При этом необходима тщательная

подготовка изделий под сварку. Прочность сварных соединений из алюминиевых сплавов зависит от марки сплава, типа соединения и технологии производства. На рис. 20, *а* приведены характеристики прочности соединений встык при снятом и неснятом усилении.





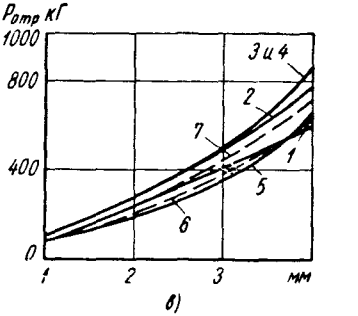


Рис. 20. Механические свойства сварных соединений алюминиевых сплавов: *а* — электродуговых при разрыве: *1* — основной металл; *2* — соединения с усилением; *3* — без усиления; *б, в* — точечных при срезе и отрыве в зависимости от толщины металла: (*1* — АМц; *2* — АМг3; *3* — АМг5; *4* — АМг6; *5* — АМг61; *6* — Д16-М; Д19-М; Д20-М, *7* — Д16-Т; Д20-Т; В95-Т)

Прочность соединений внахлестку с угловыми швами меньше, чем со стыковыми. Например, прочность соединения с фланговыми и комбинированными (фланговыми плюс лобовыми) швами составляет 50—85% от прочности основного

металла в зависимости от принятого технологического процесса сварки и лишь в редких случаях превышает эти значения.

Прочность соединений алюминиевых сплавов рассчитывают по тем же формулам, что и стальных.

В алюминиевых конструкциях широко применяют точечные и роликовые швы, выполняемые контактной сваркой. Современные контактные машины обеспечивают высокое качество соединений деталей из алюминиевых сплавов малых

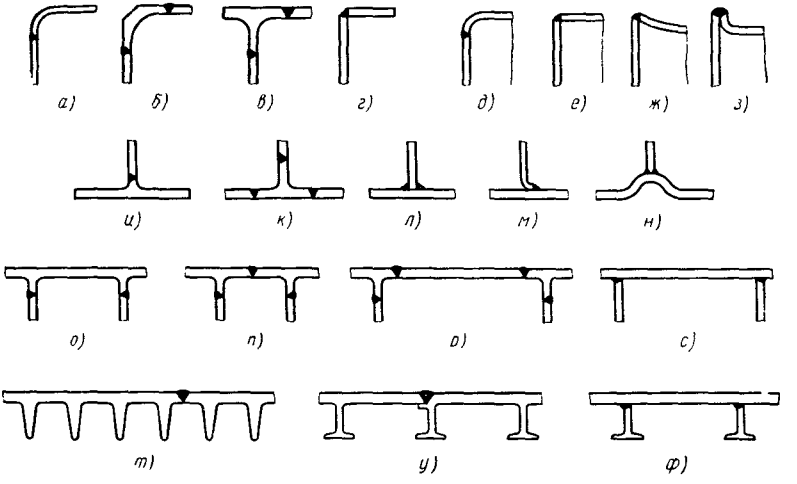


Рис. 21. Примеры соединений из алюминиевых сплавов

и средних толщин до 7 + 7 *мм* при точечных и до 4 + 4 *мм* при роликовых швах (рис. 20, *б*, *в*), работающих соответственно при срезе и отрыве. При проектировании и оформлении сварных конструкций следует удовлетворять требованиям устранения концентрации напряжений и в некоторых случаях обеспечения деформативности.

Соединения на рис. 21, *а*, *б*, *в*, *д*, *и*, *к*, *о*, *п*, *р*, *т*, *у* обладают минимальной концентрацией напряжений в швах, на рис. 21, *г*, *е*, *л*, *с*, *ф* - малой деформативностью, а на рис. 21, *ж*, *з*, *м* и *н* — повышенной деформативностью.

Соединения при специальных методах сварки и при пайке

Электрошлаковой сваркой соединяют преимущественно стальные элементы толщиной 30 *мм* и более. Швы укладывают в вертикальном положении. Они выполняют функции связующих и рабочих соединений.

При большой толщине стенок их приходится подвергать термической обработке (нормализации и отпуску) для улучшения структуры и снятия остаточных напряжений.

В большинстве случаев расчет швов, сваренных электрошлаковой сваркой, не отличается от проверки напряжений в основном элементе конструкций. В некоторых случаях в стыках понижают допускаемые напряжения.

При сварке трением (рис. 22) соединения сваривают встык и втавр из однородных и разнородных металлов, например: сталь + медь, медь + алюминий и т. д.

Расчетные напряжения в соединениях эквивалентны напряжениям в основном металле. Допускаемые напряжения устанавливают на основе специальных опытов.

Стальные детали толщиной менее 1 *мм* могут свариваться ультразвуком (рис. 23). При этом применяют точечные и роликовые швы.

Механические свойства соединений зависят от технологического процесса и рода материала.

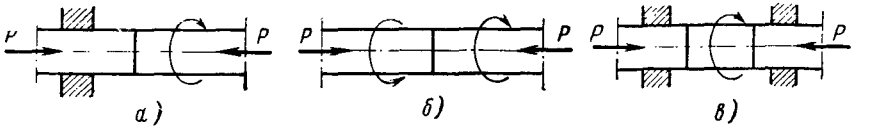


Рис. 22. Схема сварки трением: *а* — при вращении одной детали; *б* — при вращении обеих деталей, *в* — с вращающейся проставкой

Диффузионной сваркой соединяют различные металлы, неметаллические материалы и металлы с неметаллическими материалами по плоскости (листы), конической поверхности (корпусы радиоламп), цилиндрической поверхности (подпятники и др.). Напряжения в соединениях определяют, как и в элементах основной конструкции. Допускаемые напряжения назначают на основе опытов.

При холодной сварке различают две основные группы соединений: встык (рис. 24, *а*) и внахлестку (рис. 24, *б*, *в*).

Так как соединения встык осуществляют при значительных пластических деформациях, то в зоне стыка образуется наклеп. При этом прочность соединения достигает прочности свариваемых элементов.

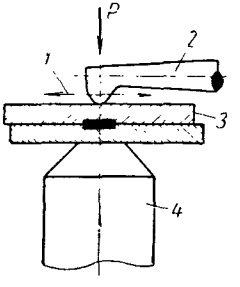


Рис. 23. Схема ультразвуковой сварки металлов: *1* — направление колебаний; *2* — волновод; *3* — деталь; *4* — опора (колебания волновода — параллельно стыкуемым плоскостям)

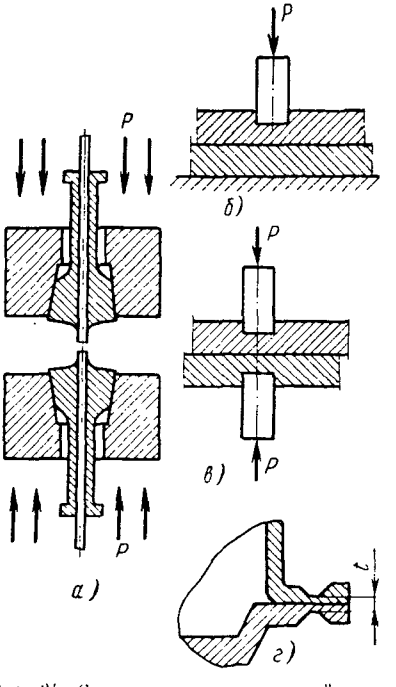


Рис. 24. Соединения при холодной сварке: *а* — встык; *б* и *в* — внахлестку; *г* — внахлестку полупроводниковых приборов

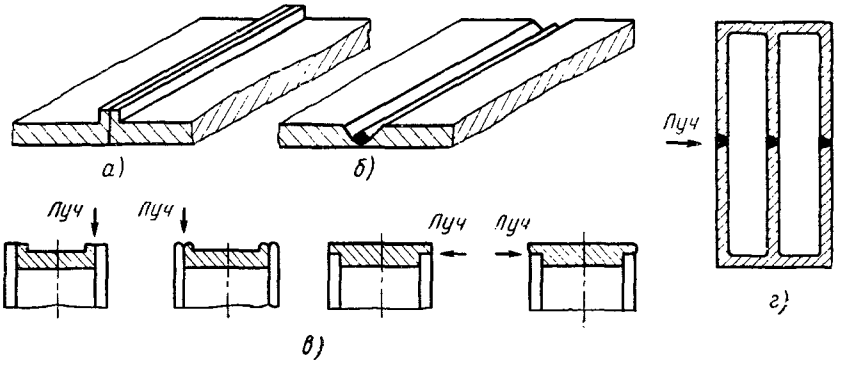


Рис. 25. Соединения при электронно-лучевой сварке: *а* — встык с отбортовкой кромок; *б* — с разделкой и присадкой металла; *в* — втавр; *г* — с проплавлением во внутренних объемах

В соединениях внахлестку детали с одной или двух сторон сдавливаются пуансонами, величина деформирования при сдавливании составляет 50—60% и более от толщины свариваемой детали. Расчет прочности сварных точек аналогичен расчету прочности электрозаклепок. Наиболее целесообразно применять точки в связующих соединениях.

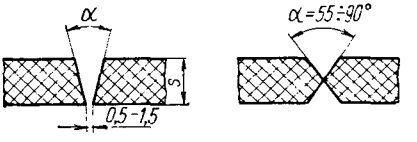


Рис. 26. Разделка кромок при сварке полимеров горячим воздухом

Типы сварных соединений при электронно-лучевой сварке изображены на рис. 25 при сварке элементов встык (рис. 25, *а*, *б*) и внахлестку. Возможна укладка швов втавр (рис. 25, *в*) и в замкнутых объемах (рис. 25, *г*). Зоны влияния при электронно-лучевой сварке имеют малую ширину. Расчет прочности соединений часто сводится к расчету прочности основной детали, соединения принимаются равнопрочными целому элементу. Более точно прочность соединений, в особенности разнородных металлов, определяют на основе специальных экспериментов.

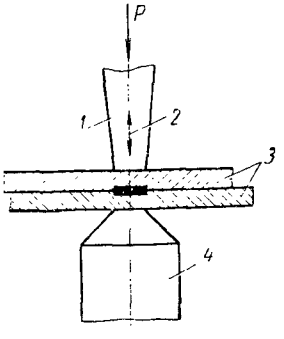


Рис. 27. Схема ультразвуковой сварки полимеров: *1* — волновод; *2* — колебания (направление перпендикулярно плоскостям контакта); *3* — детали; *4* — опора

Сваркой соединяют и полимерные материалы: полиэтилен, плексиглас, поливинилхлорид и др. При сварке горячим воздухом часто применяют соединения встык с разделкой кромок без притуплений (рис. 26), которая осуществляется при толщине элементов $s = 2$ *мм*. При $s \leqslant 5$ *мм* угол разделки $\alpha = 55 \div 60°$; при $s \geqslant 5$ *мм* угол $\alpha = 70 \div 90°$.

При $s \geqslant 6$ *мм* целесообразно применять Х-образную разделку с углом 55—90°. При этом отношение усилия, разрушающего шов, к усилию, разрушающему целый элемент, для ряда полимеров составляет 0,3—0,6.

Угловые и тавровые соединения, трубы и др. из полимеров сваривают нагревательным элементом, а очень тонкие пленки (сотые доли миллиметра) — электроимпульсной сваркой. Некоторые термопласты, например винипласт, поливинилхлорид, полиамид и др., сваривают токами высокой

частоты. При этом соединяемые детали нагревают роликами, через которые пропускается ток от ламповых генераторов.

Стержни круглого сечения и трубы из полимеров сваривают встык. При сварке труб из винипласта прочность стыкового шва составляет около 50% от прочности основного элемента.

Сварка полимеров ультразвуком производится по схеме, изображенной на рис. 27, — колебания волновода направлены перпендикулярно плоскостям стыкуемых элементов.

При пайке применяют различные виды соединений (рис. 28); особенно распространены соединения встык, внахлестку. Прочность соединений встык, выполненных твердыми припоями, достигает 50 $кГ/мм^2$ и более. Прочность нахлесточного соединения зависит от длины нахлестки: прочность возрастает

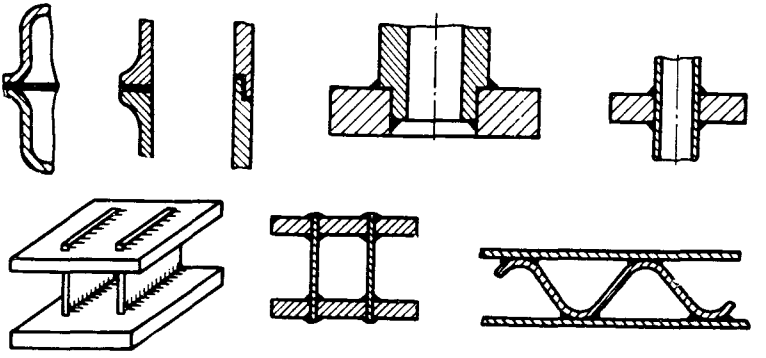


Рис. 28. Примеры паяных соединений.

с увеличением длины. Соединения в ус обладают высокой прочностью, но неудобны для выполнения. Для проникновения припоя между прилегающими деталями необходимо оставлять между ними зазоры величиной от нескольких сотых до десятых долей миллиметра.

Наиболее производительны следующие виды пайки: погружение в металлическую (с расплавленным припоем) или в соляную ванну, в печах с восстановительной газовой атмосферой, токами высокой и ультразвуковой частот, дугой или газовым пламенем.

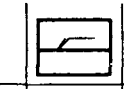
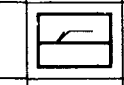
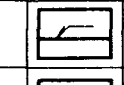
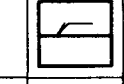
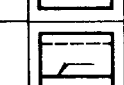
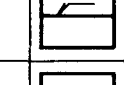
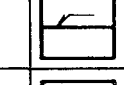
Расчет прочности стыковых паяных соединений производят, как правило, с учетом того, что рабочие напряжения в паяных швах равны напряжениям в основном элементе конструкции. Прочность паяного шва определяется на основе опытных данных в зависимости от материала припоя и технологического процесса пайки. Пайкой соединяют конструкции из черных и цветных металлов. Ее применение особенно целесообразно для соединения металлов с разной температурой плавления.

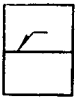
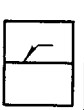
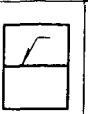
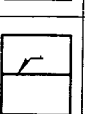
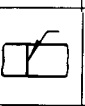
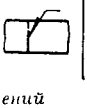
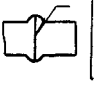
Условные обозначения сварных швов

Примеры условных обозначений сварных соединений приведены в табл. 13.

В чертежах, составляемых в масштабе 1 : 10 и меньше, ГОСТ 5263—58 предписывает применять упрощенные изображения швов в виде стрелок (рис. 29). Угол наклона стрелки 30—50°. Все условные размеры и знаки проставляются у видимого шва над горизонтальным участком стрелки, у невидимого — под ним. Швы, подлежащие выполнению на монтаже, обозначаются дополнительно буквой М над наклонным участком стрелки.

13. Условные знаки типов сварных швов и примеры их условных обозначений

Типы швов		Формы подготовки свариваемых кромок в поперечном сечении	Графические знаки типа шва	Изображение сварных швов			Обозначение шва
по форме подготовленных кромок	по характеру выполненного шва			в виде сверху		в разрезе	
				видимые	невидимые		
Швы стыковых соединений							
С отбортовкой двух кромок	Односторонние						С1
С отбортовкой одной кромки	То же						С1а
Без скоса кромки	Двусторонние				—		С2
	Односторонние						С3
	Односторонние с подкладкой						С4
	Односторонние замковые						С4а
	Односторонние с подкладкой						С7
V-образные со скосом двух кромок	Двусторонние						С8
	Односторонние						С9
	Односторонние с подкладкой						С10
	Односторонние замковые						С10а
V-образные с криволинейным скосом двух кромок	Двусторонние						С11

Типы швов		Формы подготовки свариваемых кромок в поперечном сечении	Графические знаки типа шва	Изображение сварных швов			Обозначение шва
по форме подготовленных кромок	по характеру выполненного шва			в виде сверху		в разрезе	
				видимые	невидимые		
Х-образные с двумя симметричными скосами двух кромок	Двусторонние				—		С15
То же с несимметричными скосами	То же						С16
С двумя криволинейными скосами	То же				—		С17
	Без оплавления				—		С18
	С оплавлением				—		С19
Швы угловых соединений							
Без скоса кромок	Двусторонние						У4
	Односторонние						У5
Со скосом одной кромки	Двусторонние						У6
	Односторонние						У7
С двумя скосами одной кромки	Двусторонние				—		У8
Со скосом двух кромок	Двусторонние						У9
	Односторонние						У10

Продолжение табл. 13

Типы швов: по форме подготовленных кромок	Типы швов: по характеру выполненного шва	Формы подготовки свариваемых кромок в поперечном сечении	Графические знаки типа шва	Изображение сварных швов: в виде сверху, видимые	Изображение сварных швов: в виде сверху, невидимые	Изображение сварных швов: в разрезе	Обозначение шва
Швы стыковых соединений							
Без скоса кромок	Двусторонние						Т1
Со скосом одной кромки	То же						Т8
	Односторонние						Т9
Со скосом двух кромок: симметричным	Двусторонние						Т10
несимметричным							Т11
Швы соединений внахлестку							
—	Односторонние с проплавлением			b	b	b	Н5
	Точечные: двусторонние			$d-t$	—	$d-t$	Н6
	односторонние			$d-t$	—	$d-t$	Н7
	Рельефные			$d-t$	$d-t$	$d-t$	Н8
	Роликовые			b	—	b	Н9
Без скоса кромок	Односторонние сплошные						Н10
	Односторонние точечные						Н11

На чертежах в масштабе более 1 : 10 допускается для обозначения швов, помимо стрелок, применять штриховку или утолщенные линии в плане и фасаде, а также заливку тушью контуров шва в разрезе.

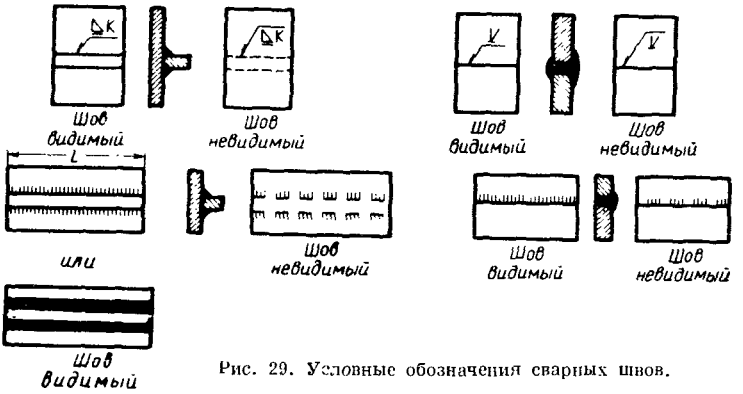


Рис. 29. Условные обозначения сварных швов.

Электродуговая сварка сокращенно обозначается буквой Э, контактная — К, в среде защитных газов — З; ручная сварка обозначается буквой Р, полуавтоматическая — П, автоматическая — А.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ

Концентрацию напряжений в сварных конструкциях вызывают следующие причины:

1. Технологические дефекты шва — газовые пузыри, шлаковые включения и особенно трещины и непровары. Возле этих дефектов силовые линии искривляются, в результате чего образуется концентрация напряжений. Коэффициенты концентрации напряжений около указанных дефектов значительны, но при их небольшом числе и размерах прочность сварных соединений остается удовлетворительной. В плотных однородных швах концентрация напряжений может быть снедена до минимума.

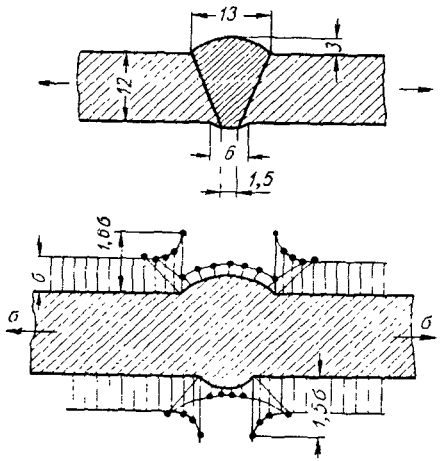


Рис. 30. Распределение напряжений в стыковых швах. Равномерное напряжение σ в сечении, удаленном от шва, принято условно за единицу

2. Нерациональные очертания швов. На основании данных теории упругости установлено, что очертание швов оказывает большое влияние на распределение в них внутренних сил. Экспериментально на металлических моделях и на моделях из прозрачного материала подтверждены выводы теории упругости.

3. Нерациональные конструкции соедине-

и и й (примеры нерациональной конструкции соединений рассмотрены в данной главе ниже).

Стыковые швы представляют собой наиболее совершенную форму сварных соединений, в которых концентрация напряжений невелика.

Как показали эксперименты, при хорошем проваре и снятых усилениях концентрация напряжений в стыковых швах отсутствует. В швах, имеющих выпуклые очертания (рис. 30), распределение напряжений неравномерно.

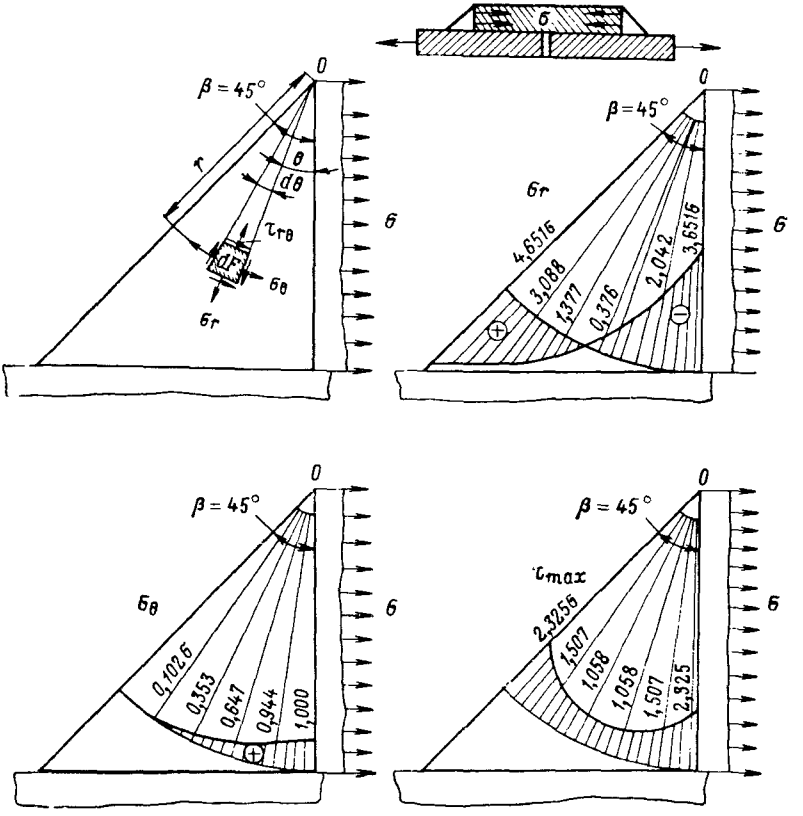


Рис. 31. Распределение напряжений в лобовом шве

В стыковых швах концентрация напряжений возникает вследствие изменения сечения пластины в зоне соединений. Она может быть очень значительной при отсутствии полного провара корня шва. Чем меньше «усиление» швов и плавнее их сопряжения с основным металлом, тем меньше коэффициенты концентрации.

В табл. 14 приведены наибольшие коэффициенты концентрации напряжений в лобовом шве, имеющем $\beta = 45°$ и $\beta = 60°$. Экспериментально были изучены коэффициенты концентрации напряжений в лобовых швах, имеющих очертания, указанные на рис. 32, *а*. Если принять величину наибольшего напряжения, определенного опытным путем, в образце *А* за единицу, то наибольшие

напряжения в других образцах (*Б* — *Д*) будут выражены цифрами, указанными на рис. 32, *б*. Чтобы уменьшить концентрацию напряжений и улучшить условия работы лобового шва, необходимо придать ему форму неравнобедренного треугольника с основанием, равным 1,5—2,5 высоты.

14. Коэффициенты концентрации напряжений в лобовом шве (рис. 31)

Напряжения	K_T при $\beta = 45°$		K_T при $\beta = 60°$	
	$\theta = 0°$	$\theta = 45°$	$\theta = 0°$	$\theta = 60°$
σ_r	2,61	3,32	1,33	2,20
σ_θ	0,71	—	0,87	—
$\tau_{r\theta}$	—	—	1,10	1,10
σ_{max}	3,32	—	—	—
σ_{min}	1,66	1,66	—	—

Приведенные величины напряжений в лобовых швах верны при условии, если σ не превышают предела текучести σ_T. При $\sigma \geq \sigma_T$ распределение напряжений в лобовом шве изменяет свой характер.

При достижении предельного состояния, т. е. момента, когда все точки шва, у которого угол $\beta = 60°$ (рис. 32, *а*), будут иметь эквивалентные напряжения,

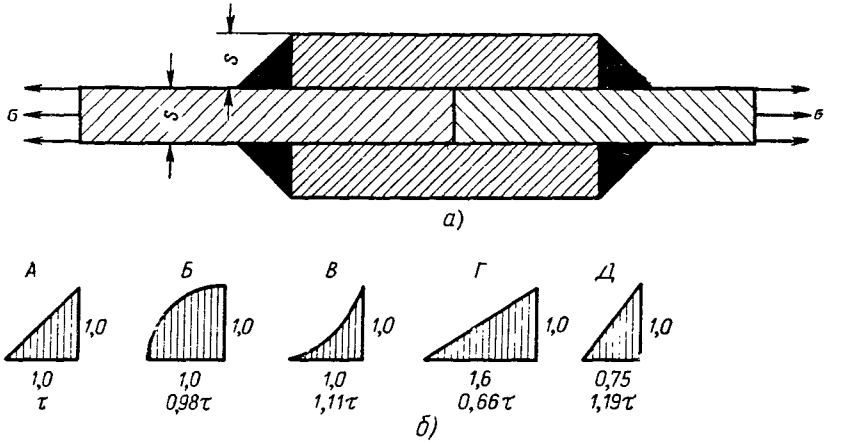


Рис. 32. Результаты опытного исследования величин наибольших напряжений τ в лобовых швах в зависимости от их очертаний. В шве в форме равнобедренного треугольника напряжение принято за единицу

равные σ_T, два лобовых шва $\beta = 60°$ образуют соединение с несущей способностью, как у целого сечения.

Эпюра распределения τ по длине флангового шва при $F_1 = F_2$ выражается функцией гиперболического косинуса, называемой цепной линией (рис. 33, *а*).

При $F_1 < F_2$ со стороны F_1 напряжения в шве оказываются выше, чем с противоположной стороны, и эпюра τ принимает асимметричное очертание (рис. 33, *б*). На рис. 33 горизонтальные прямые изображают средние значения $\tau_{ср}$, которые лежат в основе условного расчета прочности.

Теоретический коэффициент концентрации касательных напряжений в продольном шве для соединений элементов, у которых $F_1 = F_2 = F$, по приближенной формуле равен

$$K_\tau = \frac{0{,}63l}{\sqrt{F}}\left(\operatorname{cth}\frac{1{,}26l}{\sqrt{F}} + \frac{1}{\operatorname{sh}\dfrac{1{,}26l}{\sqrt{F}}}\right), \tag{40}$$

где l — длина шва.

Эпюры распределения τ имеют вид, показанный на рис. 33, *а*, *б*, при условии, что все деформации протекают упруго.

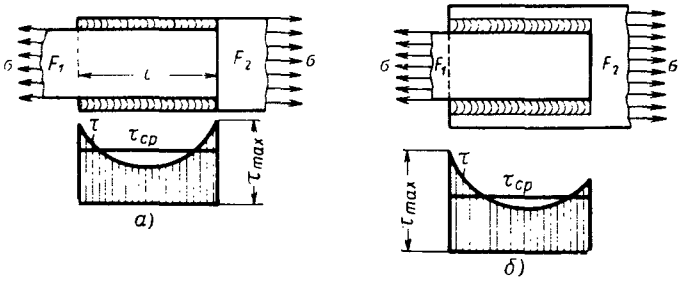


Рис. 33. Распределение напряжений τ в соединении с длинными фланговыми швами, прикрепляющими узкую полосу: *а* — при $F_1 = F_2$; *б* — при $F_1 < F_2$

Если фланговые швы небольшой длины, а распределение напряжений τ вдоль их длины равномерно (рис. 34), то при значительной ширине листа $2a$

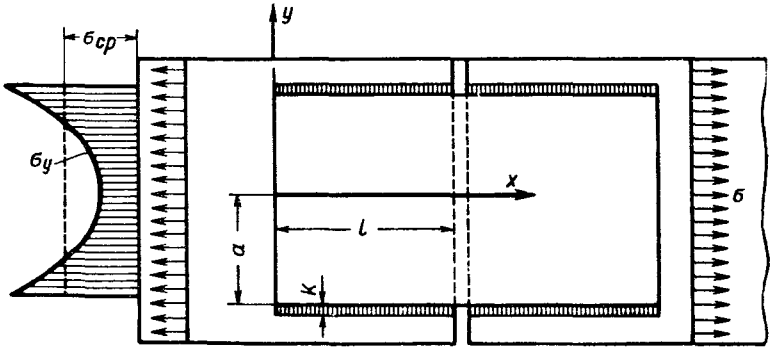


Рис. 34. Распределение напряжений σ между короткими фланговыми швами, прикрепляющими широкую полосу

распределение напряжений σ_y в нем происходит неравномерно. При этом силовые линии в растянутом листе сгущаются в зоне фланговых швов, а средняя часть напряжена меньше крайних. Теоретический коэффициент концентрации нормальных напряжений в листе между фланговыми швами определяется формулой

$$K_\sigma = 3{,}3 - \frac{\operatorname{cth} 2{,}3\dfrac{a}{l}}{\dfrac{l}{a}}. \tag{41}$$

В зависимости от $\frac{a}{l}$ K_σ имеет следующие значения:

$\frac{a}{l}$	0,1;	0,5;	1,0;	2,0
K_σ	1,45;	2,01;	3,37;	6,61

На рис. 35 приведены распределения напряжений в соединениях с накладками, работающих под действием продольных сил.

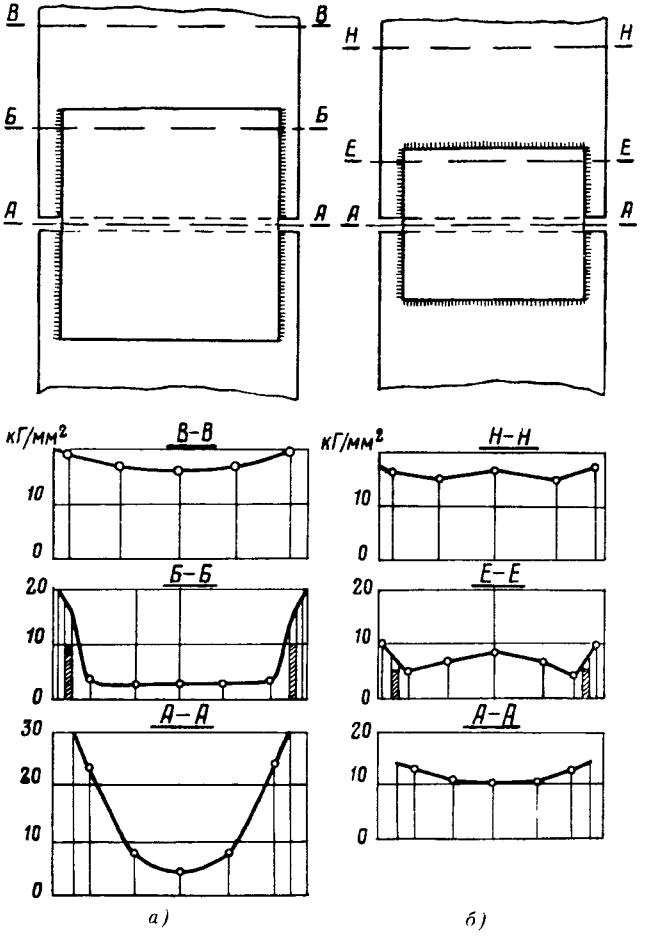


Рис. 35. Распределение напряжений в соединениях с накладками при наличии швов: *а* — фланговых; *б* — лобовых и фланговых

В точечных соединениях возникает концентрация напряжений, обусловливаемая рядом факторов. В результате сгущения силовых линий основной металл испытывает концентрацию напряжений в надточечной зоне (рис. 36, *а*). Она

растет с ростом отношения шага t (расстояние между точками в направлении, перпендикулярном действию силы) к диаметру точки d. При этом коэффициент концентрации K_σ можно определять по приближенной формуле

$$K_\sigma = 0{,}38 + 0{,}62\,\frac{t}{d}. \tag{42}$$

На рис. 36, *б* показана эпюра распределения σ в продольном сечении соединения.

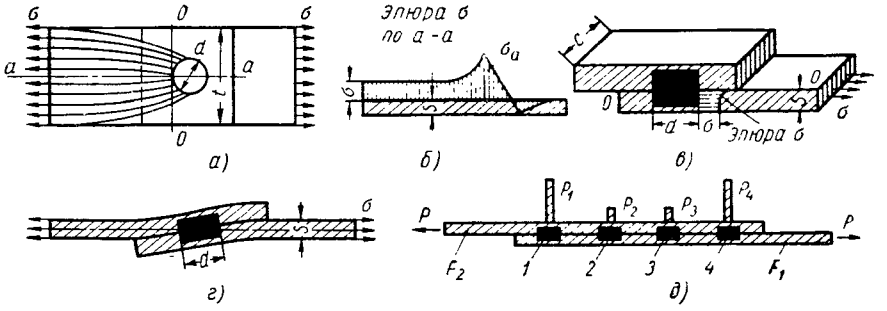


Рис. 36. Распределение напряжений в точечном соединении: *а* — общий вид; *б* — в продольном сечении *а — а*; *в* — по толщине возле точки; *г* — изгиб нахлесточного соединения; *д* — распределение усилий между точками в продольном сечении

Дополнительные напряжения возникают в результате неравномерного распределения σ по толщине и в результате изгиба (рис. 36, *в*, *г*). Напряжение от изгиба

$$\sigma_u = \frac{3\sigma}{1 - \dfrac{d}{s}\sqrt{\dfrac{3\sigma}{E}}}, \tag{43}$$

где σ — напряжение в основном металле от продольной силы.

При $\dfrac{\sigma}{E} = 0{,}001$

$$\sigma_u = \frac{3\sigma}{1 + 0{,}055\,\dfrac{d}{s}}; \tag{44}$$

при $\dfrac{d}{s} = 3$ $\quad \sigma_u = 2{,}65$.

При учете концентрации напряжений по ширине листа и от изгиба максимальное напряжение в элементах, соединяемых точкой,

$$\sigma_{max} = (\sigma + \sigma_u)\,K_\sigma. \tag{45}$$

Концентрация напряжений в точках возрастает при расположении значительного их количества в продольном ряду по направлению действия сил. Распределение усилий между точками становится неравномерным, перегружаются крайние, а средние несут меньшие нагрузки (рис. 36, *д*) при работе соединения в пределах упругих деформаций. Распределение усилий между точками в соединениях дано в табл. 15.

15. Относительные значения усилий $\frac{P_n}{P}$ в сварных точках в зависимости от их числа в продольном ряду (при $F_1 = F_2$)

№ точки	Число сварных точек в ряду			
	3	4 (рис. 36, *б*)	5	6
1	0,444*P*	0,436*P*	0,43*P*	0,43*P*
2	0,112*P*	0,064*P*	0,058*P*	0,057*P*
3	0,444*P*	0,064*P*	0,014*P*	0,008*P*
4	—	0,436*P*	0,058*P*	0,008*P*
5	—	—	0,43*P*	0,057*P*
6	—	—	—	0,43*P*

Примечание. Шаг в поперечном и продольном ряду $t_1 = t = 3\delta$.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ СТАТИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

Характеристиками механических свойств сварных швов и соединений при их работе под статической нагрузкой являются: предел прочности, $\sigma'_в$, предел текучести $\sigma'_{т_1}$, относительное удлинение при разрыве δ', коэффициент поперечного сужения ψ', угол загиба α'. Испытания проводятся согласно ГОСТу 6996—66 на круглых выточенных образцах длиной 18, 36 и 60 *мм*, диаметром 3,6 и 10 *мм*. В отдельных случаях заменяют нахождение $\sigma'_т$ условного предела текучести напряжением, вызывающим заданную относительную остаточную деформацию ε'.

Предел прочности сварного соединения определяют на плоских образцах, вырезаемых из сварных пластин, например, для толщины металла 10—25 *мм* ширина образцов составляет 25 *мм* (см. ГОСТ 6996—66).

Для низкоуглеродистых и низколегированных сталей современные способы ручной и автоматизированной сварки практически обеспечивают равнопрочность сварного соединения основному металлу при пластичности металла, не уступающей исходным показателям. Модуль упругости наплавленного металла шва E' незначительно отличается от модуля упругости основного металла E. В табл. 16 в качестве примера приведены механические свойства исходного металла и свойства металла швов, получаемые при сварке стыковых соединений.

16. Свойства металла швов в стыковых сварных соединениях

Металл или сварное соединение	$\sigma_т$	$\sigma_в$	δ_5	ψ
	в кГ/мм²		в %	
МСт. 3 в состоянии поставки, образцы 6 мм	29,3	45,1	35,7	65,9
Сварное соединение из стали МСт. 3 под керамическим флюсом, сварка в три слоя, $\delta = 18$ мм, образцы 6 мм вырезаны поперек шва	32,4	47,0	22,1	62,1
Сталь 15ХСНД в состоянии поставки (без термической обработки)	35	50	31	—
Металл шва, полученный при автоматической сварке в среде углекислого газа пластин из стали 15ХСНД, $\delta = 14$ мм	46,0	65,0	22,2	—

В табл. 17 согласно ГОСТу 9467—60 приведены механические свойства металла шва, получаемого при применении соответствующих типов электродов, а также механические свойства стыковых соединений, сваренных этими электродами.

17. Механические свойства наплавленного металла и стыковых сварных соединений

Тип электрода	Металл шва или наплавленный $d \geq 2{,}5$ мм			Сварное соединение $d \leq 2{,}5$ мм	
	$\sigma_в'$ в *кГ/мм²*	δ' в %	$a_д'$ в *кГ·см²*	$\sigma_в'$ в *кГ/мм²*	α' в *град*
	не менее				
Э34	34	–	–	34	30
Э42	42	18	8,0	42	120
Э42А	42	22	14,0	42	180
Э46	46	18	8,0	46	120
Э46А	46	22	14,0	46	150
Э50	50	16	6,0	50	90
Э50А	50	20	13,0	50	150
Э55	55	20	12,0	55	140
Э60	60	16	6,0	–	–
Э60А	60	18	10,0	–	–
Э70	70	12	6,0	–	–
Э85 *	85	12	5,0	–	–
Э100 *	100	10	5,0	–	–
Э125 *	125	6	4,0	–	–
Э145 *	145	5	4,0	–	–

* Механические свойства указаны после термической обработки.

Высокие механические свойства могут быть получены при сварке сталей с пределом прочности более 100—120 *кГ/мм²*. Однако при этом, как правило, необходима последующая термическая обработка.

Сварные соединения алюминиевых сплавов, выполненные дугой, как правило, имеют механические свойства, отличные от свойств *основного* металла. В мягких сплавах, а также в сплавах, находящихся в ненагартованном состоянии, предел прочности шва приближается к пределу прочности основного металла.

В алюминиевых сплавах, которые в исходном состоянии нагартованы, термически упрочнены или состарены, в зоне термического влияния имеет место значительное снижение твердости, предела прочности (0,7—0,9 основного сплава) и предела текучести. Лишь в самом шве указанные показатели несколько повышаются. Сварные соединения полунагартованных сплавов занимают промежуточное положение.

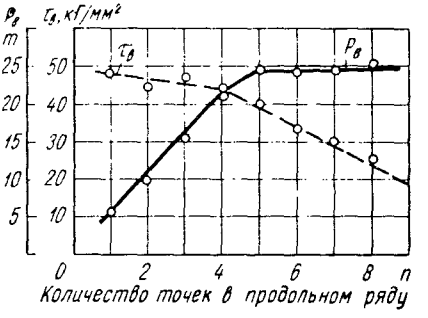


Рис. 37. Графики изменения предельной нагрузки $P_в$ и пределы прочности $\tau_в$ двусрезных электрозаклепочных соединений в зависимости от количества электрозаклепок в продольном ряду

При сварке аустенитных сталей, многих жаропрочных сплавов и титана механические свойства сварных соединений не уступают свойствам основного металла.

Фланговые швы при нагружении деформируются по длине неравномерно. Концентрация сдвиговых деформаций у концов шва вызывает срез участка шва еще до появления полного разрушения. При пониженных температурах, когда проявляется хрупкость металла, это приводит к распространению разрушения по основному металлу. Неравномерность распределения усилий по длине шва особенно заметна в многоточечных сварных соединениях. При числе точек в продольном ряду более пяти предельная нагрузка не возрастает, так как разрушение точек идет последовательно, начиная с крайних (рис. 37).

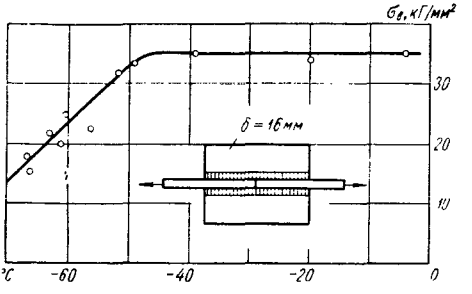


Рис. 38. Изменение предела прочности сварных крестовых образцов в зависимости от температуры

Многочисленными экспериментами установлено, что остаточные одноосные и двухосные пластические деформации и напряжения, если они образуются в соединениях из пластичных металлов без резких концентраторов, не оказывают существенного влияния на статическую прочность.

При отрицательных температурах прочность сварных соединений, имеющих острые концентраторы в зоне термического влияния, может существенно снижаться (рис. 38).

Основным путем повышения статической прочности сварных соединений является улучшение технологического процесса сварки, которое может осуществляться по нескольким направлениям:

а) повышением качества защиты нагретого и расплавленного металла от влияния окружающей среды;

б) получением требуемого состава металла шва;

в) регулированием теплового воздействия процесса сварки на металл;

г) ликвидацией дефектов сварки и получением рациональных геометрических форм сварных соединений.

ПРОЧНОСТЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ПЕРЕМЕННЫХ НАГРУЗКАХ

Прочность сварных соединений при переменных нагрузках зависит главным образом от количества нагружений, амплитуды изменения напряжений, формы и размеров испытуемых образцов, их материала, состояния поверхности, видов усилий (изгиб, кручение), свойств среды, в которой производится испытание (воздух, вода и т. п.). Как правило, предел выносливости определяют испытанием отдельных образцов при числе нагружений от 2 до 10 миллионов циклов для стальных деталей и при большем количестве циклов для деталей из цветных сплавов (рис. 39).

Коэффициентом амплитуды или характеристикой цикла называется отношение $R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$, где σ_{max} и σ_{min} соответственно наибольшее и наименьшее по абсолютной величине напряжения, взятые со своим знаком (рис. 40).

Установлено, что при значениях R, близких к 1, концентрация напряжений не оказывает существенного влияния на величину предела выносливости металла. При статическом нагружении ($R = 1$) предел прочности, при наличии концентраторов, нередко даже повышается, по сравнению с гладкими образцами.

С уменьшением R влияние концентрации напряжения на величину предела выносливости растет и достигает наибольшего значения при $R = -1$.

Предел выносливости зависит от абсолютных размеров испытуемых образцов. С увеличением размера образцов относительно стандарта предел выносливости понижается.

Пределы выносливости при испытании стандартных образцов из малоуглеродистых сталей на изгиб в условиях симметричного цикла $\sigma_{-1} = 0{,}50—0{,}55\ \sigma_в$,

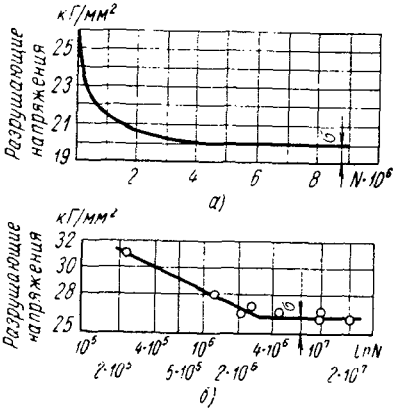


Рис. 39. Диаграмма прочности сталей с содержанием 0,1% С: *а* — в декартовых координатах; *б* — в полулогарифмических координатах

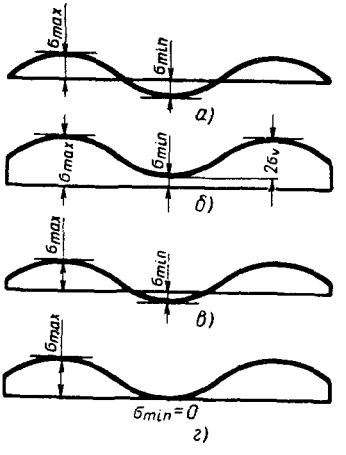


Рис. 40. Схема переменных нагружений с различными характеристиками циклов: *а* — симметричного $\sigma_{max} = \sigma_{min}$; *б* — знакопостоянного; *в* — знакопеременного; *г* — пульсирующего

т. е. около 18—20 *кГ/см*², что составляет 0,75—0,80 $\sigma_т$. Для низколегированных конструкционных сталей отношение $\frac{\sigma_{-1}}{\sigma_т}$ несколько меньше, чем для малоуглеродистых.

Прочность деталей конструкций при переменных нагрузках зависит в значительной степени от наличия концентрации напряжений. Эффективным коэффициентом концентрации напряжений $K_э$ называется отношение предела выносливости гладкого образца (обычно при $R = -1$) к пределу выносливости образца при наличии концентраторов. $K_э$ всегда больше 1. Чем $K_э$ ближе к единице, тем лучше работает соединение. В хрупких материалах эффективный коэффициент концентрации $K_э$ близок к теоретическому, в пластичных он значительно меньше.

Пределы выносливости сталей, как правило, уменьшаются при повышении температуры испытаний и увеличиваются с понижением ее. Образец из стали Ст.3 имеет $\sigma_{-1} = 14{,}5$ *кГ/мм*² при комнатной температуре и $\sigma_{-1} = 19{,}5$ *кГ/мм*² при $T = -75°$ С. В агрессивных средах предел выносливости значительно уменьшается.

Предел выносливости основного металла в зоне сварных соединений часто понижается, что объясняется изменением структуры. После термической обработки соединения структура нередко восстанавливается, металл соединения становится однородным.

В зоне сварных швов возникает концентрация напряжений вследствие резких переходов от наплавленного металла к основному, в результате подрезов и т. п. Обработка швов фрезой создает плавный переход от наплавленного металла

к основному, при этом σ_R повышается. Чувствительность к концентраторам в образцах из низколегированных сталей выше, чем малоуглеродистых.

В сварных соединениях σ'_R зависит от материала, формы конструкции, технологического процесса сварки, среды, а также от рода усилия и R.

Дефекты технологического процесса сварки — шлаковые включения, поры в наплавленном металле, непровары и т. п. — являются концентраторами напряжений. Эти зоны представляют собой очаги разрушений при переменных нагрузках.

При сварке малоуглеродистых и некоторых низколегированных конструкционных сталей отношение $\frac{\sigma'_R}{\sigma_R} = 0{,}9 - 1$, где σ_R — предел выносливости образца из основного металла, σ'_R — предел выносливости сварного соединения встык при цикле R. В ряде случаев усталостное разрушение происходит по основному металлу далеко от шва, что свидетельствует о более высоком пределе выносливости сварного соединения по сравнению с исходным металлом. Величины предела выносливости при автоматической сварке более постоянны, чем при ручной. Это объясняется однородностью качества сварных швов. Высокий предел выносливости имеют также соединения, сваренные контактным стыковым методом с оплавлением, при сварке трением, электронным лучом и т. д., при которых σ'_R приближается к σ_R.

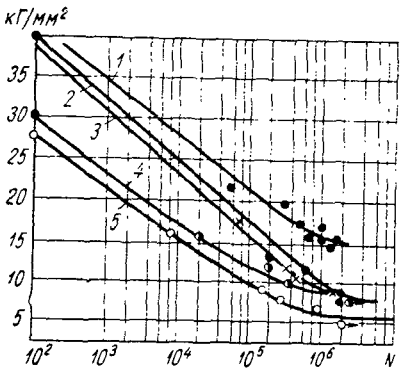


Рис. 41. Диаграмма выносливости сварных швов с непроварами: *1* — 0% непровар; *2* — 5—10%; *3* — 12—17%; *4* — 23—25% и *5* — 45—50%

При технологических дефектах в шве прочность сварных соединений при переменных нагрузках резко падает (рис. 41). Влияние непровара на уменьшение усталостной прочности соединений зависит от рода материалов. Чувствительны к непровару сварные соединения из высокопрочных сталей, аустенитных сталей типа 1Х18Н9Т и титановых сплавов. Выпуклые стыковые швы имеют предел выносливости, более низкий, чем гладкие. Как правило, весьма хорошие результаты получают при сострагивании утолщений стыковых швов.

Возможно получение соединений с высокой прочностью при переменных нагрузках при сварке не только прокатных элементов с прокатными, но и литых с литыми или прокатных с литыми.

Экспериментально доказано, что предел выносливости соединения втавр, сваренного с подготовкой кромок, выше, чем без подготовки. При сварке тавровых соединений на автоматах под флюсом глубина проплавления повышается по сравнению с ручным процессом, предел выносливости увеличивается (рис. 42).

Прочность соединений внахлестку и с накладками, работающих при переменных нагрузках, низка вследствие концентрации напряжений в основном металле вблизи угловых швов, между швами, в поперечных сечениях самих швов, по длине швов, а также неравномерного распределения усилий.

В стальных конструкциях соединения с лобовыми швами без механической обработки при $R = 0$ имеют предел выносливости 8 -11 $кГ/мм^2$, а при ее наличии — 11--12 $кГ/мм^2$, с фланговыми швами обычного типа имеют 7,5 $кГ/мм^2$ и меньше, а с выточками в накладках у начала фланговых швов он повышается на 15—20%.

На рис. 43 приведены кривые, характеризующие величины предела выносливости разных типов сварных соединений из сталей, близких к стали Ст.3. В сварных соединениях прочных сталей кривые *1—4* падают очень резко.

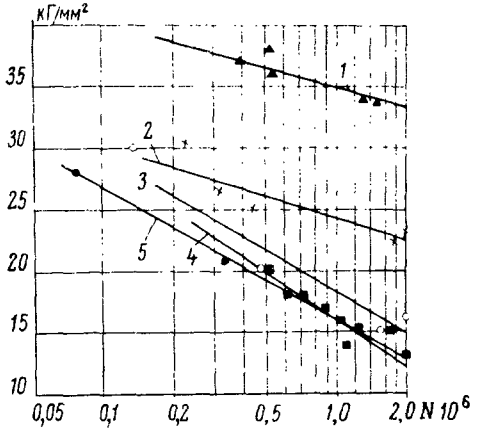


Рис. 42. Предел выносливости сварных соединений втавр в зависимости от разделки кромок: *1* — основной металл; *2* — с разделкой кромок и при сварке автоматом; *3* — то же, вручную; *4* — без разделки и сварке вручную; *5* — то же, автоматом

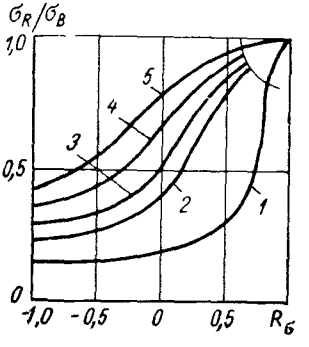


Рис. 43. Величины σ_R в функции R: *1*, *2* — образцы с острыми концентраторами; *3*, *4* — менее острыми; *5* — основной метала

В табл. 18 даны пределы выносливости сварных соединений некоторых низколегированных сталей при знакопеременных и пульсирующих нагружениях.

18. Пределы выносливости сварных соединений низколегированных сталей

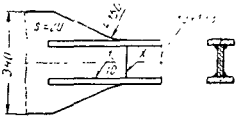
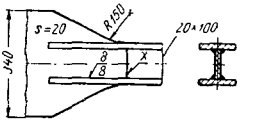
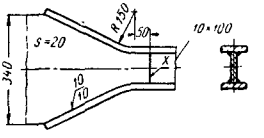
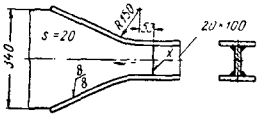
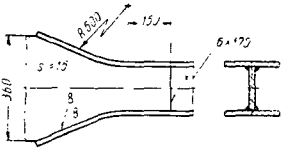
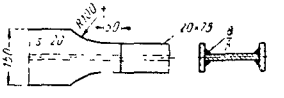
Сталь	σ_{-1}	σ'_0	Сталь	σ_{-1}	σ'_0
	в кГ/мм²			в кГ/мм²	
14Г2 $s = 20$ мм	9,7	—	10Г2С1 термически обработанная	6,8	—
15ГС $s = 20$ мм	10,8	—	10Г2С1Д термически обработанная	6,8	11,0
$s = 30$ мм	8,0	—	10ХСНД термически обработанная	8,0	16,0
14ХГС $s = 20$ мм	9,1	—	15ХСНД горячекатаная	7,0	9,8
19Г $s = 20$ мм	8,9	—	15ХГ2СМФ	7,2	—
10Г2С1Д	7,0	15,0	М16С	7,0	12,8
09Г2С	7,8	15,0			

В табл. 19—23 приведены значения эффективных коэффициентов концентрации напряжений для различных сварных соединений.

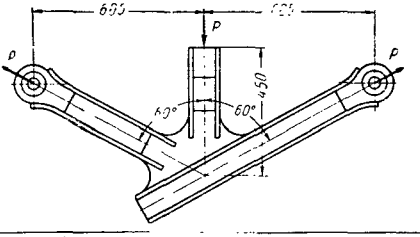
В табл. 24 приведены значения предела выносливости сварных соединений из алюминиевых сплавов. На рис. 44 дано сопоставление пределов выносливости σ_{-1} образцов из различных металлов. Вертикальная штриховка — пределы прочности образцов из основного металла, не заштрихованы — σ_{-1} образцов из основного металла; косая штриховка — σ'_{-1} образцов, сваренных встык.

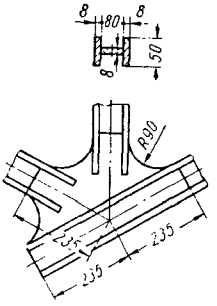
При сварке легированных термически обработанных сталей наименьшую прочность при переменных нагрузках в сварном соединении имеет, как правило, основной металл в зоне отпуска. Аналогичное понижение предела выносливости

19. Значения эффективных коэффициентов концентрации напряжений для узловых переходов (сталь марки М16С)

Переход	Эскиз	$K_э$
Узловой с крестовыми соединениями:		
при полках сечением 20×90 мм		1,0
при полках сечением 10×130 мм		1,26
в сечении на фасонке		1,82
Узловой с отбортовкой при полках сечением:		
20×90 мм		1,0
10×130 мм		1,26
10×270 мм		1,49
при удалении стыка стенки		1,06
Узловой переход на двустенчатую фасонку:		
при $R = 100$ мм		1,0
при $R = 30$ мм		1,47
Узловой переход на заклепках		2,72

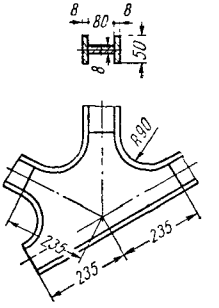
20. Значения эффективных коэффициентов концентрации напряжений для узлов сварных ферм (сталь марки М16С)



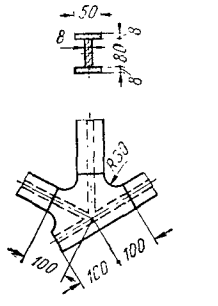


Узел сварной фермы. Крепление стержней по типу крестового соединения (без обработки концов) $K_э = 2{,}12$

То же с обработкой концов $K_э = 1{,}64$



Узел сварной фермы. Крепление стержней с отгибом полок $K_э = 1{,}63$



Узел сварной фермы с двустенчатой фасонкой. Радиус галтелей $R = 30$ *мм* $K_э = 1{,}48$

Образец из основного металла. Радиус галтелей $R = 30$ *мм* $K_э = 1{,}30$

наблюдается в сварных соединениях термически обработанных цветных сплавов (алюминиевых, магниевых и др.). Термическая обработка зоны сварки повышает прочность сварных соединений и легированных сталей при переменных нагрузках.

Для повышения прочности сварных соединений из малоуглеродистых сталей их подвергают поверхностной механической обработке: прокатке роликами, обдувке дробью, обработке пневматическим молотком и др. (см. гл. V). Чем выше коэффициент концентрации в сварном соединении, тем, как правило, эффективнее применение поверхностной обработки швов.

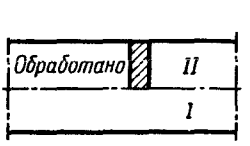
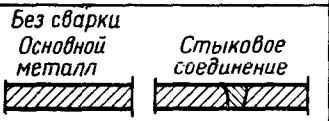
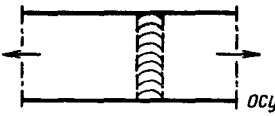
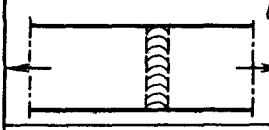
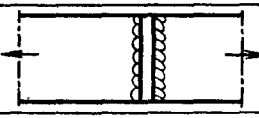
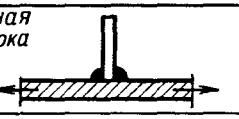
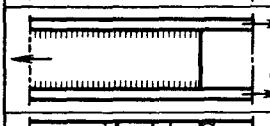
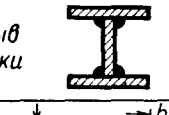
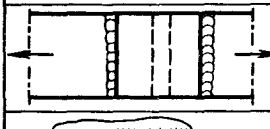
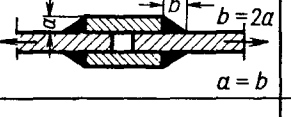
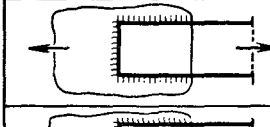
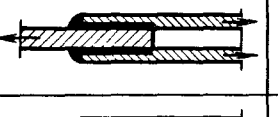
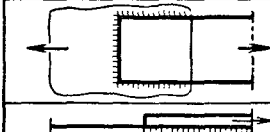
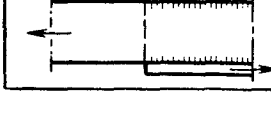
В результате местного нагрева (рис. 45, *г*) в зоне сварных соединений, где растягивающие напряжения имеют значительные величины, образуются напряжения сжатия при правильном расположении мест разогревов. При этом повышается предел выносливости с 8 до 20 *кГ/мм*^{2}.

На рис. 45, *в* показан способ повышения усталостной прочности путем образования деконцентраторов, а на рис. 45, *б* — путем образования плавного сопряжения элементов. Цифры на рис. 45, *а*, *б*, указывают предел выносливости.

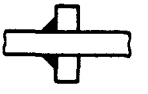
На рис. 46 приведены рациональные формы стыковых и угловых швов в соединениях внахлестку и втавр.

Отпуск сварных конструкций при 550—600° С, устраняющий остаточные напряжения, вызванные сваркой, часто не повышает усталостной прочности. В некоторых случаях в конструкциях из малоуглеродистых сталей в результате снижения предела текучести предел выносливости соединения снижается после отпуска.

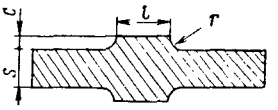
21. Эффективные коэффициенты концентрации напряжений сварных соединений элементов конструкций

Схемы видов сварных соединений		$K_э$	
Вид в плане	Разрезы	Ст.3	НЛ2
		1,0	1,0
		1,2	1,33
		1,4	1,8
		1,6	2,2
		2,0	2,8
		2,3 3,0	3,2 4,0
		2,5	3,5
		3,4	4,4
		4,0	4,9

22. Эффективные коэффициенты концентрации напряжений для сварных соединений встык и втавр

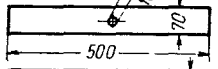
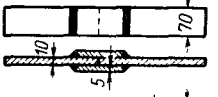
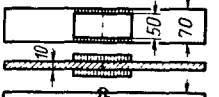
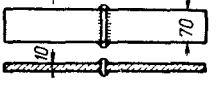
Наименование соединения	Эскиз	$K_э$
Стыковой шов с плавными переходами		1,0
Стыковой шов с резкими переходами		1,6
Стыковой шов с исправлением поверхности переходов местной обработкой		1,0
Соединение впритык без разделки кромок		2,2
Соединение впритык в сечении по швам		2,8
Соединение впритык с разделкой кромок		1,6
Соединение впритык с разделкой кромок и с обеспечением плавных переходов		1,0
Образец с парными ребрами жесткости, прикрепленными двусторонними швами		1,5
Образец с парными ребрами жесткости, прикрепленными двусторонними швами с местной обработкой переходов у швов		1,0
Образец с парными ребрами жесткости, прикрепленными односторонними швами		2,0
Образец с одиночным ребром жесткости, прикрепленным двусторонними швами		1,3
Образец с одиночным ребром жесткости, прикрепленным односторонним швом		1,9

23. Эффективные коэффициенты концентрации в соединениях встык



Сварка	Размеры в мм				Коэффициенты $K_э$	
	r	c	l	s	при изгибе	при растяжении
Ручная	0,25	3,2	13	11	1,38	1,38
	1,80	3,2	13	11	1,17	1,22
	1,3	2,5	15	11	1,25	1,27
	2,3	2,5	15	11	1,17	1,20
Автоматическая	0,4	2,0	24	25	1,35	1,35
	1,2	2,0	24	25	1,20	1,20
	0,35	3,0	21	24	1,40	1,38
	1,10	3,0	21	24	1,20	1,38

24. Пределы выносливости соединений алюминиевого сплава АМг-6

Виды образца	Пределы выносливости при базе циклов нагружений		$K_э$	$\sigma_в$ в кГ/мм²
	10^6	$5\cdot10^6$		
	11,2	9,5	1,00	37,1
	6,7	6,0	1,60	37,1
	8,9–9,4	6,0–8,0	1,15–1,60	35,1–35,5
	7,7–9,6	5,0–7,5	1,25–1,80	31,9–32,4
	3,7	2,4	–	22,8
	5,5	4,1	–	23,4
	6,0	4,5	–	19,2
	7,0	4,6	2,0	30,3
	5,3	3,5	–	22,8

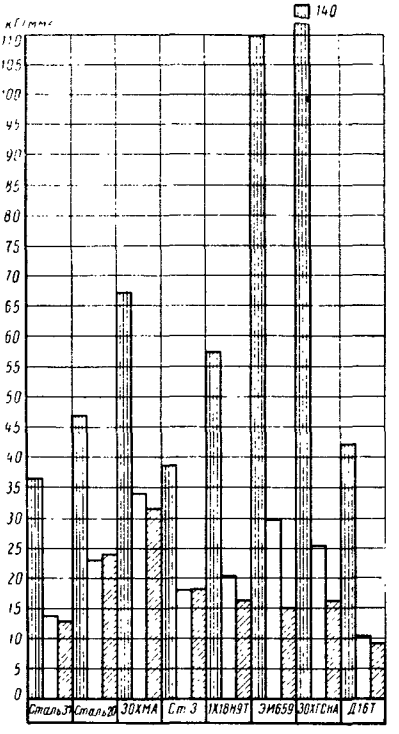


Рис. 44. Пределы прочности и выносливости различных металлов при симметричных нагружениях

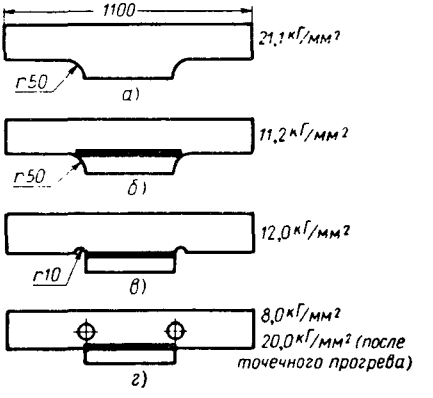


Рис. 45. Способы повышения усталостной прочности элементов конструкций

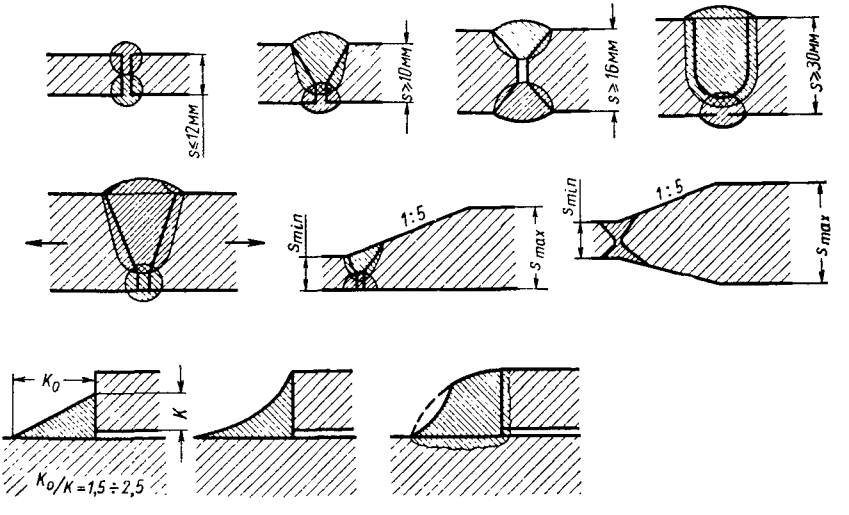


Рис. 46. Рациональные формы стыковых и угловых швов.

Если в зоне наибольших растягивающих напряжений от внешних нагрузок созданы остаточные сжимающие напряжения от сварки, то последние повышают предел выносливости. Остаточные напряжения, вызванные сваркой, могут быть не только вредными, но и полезными.

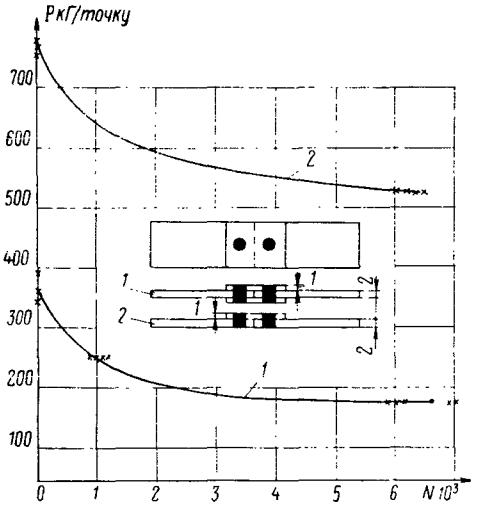


Рис. 47. Несущая способность односрезных и двусрезных точечных соединений из сплава Д16Т при низкочастотных пульсирующих нагрузках

Соединения, выполняемые контактной стыковой сваркой, обладают высоким пределом выносливости σ'_R; при сварке малоуглеродистых и низколегированных сталей $\sigma'_R \approx \sigma_R$ образца из основного металла. На усталостную прочность оказывает большое влияние качество провара, а также состояние поверхности. При грубой обработке σ_R понижается, при гладкой — повышается. Стыковые соединения при контактной стыковой сварке, сварке трением, а также электронным лучом не имеют концентраторов напряжений значительной величины.

Усталостная прочность точечных соединений уступает стыковым. При расчете точечных соединений условно учитывают напряжения среза, однако под переменными нагрузками их разрушения наступают в результате разрыва металла в надточечной или околоточечной зонах в результате концентрации в них напряжений. Пределы выносливости элементов со связующими точками намного выше, чем для образцов с рабочими точками. Несущая способность двусрезных точек почти втрое выше односрезных (рис. 47).

25. Прочность соединений титанового сплава ВТ1Д и Д16Т при усталостных нагрузках

Тип образца	Предел прочности $\sigma_в$ в кГ/мм²	Предел выносливости	
		$R = 0.1$ $N = 2000$	$R = 0$ $N = 10^7$
Основной металл	60	55	28
Стыковой шов аргоно-дуговой сварки	60	48	20
Соединение роликовым швом	60	30	5
Соединение двумя точками внахлестку, расположенными перпендикулярно силам	48	11	2.1
Основной элемент, приварена накладка двумя связующими точками	58	—	8.0* / 9.0
Соединение с плоской накладкой, с каждой стороны по одной точке	35.5	17	1.5
Точечная сварка двух листов связующими точками	58.0	—	12.0 / 8.0*

* В числителе для соединений из титанового сплава ВТ1Д, в знаменателе — из алюминиевого сплава Д16Т.

Менее чувствительны к концентраторам напряжений точечные соединения из малоуглеродистых сталей, более чувствительны — из аустенитных сплавов, из стали 30ХГСА в закаленном состоянии и некоторых цветных сплавов.

На рис. 48 и в табл. 25 даны пределы выносливости точечных соединений. При накладках с повышенной жесткостью (рис. 48, *в*) усталостная прочность соединений повышается. В соединениях с двусрезными точками усталостная

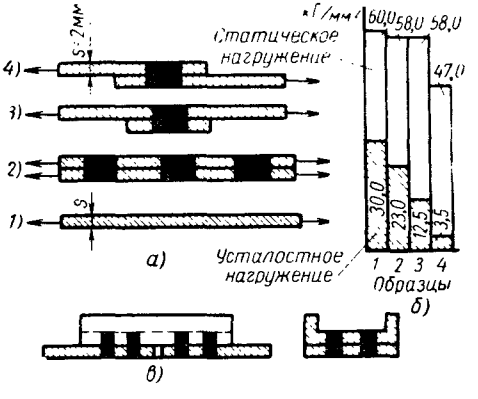


Рис. 48. Пределы выносливости точечных соединений из титанового сплава: *а* — образцы; *б* — механические характеристики; *в* — рациональный тип соединения

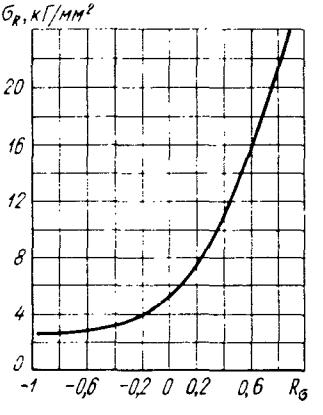


Рис. 49. Пределы выносливости в функции R_σ

прочность часто более чем в 2 раза выше, чем с односрезными. Внутренние трещины в точке не оказывают большого влияния на предел выносливости, наружные — снижают его в очень значительной степени.

В точечных соединениях при знакопеременных нагружениях σ_R снижается в несколько раз по сравнению с пульсирующими (рис. 49). Технологическими мероприятиями (обжатием в машине при остывании) предел выносливости точечных соединений может быть повышен в 1,5—2 раза и более.

Усталостная прочность соединений, выполненных роликовой сваркой, ниже, чем стыковой, но выше точечной.

В табл. 26 и 27 приведены эффективные коэффициенты концентрации для точечных и роликовых соединений.

26. Эффективные коэффициенты концентрации для точечных соединений

Материал	Состояние материала	Толщина в мм	$K_э$ для соединений	
			связующих	рабочих
Сталь 10	Нормализованный	3 + 3	1,4	7,5
Сталь 1Х18Н9Т	Нагартованный	1,5 + 1,5	2,0	12,0
Титановый сплав ВТ1 .	Состояние поставки	1,5 + 1,5	2,0	10,0
Алюминиевый сплав Д16Т	То же	1,5 + 1,5	2,0	5,0
Сталь 30ХГСА	$\sigma_в = 65$ кГ/мм²	1,5 + 1,5	2,0	12,0

27. Эффективные коэффициенты концентрации для роликовых соединений

Материал	Состояние материала	Толщина в мм	$K_э$ для соединений	
			связующих	рабочих
Сталь 10	Нормализованный	3 ÷ 3	1,25	5,0
Сталь 1Х18Н9Т	Нагартованный	1,5 ÷ 1,5	2,0	7,5
Титановый сплав ВТ1 .	Состояние поставки	1,5 ÷ 1,5	1,3	5,0
Алюминиевый сплав Д16Т	То же	1,5 ÷ 1,5	1,3	2,25

ДОПУСКАЕМЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В СТАЛЬНЫХ И АЛЮМИНИЕВЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

В машиностроительных конструкциях допускаемые напряжения в основном металле назначаются в зависимости от предела текучести σ_T или в зависимости от величины предела выносливости σ_R при характеристике цикла R, соответствующей эксплуатационным нагружениям, с учетом конструктивных, технологических, эксплуатационных и экономических факторов.

Допускаемые напряжения в сварных швах, свариваемых электрической дугой, принимают в зависимости от допускаемых напряжений на основной металл (табл. 28).

28. Допускаемые напряжения сварных соединений машиностроительных конструкций

Вид швов	Характеристика напряженного состояния	Сварка автоматическая, полуавтоматическая, ручная, электродами марок Э42А, Э50А	Сварка ручная электродами марок Э42, Э50
Стыковые	Сжатие	$[\sigma]_p$	$[\sigma]_p$
	Растяжение	$[\sigma]_p$	$0{,}9\ [\sigma]_p$
	Срез	$0{,}65\ [\sigma]_p$	$0{,}6\ [\sigma]_p$
Угловые	Срез	$0{,}65\ [\sigma]_p$	$0{,}6\ [\sigma]_p$

$[\sigma]_p$ — допускаемое напряжение на основной металл при растяжении.

При расчете сварных швов, выполненных контактной стыковой сваркой, допускаемые напряжения принимают аналогичными допускаемым напряжениям в швах, сваренных электрической дугой.

Для точечных швов и роликовых швов на изделиях из малоуглеродистых и низколегированных сталей, а также некоторых алюминиевых сплавов допускаемые напряжения в сварных точках могут быть приняты равными $0{,}3 \div 0{,}5\ [\sigma]_p$ при срезе и $0.25 \div 0.3\ [\sigma]_p$ при отрыве.

В конструкциях из высокопрочных и некоторых легированных сталей, а также при их работе в агрессивных средах и высокой температуре допускаемые напряжения на основной металл и сварные швы назначают в соответствии с нормативами, определяемыми специфическими условиями.

Прочность строительных конструкций определяют по предельному состоянию. При расчете по первому предельному состоянию гарантируется сохранение несущей способности (прочности, устойчивости, выносливости, отсутствие существенных пластических деформаций) изделий.

29. Коэффициенты условий работы m строительных конструкций

Элементы конструкций	m
Сплошные балки и сжатые элементы ферм перекрытий	0,9
Сжатые основные элементы решетки стропильных ферм и аналогичных им при гибкости ≥ 60	0,8
Другие элементы, прикрепляемые односторонне	0,75
Колонны зданий и кровли	0,90
Корпусы и днища резервуаров	0,80

Расчет по первому предельному состоянию производится с применением коэффициентов:

n — перегрузки к нормативным нагрузкам или усилиям; часто принимают $n = 1{,}1 \div 1{,}3$;

m — условий работы (табл. 29);

K — неоднородности нормативных сопротивлений, принимаемых равными пределу текучести.

Коэффициент K часто принимают равным 0,9.

Расчетное сопротивление $R_p = 0{,}9\ \sigma_т$ (см. табл. 30 и 31).

30. Расчетные сопротивления основного металла строительных конструкций

Вид напряженного состояния	Углеродистая сталь [1]		Низколегированная сталь [2]			
	Ст. 3, Ст. 4	Ст. 5	14Г2 и 15ГС		10Г2С 10Г2СД 15ХСНД	10ХСНД
			$\delta < 20$ мм	$\delta > 20$ мм		
Растяжение Сжатие Изгиб	2100	2300	2900	2800	2900	3400
Срез	1300	1400	1700	1700	1700	2000

[1] Для угловой, двутавровой и швеллерной стали при толщине вертикальных стенок ≤ 20 мм.

[2] При толщинах 32—40 мм цифры, указанные в таблице, снижают для стали 15ГС на 10%, 10ХСНД — на 8%. При больших толщинах расчетные сопротивления принимаются $0{,}85\sigma_т$.

Допускаемое напряжение при статическом растяжении, изгибе, сжатии (для коротких элементов)

$$[\sigma]_p = R_p \frac{m}{n}, \tag{46}$$

При проектировании конструкций из алюминиевых сплавов целесообразно использовать нормативные данные строительного проектирования. Расчет прочности производят по расчетным сопротивлениям R_p (табл. 32 и 33).

31. Расчетные сопротивления сварных соединений строительных конструкций R'_p

Вид сварных швов	Вид напряженного состояния	Сварка автоматическая, полуавтоматическая, а также ручная электродами				
		Э42 и Э42А	Э50А			Э55
		Марки стали свариваемой конструкции				
		Ст. 3* Ст. 4	14Г2 и 15ГС		10Г2С 10ГСД 15ХСНД	10ХСНД
			$\delta \leq 20$ мм	$\delta > 20$ мм		
Встык	Сжатие	2100	2900	2800	2900	3400
	Растяжение:					
	при автоматической сварке	2100	2900	2800	2900	3400
	при полуавтоматической и ручной сварке с применением для контроля качества швов:					
	повышенных способов**	2100	2900	2800	2900	3400
	обычных способов	1800	2500	2400	2500	2900
	Срез	1300	1700	1700	1700	2000
Угловые	Сжатие, растяжение, срез	1500	2000	2000	2000	2400

* Для стали Ст. 5 значение R увеличивать на 10%.
** Просвечивание рентгеном, контроль ультразвуком и т. д.

32. Расчетные сопротивления R_p в $кГ/мм^2$ для деформируемых алюминиевых сплавов, упрочняемых термической обработкой

Сплав	Трубы	Поковки	Листы толщиной в мм		Плиты толщиной в мм			Профили толщиной в мм	
			0,5—0,4	5—10	10,1—25	26—40	10	10,1—20	20,1—40
АД31-Т	7	7	7	7	7	7	7	7	7
АД31-Т1	12	12	12	12	12	12	12	12	12
АД33-Т	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
АД33-Т1	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
АД35-Т	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
АД35-Т1	19,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	19,0	19,0	19,0
АВ-Т	11,5	10,0	11,0	10,0	10,0	9,0	10,0	10,0	10,0
АВ-Т1	17,5	16,0	17,0	17,0	17,0	16,0	17,0	17,0	17,0
В92-Т	24,0	—	19,0	19,0	19,0	19,0	24,0	25,0	26,0
Д1-Т	18,5	16,0	16,0*	16,0*	19,0	18,0*	18,5	19,5	21,0
Д16-Т	23,0	—	24,0*	24,0*	24,0*	24,0	25,0	26,0	27,0
В95-Т1	30,0	30,0	29,0	30,0*	29,0	29,0*	30,0	32,0	34,0
АВ-М (без термической обработки)	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0

* Листы и плиты плакированные.

33. Расчетные сопротивления R_p в $кГ/мм^2$ деформируемых алюминиевых сплавов, не упрочняемых термической обработкой

Сплав	Листы толщиной в мм		Плиты	Трубы	Поковки
	0.5–4	5–10			
АД1-М	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
АМц-М	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
АМц-Н	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
АМг-М	7,0	7,0	7,0	7,0	6,0
АМг3-М	8,0	8,0	7,0	7,0	6,0
АМг-Н	14,0	14,0	12,0	12,0	11,0
АМг3-Н	14,0	14,0	12,0	12,0	11,0
АМг5-М	13,0	11,0	10,0	13,0	10,0
АМг6-М	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0
АМг61-М	16,0	16,0	16,0 18,0 *	18,0	16,0

* Профили.

При срезе $R_{ср} = 0{,}6\ R_p$.

При смятии торцовой поверхности $R_{см} = 1{,}5\ R_p$.

Расчетные сопротивления изменяются в зависимости от температуры эксплуатации $R_т = R_p K_0$.

Значение коэффициентов K_0 при разных температурах эксплуатации даны в табл. 34.

34. Значения K_0 в зависимости от марки сплава и температуры

Сплав	Значения K_0 при температуре металла в конструкциях в °С			Примечания
	–70	от –40 до –50	–100	
АД1, АМц	1,0	1,0	0,8	1. Значение K_0 не зависит от состояния сплава (отожженный, полунагартованный или нагартованный). 2. При отсутствии совпадения действия максимальных расчетных нагрузок и температуры коэффициенты K_0 могут быть приняты равными 1.
АМг, АМг3В, АМг6, АМг61	1,05	1,0	0,85	
АД31, АД33, АД35, АВ	1,10	1,0	0,85	
В92 и В95	1,05	1,0	0,9	
Д1 и Д16	1,05	1,0	0,95	

При $T \geqslant 100°$ С следует применять теплопрочные сплавы: Д20, Д21, М40 и др.

Расчетные сопротивления сварных швов конструкций из алюминиевых сплавов приведены в табл. 35.

35. Расчетные сопротивления R'_p металла сварных соединений и швов, выполненных аргоно-дуговой сваркой

Марка		R'_p в кГ/мм² при сварном шве		
		встык [1]		угловом
свариваемого сплава	присадки	Сжатие, растяжение, изгиб	Срез	
АД1	АД1	2,5	1,5	2,0
АМц	АМц	4,0	2,5	3,0
АМг	АМг3	7,0	4,5	5,0
АМг3	АМг5			
АМг5	АМг5; АМг6	11,0	6,5	6,0
АМг6	АМг5; АМг7	14,0	8,5	7,0
АМг61	АМг7; АМг61	16,0	10,0	8,0
АД31-Т	Проволока Св-АК5; Св-АК3; Св-АК10; Св-АК12	7 7	4,0	4,0
АД31-Т1		8 8	5,0	4,5
АД33-Т; АД35-Т; АВ-Т		10 10	6,0	5
АД33-Т1; АД35-Т1; АВТ1 при толщине в мм:	Св-АК5; Св-АК10; Св-АК12			
3		— 11	6,5	5,5
4—10		11 9	6,0	5,5
В92-Т при толщине в мм:				
4	Св-В92	— 17	10	9
	Св-АК5	— 16	9	7
5—12	Св-В92	17 15	10	9
	Св-АК5	15 15	9	7

[1] В числителе при сварке плавящимся электродом, в знаменателе — вольфрамовым.

Единого подхода к установлению допускаемых напряжений при расчете сварных конструкций, работающих под переменными нагрузками, не существует. Имеются различные нормативные данные ведомств и предложения отдельных организаций, принципиально не отличающиеся между собой. Общим для них является то, что при работе конструкций под переменными нагрузками расчет соединений производится в основном с позиций оценки прочности или долговечности основного металла в зоне сварного соединения. Оценка прочности самих сварных швов производится, как правило, лишь после установления достаточной прочности основного металла изделия в зоне сварного соединения.

Один из методов расчета сварных соединений [4] состоит в том, что допускаемые напряжения в сварных соединениях, работающих под переменными нагрузками, определяют в зависимости от их предела выносливости при соответствующей характеристике цикла, найденного экспериментально, и коэффициента

запаса прочности n, принимаемом 1.25—1.40. При этом допускаемые напряжения в соединении

$$[\sigma']_{Rк} = \frac{\sigma'_{Rк}}{n}, \tag{47}$$

$\sigma_{Rк}$ — предел выносливости сварного соединения рассматриваемого вида при характеристиках цикла R;

n — коэффициент запаса прочности.

В нормативных материалах различных ведомств [9, 11, 12] предлагается использовать метод, при котором допускаемые напряжения или расчетные сопротивления основного металла и сварных соединений, работающих под переменными нагрузками, определяются в зависимости от допускаемых напряжений (или расчетных сопротивлений) при статических нагрузках, путем умножения последних на коэффициент $\gamma \leqslant 1$:

$$[\sigma']_{Rк} = [\sigma']_p \cdot \gamma. \tag{48}$$

При этом учитывается эффективный коэффициент концентрации напряжений $K_э$, найденный опытным путем при $R = -1$, характеристика цикла R и другие факторы.

Структура формулы для определения γ в нормах [9, 11, 12] аналогична

$$\gamma = \frac{1}{(aK_э \pm b) - (aK_э \mp b)R} \leqslant 1, \tag{49}$$

но численные значения коэффициентов a и b различны. При определении характеристики цикла $R = \dfrac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$ принимают в качестве σ_{max} и σ_{min} наибольшее и наименьшее по абсолютной величине напряжения, взятые со своими знаками: растяжение имеет знак плюс, сжатие — знак минус. Коэффициенты $K_э$ берут различными для малоуглеродистых и низколегированных сталей и цветных сплавов. Верхние знаки в знаменателе формулы (49) принимают, когда наибольшее по абсолютной величине напряжение является растягивающим, нижние, когда эти напряжения сжимающие. Найденное по формуле (48) напряжение сравнивают с наибольшим по абсолютной величине расчетным напряжением (растягивающим или сжимающим).

В нормах на проектирование мостов [11] в качестве основных использованы расчетные сопротивления сталей, приведенные в табл. 36.

36. Основные расчетные сопротивления сталей [11]

Сталь	Расчетное сопротивление в $кГ/см^2$	
	при действии осевых сил R_p	при изгибе $R_и$
Углеродистая марок Ст. 3 мост. М16С	1900	2000
Низколегированная марки 15ХСНД	2700	2800

37. Расчетные величины эффективных коэффициентов концентрации сварных соединений [9], [11]

Расчетные сечения	Коэффициенты K_ϑ для стали	
	углеродистой	низколегированной
По основному металлу		
Основной металл с необработанной прокатной поверхностью, с прокатными или обработанными механическим путем кромками по сечениям вне заклепок, болтов и сварных швов	1,0	1,0
То же, но с кромками, обрезанными газовой резкой: машинной	1,1	1,2
ручной	1,4	1,8
Основной металл в месте перехода к необработанному стыковому шву с усилением, имеющим достаточно плавный переход	1,4	1,8
Основной металл в зоне перехода к стыковому шву, обработанному в этом месте абразивным кругом или специальной фрезой при стыковании листов: одинаковой толщины и ширины	1,0	1,0
разной ширины	1,2	1,4
разной толщины	1,3	1,6
Основной металл в месте перехода к поперечному (лобовому) угловому шву в рабочих соединениях внахлестку: без механической обработки при отношении катетов $\frac{K_1}{K_2} = 2$ (при направлении большого катета вдоль усилия) *	2,3	3,2
то же при отношении катетов $\frac{K_1}{K_2} = 1{,}5$	2,7	3,7
при наличии механической обработки и отношении катетов $\frac{K_1}{K_2} = 2$	1,2	1,4
то же при отношении катетов $\frac{K_1}{K_2} = 1{,}5$	1,5	1,9
Основной металл в соединениях с фланговыми швами, работающими на срез от осевой силы, в местах перехода от элемента к концам фланговых швов, независимо от наличия обработки швов	3,4	4,4
Основной металл вблизи диафрагм и ребер, приваренных угловыми швами к растянутым поясам и элементам ферм: без механической обработки швов, но при наличии плавного перехода от швов к металлу: при ручной сварке	1,6	2,2
при полуавтоматической сварке	1,3	1,5
то же при механической обработке швов	1,0	1,1
Поперечные сечения сварных элементов		
Сечения элементов, сваренных из листов непрерывными продольными швами автоматической сварки (вдали от диафрагм и ребер), при действии усилия вдоль оси шва	1,0	1,0
То же при ручной сварке [8]	1,3	1,6
По основному металлу в местах перехода к следующим конструктивным элементам		
Фасонки прямоугольной или трапецеидальной формы, привариваемые к элементам конструкции встык или втавр без механической обработки перехода от фасонки к элементу	2,5	3,5
Фасонки, привариваемые к поясам балок и ферм при плавной криволинейной форме и механической обработке перехода от фасонки к поясу, при полном проваре по толщине фасонки *	1,2	1,4

Продолжение табл. 37

Расчетные сечения	Коэффициент k_3 для стали	
	углеродистой	низколегированной
Фасонки, привариваемые втавр к стенкам и поясам балок, а также к элементам ферм, при плавной криволинейной форме и механической обработке перехода от фасонки к элементу конструкции, и полном проваре толщины фасонки	1.2	1.4
Фасонки прямоугольной и трапециевидной формы, привариваемые к поясам балок внахлестку с обваркой по контуру нахлестки, без механической обработки зон концентрации напряжения	2.5	3.5
Фасонки трапециевидной формы, привариваемые двумя фланговыми и двумя косыми швами (с отношением катетов 1 : 1 для фланговых и 1 : 2 для косых швов), при механической обработке швов на концах фасонок	1.6	2.2
Полный обрыв поясов (полок) двутаврового сечения при постепенном уменьшении к месту обрыва ширины и толщины пояса (полки), полном проваре стенки на концевом участке пояса и механической обработке перехода от пояса к стенке *	1.3	1.6
Обрыв одного поясного листа (в пакете из двух и более листов) сварной балки в случае уменьшения толщины листа (при неизменной его ширине) к месту обрыва с уклоном 1 : 8, но без механической обработки поперечного (лобового) шва	2.3	3.2
То же при одновременном уменьшении к месту обрыва как толщины (с уклоном 1 : 8), так и ширины (с уклоном 1 : 4) листа, но без механической обработки поперечного (лобового) шва	1.7	2.4
То же, но при косых швах (без лобового) и с обеспечением плавности перехода в месте обрыва листа путем механической обработки концов косых швов	1.2	1.4
Накладные компенсаторы ослабления сечения элемента при симметричном уменьшении ширины компенсатора с уклоном 1 : 1 *:		
без механической обработки концов косых швов	2.3	3.2
при наличии механической обработки концов косых швов	1.2	1.4
По металлу соединений		
Стыковые швы (по сеч. шва) с полным проваром корня шва:		
при автоматической (а также ручной) сварке и просвечивании	1.0	1.0
при ручной сварке без просвечивания	1.2	1.4
при автоматической сварке без просвечивания . .	1.1	1.2
Угловые швы:		
поперечные (лобовые) швы по расчетному сечению шва:		
при ручной сварке	2.3	3.2
при автоматической сварке	1.7	2.4
продольные (фланговые) швы, работающие на срез от осевой силы в соединении, при проверке *скалывающих напряжений* по длине шва . . .	3.4	4.4

* В нормах [9] отсутствуют

Коэффициенты a и b принимают:
для углеродистых сталей $a = 0{,}58$; $b = 0{,}26$;
для низколегированной стали $a = 0{,}65$; $b = 0{,}30$.

Для элементов проезжей части и работающих на местную нагрузку элементов главных ферм коэффициенты a устанавливают в зависимости от длины загружения линии влияния, эффективного коэффициента концентрации напряжений $K_э$ и марки стали [11]. Кроме того, для элементов и соединений автодорожных и городских мостов величину a во всех случаях уменьшают на 30%. Расчетные значения коэффициентов $K_э$ приведены в табл. 37.

В строительных нормах [9] коэффициенты a и b при подсчете γ по формуле (49) предлагается принимать в соответствии с данными табл. 38.

38. Значения коэффициентов a и b [9]

Конструкции	a*	b
Подкрановые балки и фермы, а также балки рабочих площадок и элементы конструкций бункерных и разгрузочных эстакад	$\frac{0{,}75}{0{,}85}$	0,3
Конструкции, находящиеся под воздействием полной нормативной переменной нагрузки	$\frac{0{,}9}{0{,}95}$	0,3

* В числителе – для углеродистой стали, в знаменателе – для низколегированной

При расчете элементов металлоконструкций мостовых электрических кранов [12] предлагается принимать в формуле (49) коэффициенты $a = 0.6$, $b = 0{,}2$; значения коэффициентов $K_э$ — по табл. 39. При этом коэффициент условий работы [5] принимает значения, указанные в табл. 40.

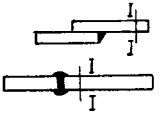
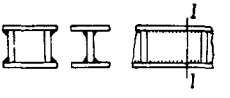
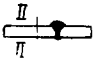
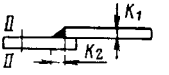
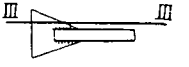
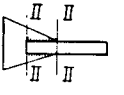
Коэффициент перегрузки n при расчете переменной нагрузки для кранов общего назначения 1,2 при легком режиме; 1,3 при среднем; 1,4 при тяжелом. При расчете постоянной нагрузки: $n = 1{,}1$ при скорости передвижения крана $v \leqslant 60$ *м/мин*; $n = 1{,}2$ при $60 < v \leqslant 120$ *м/мин*; $n = 1{,}3$ при $v > 120$ *м/мин*.

Значения коэффициентов γ по формуле (49) несколько отличаются между собой в различных технических условиях [9, 11, 12] при пользовании указанными выше значениями a, b и $K_э$. Эти различия объясняются специфическими условиями нагружений (наличие динамического эффекта), условиями эксплуатации (как часто имеют место переменные нагрузки, соотношение величины действующих переменных нагрузок, их спектр и др.), особенностями свойств применяемых материалов и т. д.

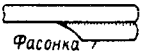
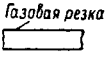
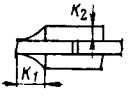
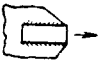
Эффективные коэффициенты концентрации $K_э$ для расчета прочности соединений, выполненных контактной сваркой, изучены в меньшей степени, нежели для соединений, выполненных дуговой сваркой.

В табл. 26 и 27 приведены примеры эффективных коэффициентов концентрации для точечных и роликовых соединений, выполненных контактной сваркой на некоторых материалах и толщинах.

39. Эффективные коэффициенты концентрации $K_э$ по техническим условиям [12]

Расчетные сечения	Эскиз	Коэффициент $K_э$
Конструкции из углеродистых сталей		
Вдали от сварных швов:		
при необработанной прокатной поверхности с прокатными, обрезными или обработанными механическим путем кромками		1.0
то же, но с кромками, обрезанными газовой машинной резкой		1.1
Вдали от ребер жесткости или диафрагм в составных стержнях с усилиями, действующими вдоль продольных швов		1,0
В местах перехода к сварным швам:		
а) стыковой шов обработан в этом месте абразивным кругом или фрезой		1,0
б) стыковой шов не обработан и имеет плавный переход к основному металлу с подваркой корня		1,4
в) лобовой (поперечный) шов механически обработан при отношении катетов $\frac{K_1}{K_2} \geq 2$ . . .		1,0
г) то же, но без механической обработки . . .		2,3
д) то же, но с отношением катетов $\frac{K_1}{K_2} = 1$ . . .		3,0
Стыковые швы с полным проваром корня шва		1,0
Угловые лобовые швы (по расчетному сечению)		
а) при ручной сварке		2,3
б) при автоматической сварке		1.7
Фланговые (по расчетному сечению):		
а) фланговый шов, работающий на срез от осевой силы, независимо от наличия обработки швов		3.4
б) то же при полуавтоматической сварке . . .		1.3
в) то же, но при механической обработке швов вблизи диафрагм или ребер жесткости, приваренных к растянутым элементам стержня без механической обработки сварных швов при ручной сварке		1.0 1.6

Продолжение табл. 39

Расчетные сечения	Эскиз	Коэффициент
В местах перехода к следующим конструктивным элементам:		
фасонка приварена к стержню впритык при плавной криволинейной форме перехода к стержню, полном проваре этого места и механической обработке		1,2
то же, но без механической обработки швов		2,5
фасонка приварена к стержню внахлестку при наличии механической обработки		1,6
то же, но без механической обработки зон концентрации напряжений		2,5
соединительная планка приварена к стержню фланговыми или лобовыми швами		2,5
Ко стержням из низколегированных сталей		
Вдали от сварных швов:		
при необработанной прокатной поверхности с прокатными обрезанными или обработанными механическим путем кромками		1,0
то же, но с кромками, обрезанными газовой ручной машинкой		1,4
основной металл с необработанной поверхностью и обработанными механическим путем кромками при радиусе переходов в *мм*:		
$R \geqslant 200$		1,0
$R = 100$		1,6
$R = 1$ (прямой угол)		2,0
Основной металл в зоне сварного шва:		
в месте перехода к стыковому или лобовому шву $\frac{K_1}{K_2} > 2$, обработанному абразивным кругом или фрезой		1,0
в месте перехода к необработанному стыковому шву, имеющему плавный переход		1,5
По сварным швам:		
стыковым с полным проваром корня		1,0
поперечным (лобовым) по расчетному сечению при ручной сварке		1,7
при автоматической сварке		2,3
фланговым		3,4

40. Коэффициенты условий работы m [12]

Тип кранового моста	Коэффициенты m		
	Главная балка или ферма	Концевая балка	Вспомогательные фермы
Коробчатый:			
без вспомогательной фермы	0,8		-
с вспомогательной фермой	1,2	0,9	0,45
С двутавровой главной балкой (одностенчатые мосты) и с раскосными фермами . . .	1,1		0,55

ГЛАВА II

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

БАЛКИ

Наиболее часто применяются сварные балки двутаврового (рис. 1, *а*) и коробчатого (рис. 1, *б—в*) профилей, более редко с профилями, указанными на рис. 1, *г*. Поперечные сечения балок иногда изменяют по длине, если последняя

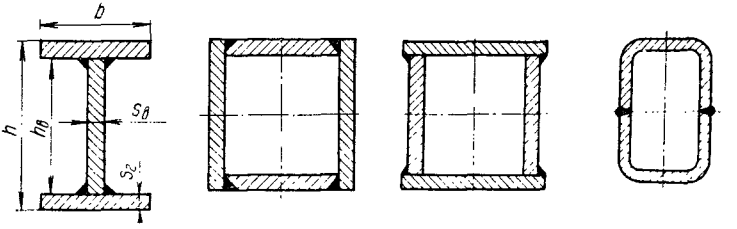


Рис. 1. Поперечные сечения сварных балок: *а* — открытое, *б*, *в*, *г* — закрытые

значительна. В некоторых случаях изменяют толщину или ширину горизонтальных листов (рис. 2, *а*). Применяют несколько пар горизонтальных листов, если

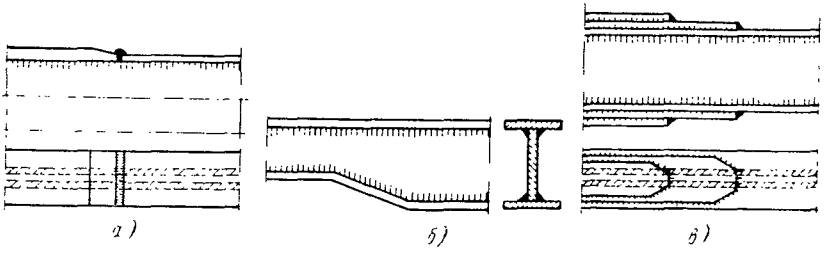


Рис. 2. Балки с переменными поперечными сечениями, в которых изменяются: *а* — толщины листов; *б* — высота балки; *в* — число листов в поясах

толщина каждого из них 30—35 *мм*. При этом в менее нагруженных участках число листов уменьшают (рис. 2, *в*). Иногда изменяют высоту вертикальных листов (рис. 2, *б*).

В балках предельная величина $\frac{f_{max}}{l}$ регламентируется нормами, где f_{max} — наибольший прогиб; l — пролет балки.

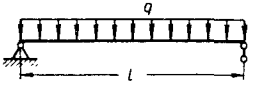
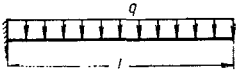
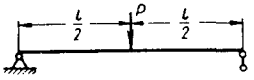
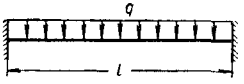
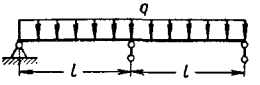
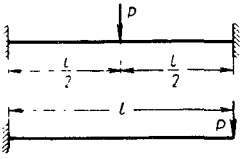
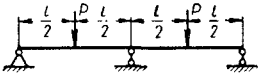
Нормы жесткости для балок разных назначений различны, например, жесткость подкрановых балок обычно больше, чем балок в междуэтажных перекрытиях.

Требуемая высота балки с учетом заданной нормы жесткости и допускаемых напряжений на основной металл $[\sigma]_p$ определяется по формуле

$$h = \psi \frac{[\sigma]_p l^2}{E f_{max}}, \tag{1}$$

где ψ — коэффициент, зависящий от типа нагрузки и от условий опирания (табл. 1; рис. 3, *а*).

1. Значение коэффициента ψ

Схема нагружения	ψ	Схема нагружения	ψ
	0,208		0,500
	0,417		
	0,063		0,083
	0,083; 0,067		0,098

С учетом проектирования балок наименьшего веса

$$h = \nu \sqrt{\frac{M}{s_\theta [\sigma]_p}}, \tag{2}$$

где ν — коэффициент, зависящий от формы сечения балки. Он равен 1.2—1,4 для двутаврового профиля, 1 –1,1 для коробчатого;

M — расчетный изгибающий момент балки;

$s_в$ — толщина вертикального листа двутаврового профиля или суммарная толщина двух вертикальных листов для коробчатого профиля;
$[\sigma]_p$ — допускаемое напряжение в металле при растяжении.
Принимая приближенно,

$$s_в = \frac{1}{12{,}5} \sqrt{h}, \text{ получим } h = \left(\frac{12{,}5 \sqrt{M}}{[\sigma]_p} \right)^{2{,}5}, \quad \text{где } h \text{ в см}. \tag{3}$$

Размерность коэффициента $12{,}5\ см^{-\frac{1}{2}}$.

Из двух значений высоты, вычисленных по формулам (1) и (3), следует принять наибольшую величину. Условие (1) является обязательным, условие (2) — желательным, поэтому оно может иметь некоторое подчиненное значение.

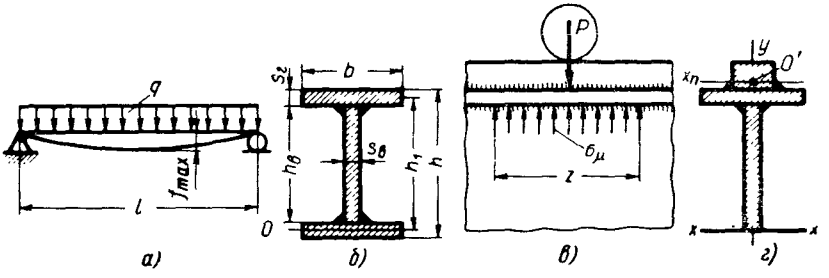


Рис. 3. К расчету сварной балки: *а* — схема нагрузки; *б* — сечение; *в*, *г* — схема учета влияния сосредоточенной силы.

Процесс подбора сечения двутаврового профиля следующий (рис. 3, *б*).
Требуемый момент сопротивления сечения

$$W_{тр} = \frac{M}{[\sigma]_p}. \tag{4}$$

Требуемый момент инерции сечения

$$J_{тр} = W_{тр} \frac{h}{2}. \tag{5}$$

Момент инерции вертикального листа высотой $h_в$, толщиной $s_в$

$$J_в = \frac{s_в h_в^3}{12}. \tag{6}$$

Приближенно принимают $h_в = 0{,}95\ h$;

$$J_г = J_{тр} - J_в. \tag{7}$$

Требуемый момент инерции двух горизонтальных листов

$$J_г = 2 \left[J_0 + F_г \left(\frac{h_1}{2} \right)^2 \right], \tag{8}$$

где J_0 — момент инерции горизонтального листа, которым пренебрегают;
h_1 — расстояние между центрами тяжести горизонтальных листов, приближенно принимаемое $0{,}97\ h$.
Требуемая площадь одного горизонтального листа

$$F_г = \frac{2J_г}{h_1^2}. \tag{9}$$

Проверяют напряжение от изгиба по формуле

$$\sigma = \frac{M}{J} \cdot \frac{h}{2} \leq [\sigma]_p. \tag{10}$$

Касательные напряжения в центре тяжести сечения определяются по формуле

$$\tau = \frac{QS}{Js_в}, \tag{11}$$

Q — наибольшая поперечная сила в сечении;

S — статический момент полуплощади сечения относительно центра тяжести сечения балки.

Эквивалентные напряжения проверяют, когда M и Q одновременно в одном поперечном сечении имеют достаточно большие значения. Эквивалентные напряжения на верхней кромке вертикальной стенки

$$\sigma_э = \sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau_1^2} \leq [\sigma]_p, \tag{12}$$

где

$$\sigma_1 = \frac{Mh_в}{2J}, \tag{13}$$

$$\tau_1 = \frac{QS}{Js_в}; \tag{14}$$

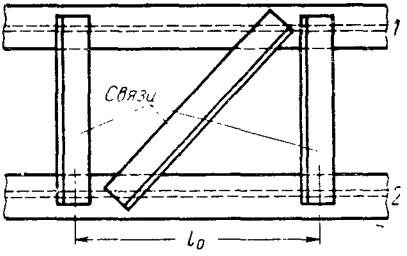


Рис. 4. Закрепления балок в горизонтальной плоскости

S — статический момент площади горизонтального листа относительно центра тяжести балки.

При перемещении по верхнему поясу балки сосредоточенных сил (в балках крановых, подкрановых, мостовых и т. д., рис. 3, *е*, *г*) прочность вертикального листа проверяют с учетом местного напряжения под грузом (рис. 3, *б*)

$$\sigma_м = \frac{nP}{s_в z}, \tag{15}$$

P — величина сосредоточенного груза;

n — коэффициент, принимаемый 1,5 при тяжелом режиме работы балки и 1,0 при легком;

z — условная длина, на которой передается нагрузка от сосредоточенного груза на вертикальный лист (рис. 3, *в*),

$$z = 3{,}25 \sqrt[3]{\frac{J_п}{s_в}}, \tag{16}$$

$J_п$ — момент инерции горизонтального листа совместно с приваренным к нему рельсом, если таковой имеется, относительно оси x_1, проходящей через их общий центр тяжести O' (рис. 3, *г*).

Для обеспечения общей устойчивости балки 1 двутаврового профиля, у которой J_x велик по сравнению с J_y, прибегают к одному из двух мероприятий: укорачивают свободную длину изгибаемого элемента постановкой связей (рис. 4), соединяющих балку 1 с параллельно установленной 2, или снижают величину допускаемых напряжений. При этом в изгибаемой балке напряжения проверяют по формуле

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq [\sigma]_p \varphi, \tag{17}$$

где φ — коэффициент уменьшения допускаемых напряжений балки с учетом устойчивости.

В балках двутаврового профиля

$$\varphi = \psi \frac{J_x}{J_y} \left(\frac{h}{l_0}\right)^2 \cdot 10^3, \tag{18}$$

h — полная высота балки;

l_0 — пролет балки или расстояние между закреплениями, препятствующими перемещениям в горизонтальной плоскости.

Коэффициент ψ определяют по графику (рис. 5), величину α при этом находят по формуле

$$\alpha = 8\left(\frac{l_0 s_г}{bh}\right)^2 \left(1 + \frac{h s_в^3}{b s_г^3}\right), \tag{19}$$

b — ширина пояса;

$s_в$ — толщина вертикального листа;

$s_г$ — толщина горизонтального листа.

Если вычисленное по формуле (18) значение $\varphi \geqslant 0{,}85$, то его следует принимать равным 0,85.

Если $\varphi \geqslant 1{,}00$, то следует принимать $\varphi = 0{,}90$;

$\varphi \geqslant 1{,}25$ » » $\varphi = 0{,}96$;

$\varphi \geqslant 1{,}55$ » » $\varphi = 1{,}00$.

Целесообразно задаться отношением $\frac{l_0}{b}$ в пределах 10—20; определить α по формуле (19) и ψ по графику рис. 5.

Коэффициент φ по формуле (18) рекомендуется иметь около 1.

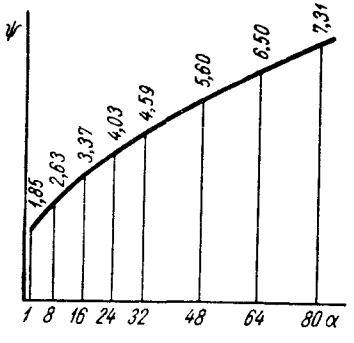


Рис. 5. Коэффициенты ψ в функции α.

Местная устойчивость вертикальных листов и поясов балок определяется воздействием сжимающих нормальных и касательных напряжений.

Если в балке из малоуглеродистой стали при отсутствии сосредоточенных сил, перемещающихся по ней,

$$\frac{h_в}{s_в} \leqslant 120 \sqrt{\frac{21}{R_p}}, \tag{20}$$

а при наличии таких сил

$$\frac{h_в}{s_в} \leqslant 80 \sqrt{\frac{21}{R_p}}, \tag{21}$$

то устойчивость вертикального листа не проверяют.

В формулах (20) и (21) $\sigma_т$ в $кГ/мм^2$.

Устойчивость сжатых поясов обеспечена, если их ширина

$$b \leqslant 30 s_г \sqrt{\frac{21}{R_p}}, \tag{22}$$

где $s_г$ — его толщина;

R_p — расчетное сопротивление в $кГ/мм^2$.

При несоблюдении условий (20) и (21) ставят вертикальные ребра жесткости из полос или профильного материала (рис. 6, *а*). Ширину ребер принимают $b_р = \frac{h_р}{30} + 40$ *мм*, толщину — не менее $\frac{1}{15}$ ширины.

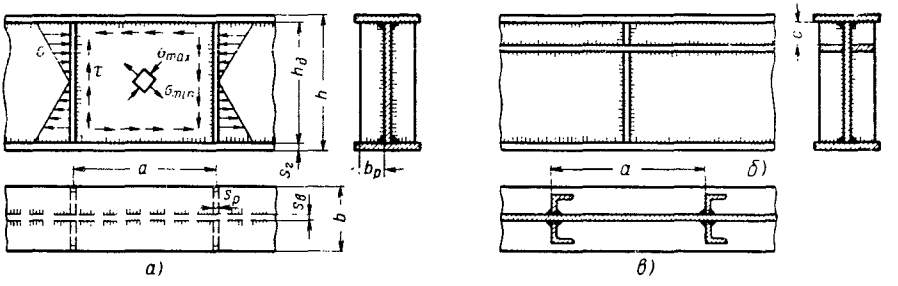


Рис. 6. Местная устойчивость вертикальных листов балки: *а* — образование σ и τ, вызывающих потерю устойчивости; *б* и *в* — постановка ребер жесткости

Для обеспечения местной устойчивости вертикального листа должно быть удовлетворено следующее условие:

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_0}+\frac{\sigma_{\mu}}{\sigma_{\mu 0}}\right)^2+\left(\frac{\tau}{\tau_0}\right)^2}\leqslant 1{,}00 \qquad (23)$$

(для подкрановых балок $\leqslant 0{,}9$),

где σ_{μ} — напряжение под сосредоточенной силой [см. формулу (15)];

σ — нормальное напряжение на верхней кромке вертикального листа,

$$\sigma=\frac{M}{J}\cdot\frac{h_в}{2}; \qquad (24)$$

τ — среднее касательное напряжение,

$$\tau=\frac{Q}{h_в s_в}; \qquad (25)$$

$$\sigma_0=750\,\frac{10^3 s_в}{h_в}\ кГ/см^2; \qquad (26)$$

$$\tau_0=\left(1250+\frac{950}{\mu^2}\right)\frac{100 s_в}{d}^2\ кГ/см^2; \qquad (27)$$

d — наименьшая из сторон a и $h_в$, заключенная между листами и ребрами жесткости;

μ — отношение большей стороны (a или $h_в$) к меньшей.

Величина

$$\sigma_{\mu_0}=K_1\,10^7\left(\frac{s_в}{a}\right)^2\ кГ/см^2. \qquad (28)$$

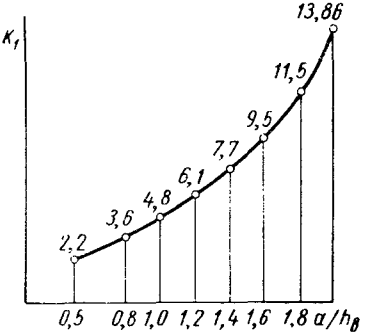


Рис. 7. Коэффициенты K_1 в функции $\frac{a}{h_в}$

Значение K_1 — по графику (рис. 7).

Помимо основных ребер жесткости, устанавливаемых по всей высоте вертикального листа балки, в интервалах между ними иногда ставят укороченные (длиной около $\frac{1}{3}h$) ребра жесткости треугольного очертания.

В балках очень большой высоты предусматривают горизонтальные ребра жесткости. Их располагают на расстоянии $c=0{,}20\div 0{,}25\,h$ от верхнего горизонтального листа (рис. 6, *б*). Полосовые ребра иногда заменяют уголковыми (рис. 6, *в*).

Горизонтальные листы соединяют с вертикальными поясными швами, как правило, угловыми (рис. 8, *а*, слева) при наличии сосредоточенных перемещающихся грузов большой величины, иногда с подготовкой кромок (рис. 8, *а*, справа).

Связующие нормальные напряжения (рис. 8, *б*) вследствие совместных деформаций шва и основного металла в учет не принимают, расчет прочности поясных угловых швов производят на касательные напряжения (рис. 8, *в*):

$$\tau = \frac{QS}{J2 \cdot 0{,}7K}, \tag{29}$$

Q — расчетная поперечная сила в рассматриваемом сечении;
J — момент инерции всего сечения;
S — статический момент заштрихованной в клеточку площади пояса (или горизонтального листа и рельса, если таковой имеется) относительно центра тяжести сечения балки (рис. 8, *г*).

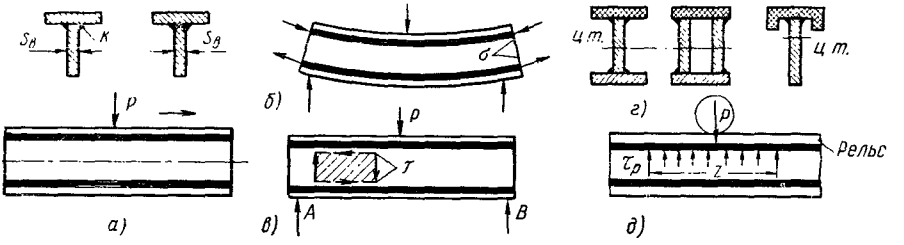


Рис. 8. К расчету поясных швов балок: *а* — поясные швы угловые (слева) и с подготовкой кромок (справа); *б* — связующие напряжения в швах σ; *в* — рабочие напряжения в швах τ от действия Q; *г* — учет площади (двойная штриховка) при определении S; *д* — местные напряжения τ_P под силой P

При вертикальном листе с подготовкой кромок касательное напряжение определяют по формуле

$$\tau = \frac{QS}{Js_в}. \tag{30}$$

Для конструкций, у которых $s \geqslant 4$ *мм*, принимают $K \geqslant 4$ *мм*.

Если груз перемещается по рельсу, прикрепленному к поясу балки (рис. 8, *д*), то напряжение в поясных швах

$$\tau_P = \frac{n'P}{2 \cdot 0{,}7Kz}, \tag{31}$$

где P — величина сосредоточенного груза;
n' — коэффициент, зависящий от характера обработки кромки вертикального листа (обычно $n' = 0{,}4$);
z — расчетная длина шва, по которой происходит передача давления с пояса на вертикальный лист.

Условное результирующее напряжение в швах находится по формуле

$$\tau_р = \sqrt{\tau^2 + \tau_P^2} \leqslant \tau'. \tag{32}$$

Швы, прикрепляющие ребра жесткости, выполняют угловыми обычно с катетом $K = 0{,}5 \div 0{,}7\ s_в$, где $s_в$ — толщина вертикального листа.

Технологические стыки в балках применяют при отсутствии элементов требуемой длины. Монтажные стыки проектируют с учетом возможности перевозки балок крупных размеров по частям с последующей сваркой на месте установки. Конструктивные стыки служат для изменения размеров поперечного сечения балок.

Стыки могут быть универсальными, если все элементы балки стыкуются в одном поперечном сечении (рис. 9, *а*), и частичными (рис. 9, *б*). Технологические стыки бывают нередко частичными, монтажные — универсальными.

Стыки балок осуществляют сваркой встык дугой или на контактной машине. Прочность стыка определяется условием

$$\sigma = \frac{M}{W} \leqslant [\sigma']_p. \tag{33}$$

Если $\sigma > \sigma'_p$, стык оказывается неравнопрочным целому сечению. При этом его помещают в сечениях, удаленных от зон максимальных напряжений.

Если $\sigma > \sigma'_p$, целесообразно местное усиление балки приваркой к ее поясам дополнительных горизонтальных листов, увеличивающих ее момент сопротивления W' в расчетном сечении. При этом

$$\sigma = \frac{M}{W'} \leqslant [\sigma']_p. \tag{34}$$

где W' — момент сопротивления сечения балки, усиленной накладками.

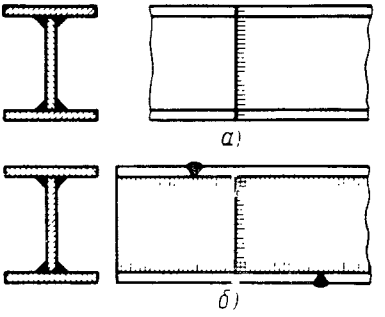


Рис. 9. Стыки балок: *а* — универсальные; *б* — частичные

Типы поперечных сечений балок из штампованных и гнутых профилей показаны на рис. 10. Изготовляют их главным образом из листов толщиной $s = 1 \div 5$ *мм*, свариваемых большей частью контактной или дуговой сваркой. Сварные точки располагают по возможности в зонах, удаленных от зон пластического деформирования.

Связующие точки (рис. 11, *а*, *б*) расчету прочности не подлежат. Рабочие (рис. 11, *в*—*з*) рассчитываются на поперечную силу Q. Срезывающее усилие,

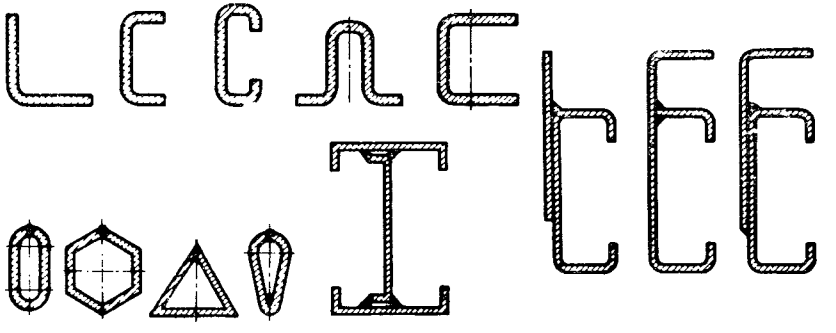


Рис. 10. Конструкции балок из гнутых и штампованных элементов

действующее на длине балки, равной расстоянию t между точками (рис. 11, *ж*—*и*).

$$T = \frac{QS}{J} t. \tag{35}$$

Срезывающее напряжение в точке

$$\tau = \frac{4T}{2\pi d^2}, \tag{36}$$

где d — диаметр точки;
S — статический момент горизонтального листа относительно центра тяжести сечения;
J — момент инерции всего сечения.

Опорные плиты балок выпуклой формы изготовляют стальными. На одной из опор балка имеет продольную подвижность, на другой она закрепляется от продольного смещения болтами или штырями. Ширина плиты $b_0 = 1{,}1 \div 1{,}2\ b$ (рис. 12).

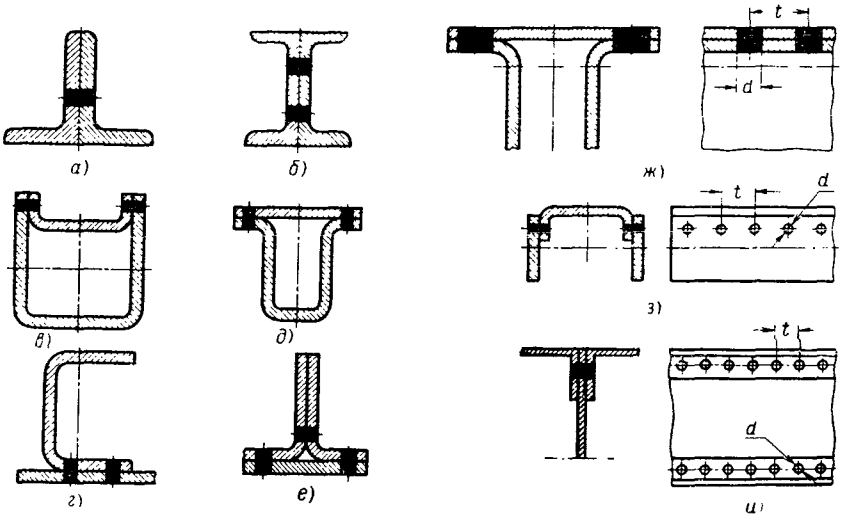


Рис. 11. Поперечные сечения балок, сваренных точками: *а*, *б* — связующие соединения; *в* — *и* — рабочие соединения

Радиус цилиндрической поверхности плиты $R = 1 \div 2$ *м*; толщина ее у конца $s_{min} = 10 \div 15$ *мм*. Толщина s плиты на оси определяется из условия работы плиты на изгиб.

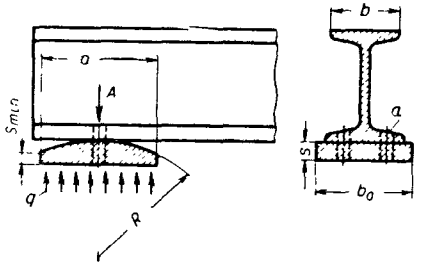


Рис. 12. Конструкции опоры балки

$$s = \sqrt{\frac{6M}{[\sigma]_p (b_0 - 2d)}}. \qquad (37)$$

Изгибающий момент по оси плиты

$$M = \frac{qa}{8}, \qquad (38)$$

где a — длина плиты, равная $1 \div 1{,}5 b_0$.

d — диаметр отверстия штыря, равный 18—25 *мм*.

Балки, работающие под переменными нагрузками, должны быть выполнены таким образом, чтобы устранить возможность образования в них концентраторов напряжений значительной величины. Стыки следует сваривать без накладок при плавном изменении толщины горизонтальных листов (рис. 13, *а*) и плавном обрыве накладок (рис. 13, *б*). Ребра жесткости целесообразно приваривать, как это показано на рис. 13, *в*. В растянутом поясе под ребром целесообразна подкладка (рис. 13, *г*). Приварку планок рекомендуется производить, как изображено на рис. 13, *г*, *д*. Очертание углового шва принимать по неравнобедренному треугольнику (рис. 13, *е*, *ж*). На рис. 14 приведены пределы выносливости (в $кГ/см^2$) сварных балок из малоуглеродистой стали, испытанных под нагрузками, близкими к пульсирующим. Сопряжения балок между собой, если они

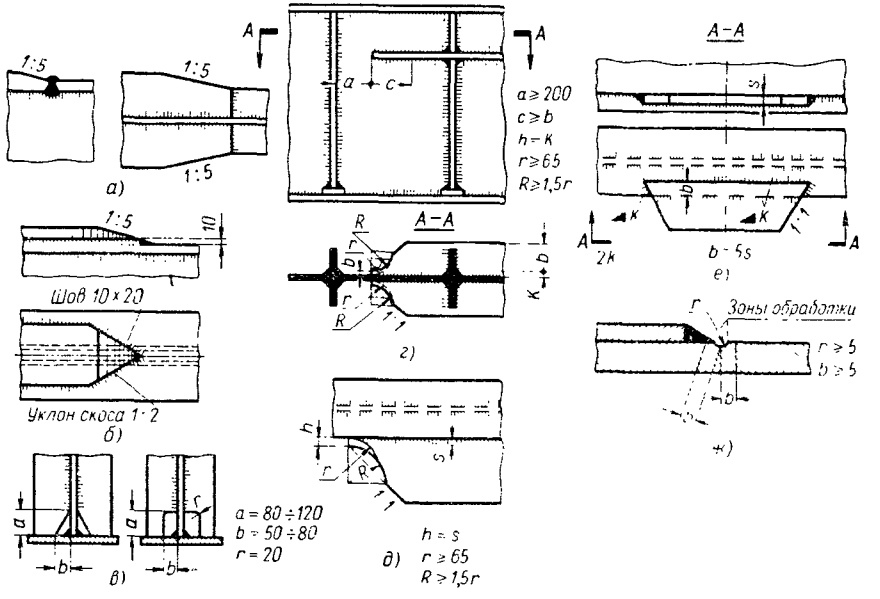


Рис. 13. Оформление балок, работающих под переменными нагрузками: *а* — стыки с плавными изменениями толщины и ширины поясов; *б* — рациональный обрыв накладки; *в* — целесообразное крепление ребер жесткости; *г*, *д* — рациональное крепление плачок к стенке и поясам; *е*, *ж* — крепление планки к поясу с обработанным угловым швом; *R* — радиус механической обработки; *r* — радиус газовой резки

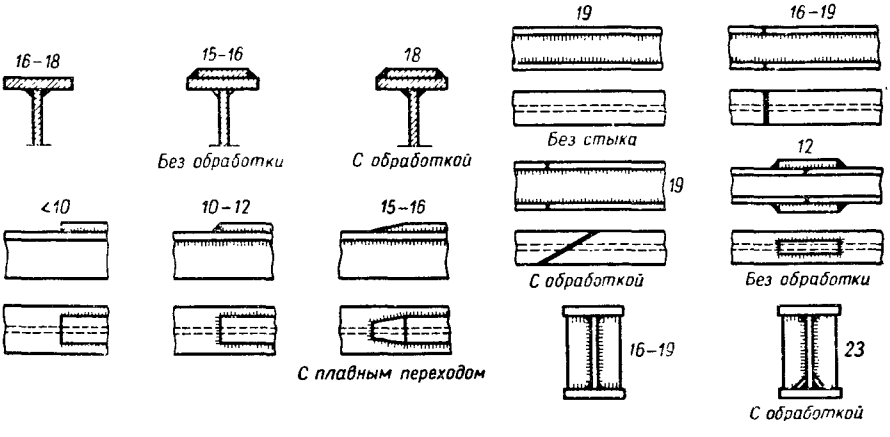


Рис. 14. Пределы выносливости сварных балок при работе под переменными нагрузками с циклами, близкими к пульсирующим

работают под переменными нагрузками, должны выполняться так, чтобы обеспечивалась наименьшая концентрация напряжений. Это достигается преимущественно за счет плавных переходов между элементами и использования соединений встык (рис. 15 и 16).

В балках из алюминиевых сплавов максимальные величины отношений стрелы прогиба f_{max} к величине пролета l должны быть следующими: подкрановых (грузоподъемность крана $Q = 50$ *т*) 1/600, междуэтажных перекрытий 1/400–1/200, покрытий 1/250–1/200. Ребра жесткости не ставят или ставят на

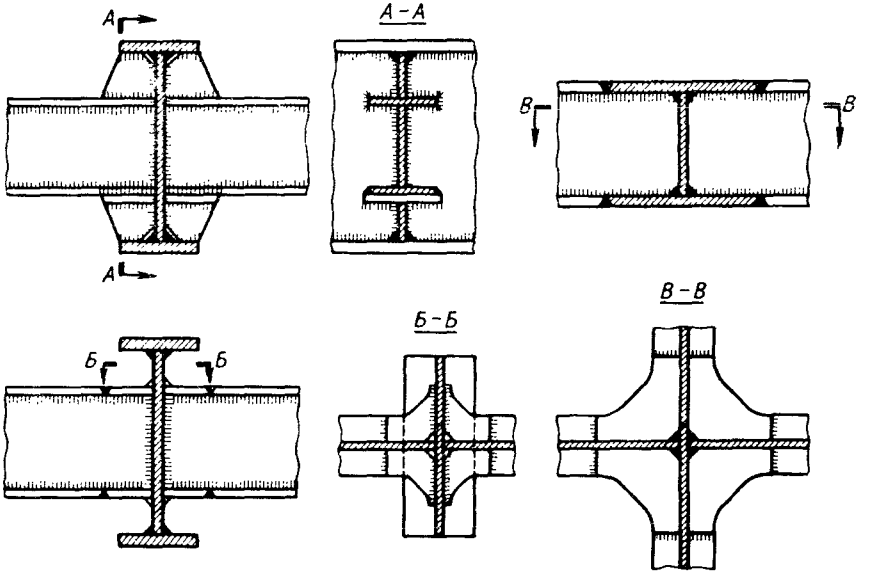


Рис. 15. Сварные сопряжения балок двутаврового профиля между собой

взаимном расстоянии 2,4 h, если $\frac{h}{s_в} \leqslant 80$ для сплава АМг или $\frac{h}{s_в} \leqslant 70$ для сплава АВТ-1, термически обработанного и искусственно состаренного.

Устойчивость стенки, подкрепленной только вертикальными ребрами жесткости (рис. 6) проверяют из условия

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_0}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_0}\right)^2} \leqslant v, \tag{39}$$

где σ — расчетное напряжение на верхней кромке вертикального листа;

$$\sigma = \frac{M}{J} \cdot \frac{h_в}{2}; \tag{40}$$

$$\sigma_0 = 2100 \left(\frac{100 s_в}{h_в}\right)^2 \text{ кГ/см}^2; \tag{41}$$

$$\tau = \frac{Q}{h_в s_в}; \tag{42}$$

$s_в$ — толщина вертикального листа;

$h_в$ — его высота;

τ — среднее касательное напряжение;

$$\tau_0 = 420 - \frac{320}{\mu^2} + \frac{100 s_в^2}{d^2} \ кГ/см^2; \qquad (43)$$

d — меньшая из величин a и $h_в$;

μ — отношение большей стороны прямоугольника, образуемого сторонами a и $h_в$, к меньшей.

Значение коэффициента c находится в зависимости от эквивалентного напряжения σ_i:

$$\sigma_i = \frac{1}{2}\left[\sigma + \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}\right] \leq [\sigma]_р; \qquad (44)$$

$\frac{\sigma_i}{R_р}$	0.66;	0.75;	0.90;	1.00
c	1.00;	0.92;	0.70;	0.50

Толщина ребер жесткости $s \geq 1{,}12\ B$; ширина $B \geq \frac{h_в}{30} + 40$ *мм*.

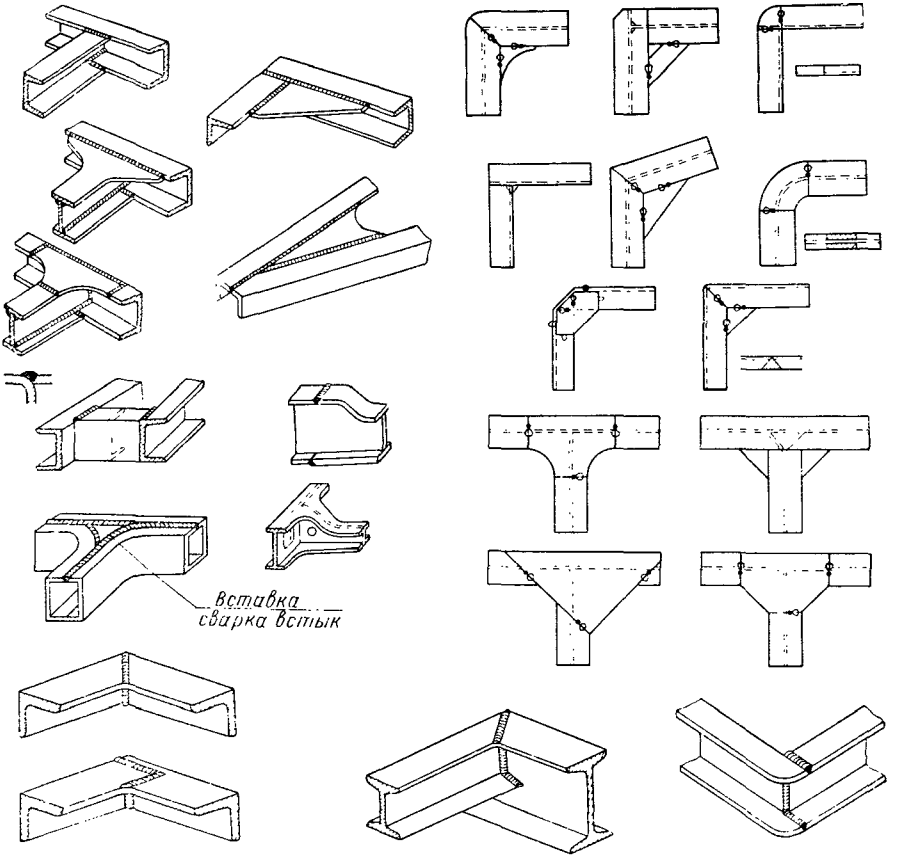


Рис. 16. Сопряжения балок различных профилей

Общую устойчивость сварных алюминиевых балок, работающих под действием момента, проверяют по формуле

$$\frac{M}{W\varphi_в} \leqslant [\sigma]_р. \qquad (45)$$

Коэффициент $\varphi_в$ находят из выражения

$$\varphi_в = \psi \frac{J_y}{J_x}\left(\frac{h}{l}\right)^2 \cdot 10^3, \qquad (46)$$

где J_x и J_y — главные моменты инерции сечения балки;

l — длина балки или расстояние между ее закреплениями в горизонтальной плоскости;

h — высота балки;

ψ — коэффициент, определяемый по графику рис. 17, *а*, в зависимости от коэффициента α:

$$\alpha = 1{,}54 \frac{J_x}{J_y}\left(\frac{l}{h}\right)^2. \qquad (47)$$

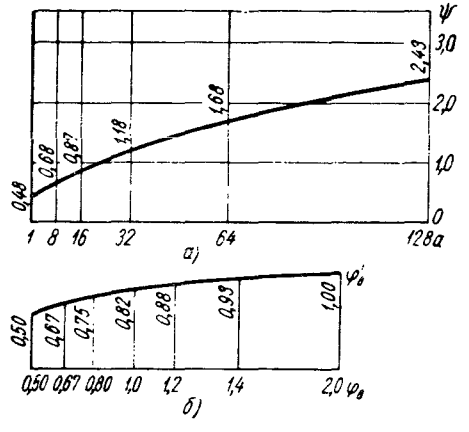


Рис. 17. Коэффициенты ψ в функции α (*а*) и коэффициенты $\varphi'_в$ в функции $\varphi_в$ (*б*)

Значения ψ перед подстановкой в формулу (46) для изделий из сплава АВТ-1 умножают на 1,47, а для сплава АМг6-М — на 1,96.

При проверке устойчивости поступают следующим образом. Задаются отношением $\frac{l}{h}$, по формуле (47) находят α, по графику рис. 17, *а* — ψ, а по формуле (46) — $\varphi_в$. Если $\varphi_в > 0{,}67$, то вместо $\varphi_в$ следует принимать коэффициенты $\varphi'_в$ (рис. 17, *б*).

СТОЙКИ

В сжатых элементах — стойках должна быть обеспечена прочность и устойчивость, их поперечные сечения должны обладать возможно большей жесткостью по всем направлениям.

Поперечные сечения стоек приведены на рис. 18. Сечения на рис. 18, *а*, *в*—*д*, *з*, *и*, *л*, *м* имеют главные центральные оси материальными. Оси y сечений на рис. 18 *б*, *е*, *ж*, *к* свободные. Особенно целесообразны закрытые трубчатые сечения (рис. 18, *в*, *д*, *л*, *м*).

Расчет стоек при центральном сжатии производят по формуле

$$\sigma = \frac{P}{F} \leqslant [\sigma]_{сж} = [\sigma_р]\varphi, \qquad (48)$$

где P — продольная сила в стойке;

F — площадь поперечного сечения;

φ — коэффициент продольного изгиба.

Величина φ зависит от гибкости сжатого элемента $\lambda = \frac{l}{r}$. Радиус инерции сечения $r = \sqrt{\frac{J}{F}}$, где J — момент инерции поперечного сечения в стойке в направлении наименьшей жесткости; F — ее площадь.

Для конструкции стойки, шарнирно закрепленной по концам (рис. 19, *а*), свободную длину l принимают равной длине стойки h. При этом гибкость стойки $\lambda = \frac{h}{r}$.

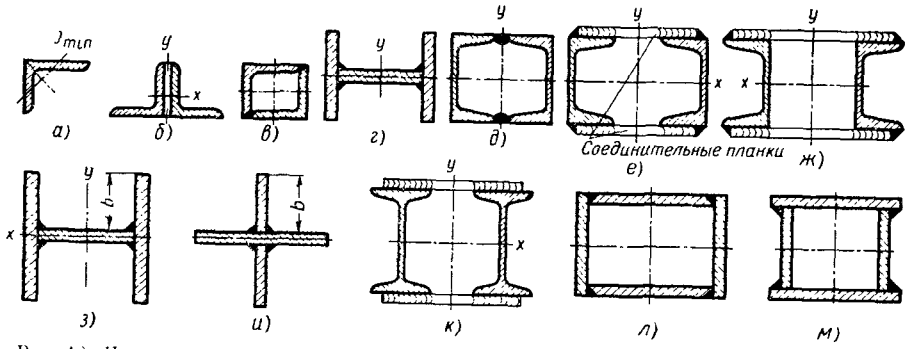


Рис. 18. Поперечные сечения сжатых стоек, работающих при усилиях малой и значительной величины

Для стоек, изображенных на рис. 19, *б* и *в* гибкости λ соответственно равны $\frac{2h}{r}$ и $\frac{0{,}5h}{r}$.

В табл. 2 приведены коэффициенты φ для стоек из малоуглеродистых сталей, легированных сталей и алюминиевых сплавов.

2. Коэффициенты продольного изгиба φ для центрально сжатых стержней

Гибкость	Стали					Алюминиевые сплавы	
	Ст. 2 Ст. 3 Ст. 4	Ст. 5	15ХСНД	тип С-45	тип С-75	АМг-М	Д16-Т
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98	1,00	0,99
20	0,97	0,95	0,95	0,95	0,93	0,99	0,98
30	0,95	0,93	0,92	0,91	0,87	0,94	0,84
40	0,92	0,89	0,89	0,84	0,76	0,83	0,70
50	0,89	0,85	0,84	0,75	0,63	0,73	0,57
60	0,86	0,80	0,78	0,67	0,56	0,63	0,46
70	0,81	0,74	0,71	0,60	0,46	0,54	0,35
80	0,75	0,67	0,63	0,51	0,36	0,46	0,29
90	0,69	0,59	0,54	0,44	0,29	0,39	0,23
100	0,60	0,50	0,46	0,38	0,23	0,33	0,19
110	0,52	0,43	0,39	0,32	0,19	0,28	0,15
120	0,45	0,37	0,33	0,27	0,17	0,24	0,13
130	0,40	0,32	0,29	0,23	0,14	0,21	0,11
140	0,35	0,28	0,25	0,20	0,12	0,18	0,10
150	0,32	0,26	0,23	0,17	0,10	0,15	0,08
160	0,29	0,24	0,21	0,15	0,09		
170	0,26	0,21	0,19	0,13	0,08		
180	0,23	0,19	0,17	0,12	0,07		
190	0,21	0,17	0,15	0,11	0,06		
200	0,19	0,15	0,13	0,10			

Примечание. Стали типа С-45 и С-75 – высокопрочные с пределом текучести 4500 и 7500 кг/см².

Напряжения в сжатых стойках проверяют также по преобразованной формуле

$$\sigma = \frac{P}{F\varphi} \leqslant [\sigma]_p. \qquad (49)$$

Произведение $F\varphi$ называется приведенной площадью сжатого элемента.

Подбор сечения сжатых стоек целесообразно производить методом последовательного приближения. В первом приближении коэффициент φ может быть 0,5—0,8 в зависимости от рода конструкций. По заданному коэффициенту φ в первом приближении определяют требуемую площадь поперечного сечения стойки по формуле

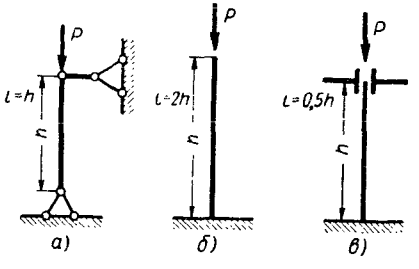


Рис. 19. Расчетные схемы стоек

$$F_{треб} = \frac{P}{[\sigma]_p \varphi}. \qquad (50)$$

После подбора сечения F в нем проверяют напряжения по формуле (49). Подбор производят несколько раз. Допустимы отклонения σ от $[\sigma]_p$ в пределах $\pm 5\%$.

Стыки стоек по длине выполняют, как указано на рис. 20. Наиболее распространены соединения встык (рис. 20, *а*, *б*), реже места стыков перекрывают накладками (рис. 20, *в*) или стык выполняют при помощи прокладки (рис. 20, *г*).

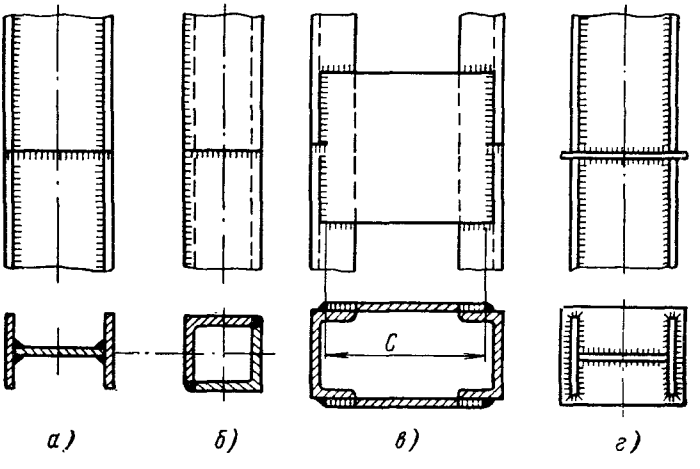


Рис. 20. Конструкции стыков стоек

Как правило, в соединениях встык напряжение σ меньше, чем допускаемое по устойчивости $[\sigma]_p\varphi$. В этом случае прочность стыкового соединения обеспечена.

Стенку сжатого элемента подкрепляют ребрами жесткости. Последние не ставят, если

$$\frac{h}{s} \leqslant 40 \sqrt{\frac{21}{R_p}} + 0{,}2 \cdot \lambda, \text{ но не более } 75, \qquad (51)$$

где h — высота листа;

s — его толщина;

R_y — расчетное сопротивление, равное $0{,}9\ \sigma_т$ в $кГ/мм^2$;

λ — наибольшая гибкость стойки.

Наибольшая ширина неокаймленного сжатого свеса в листе или полке стоек (рис. 18, *з*, *и*) определяется данными табл. 3.

В стойках, имеющих составные поперечные сечения, ветви соединяют связями: наиболее часто планками (рис. 21, *а*), реже соединительными решетками (рис. 21, *б*).

В сжатых элементах с составными поперечными сечениями устойчивость относительно материальной оси (ось x для конструкции рис. 21, *а*) проверяют, как и для элементов со сплошными поперечными сечениями. При проверке устойчивости стойки относительно свободной оси

3. Допустимые ширины свесов в стойках

Материал	$\frac{b}{s}$ при гибкости	
	50	110
Ст. 3, Ст. 4	15	18
14Г2, 15ГС, 10ГНС, 15ХСНД	13	16

b — ширина свеса;
s — толщина свеса.

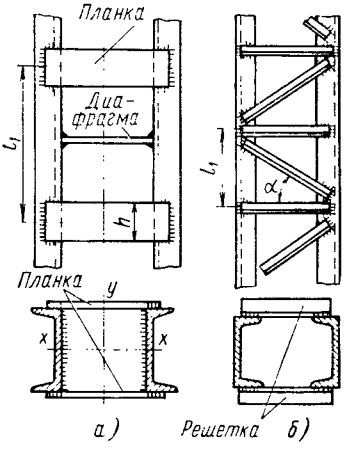


Рис. 21. Связи стоек с составными поперечными сечениями: *а* — соединительные планки; *б* — соединительные решетки

(ось y на рис. 21, *а*) коэффициент φ находят, как функцию приведенной гибкости λ_0:

$$\lambda_0 = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_1^2}. \tag{52}$$

Для определения λ_0 сначала находят λ_y при допущении, что ось поперечного сечения y материальна. Гибкость λ_1 одной ветви на расстоянии между осями планок вычисляют по формуле

$$\lambda_1 = \frac{l_1}{r_1}, \tag{53}$$

где l_1 — расстояние между осями планок;

r_1 — радиус инерции одной ветви сечения (одного швеллера).

Планки рекомендуется расставлять таким образом, чтобы гибкость $\lambda_1 \leqslant 40$. Наибольшая гибкость из λ_0 и λ_x принимается в качестве расчетной.

Если ветви поперечного сечения стойки соединены решеткой, то приведенную гибкость относительно свободной оси при $\alpha \leqslant 45^\circ$ определяют по формуле

$$\lambda_0 = \sqrt{\lambda_y^2 + 27\frac{F}{F_p}}, \tag{54}$$

где F — площадь поперечного сечения стержня;

F_p — площадь сечения раскосов соединительной решетки.

Для стойки, состоящей из четырех расставленных уголков,

$$\lambda_0 = \sqrt{\lambda^2 + \lambda_1^2 + \lambda_2^2}, \tag{55}$$

где λ_1 и λ_2 — гибкости отдельных ветвей;

λ — наибольшая гибкость всего стержня.

При загружении стойки силой, приложенной центрально, условная поперечная сила

$$Q = 20F \text{ кГ}, \tag{56}$$

где F — площадь поперечного сечения стойки в $см^2$.

Этой формулой пользуются при расчете конструкций из малоуглеродистой стали. При расчете конструкций из сталей 15ХСНД, 10ХСНД и других аналогичных низколегированных сталей, стали Ст.5 и алюминиевых сплавов следует пользоваться формулой

$$Q = 40F \text{ кГ}. \tag{57}$$

В конструкции, изображенной на рис. 22, *а*, реальная поперечная сила

$$Q = \frac{P_e}{l}. \tag{58}$$

Если реальная поперечная сила больше, чем условная, определяемая по формулам (56) или (57), то за расчетную величину принимают реальную силу.

Соединительные швы в стойках, имеющих сплошные сечения, конструируют, как правило, непрерывными, свариваемыми автоматами. Расчетным усилием в соединительных швах является поперечная сила: реальная или условная по наибольшей величине.

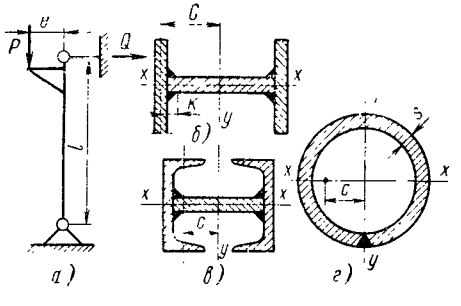


Рис. 22. Поперечные сечения стоек с соединительными швами, работающими на поперечную силу Q

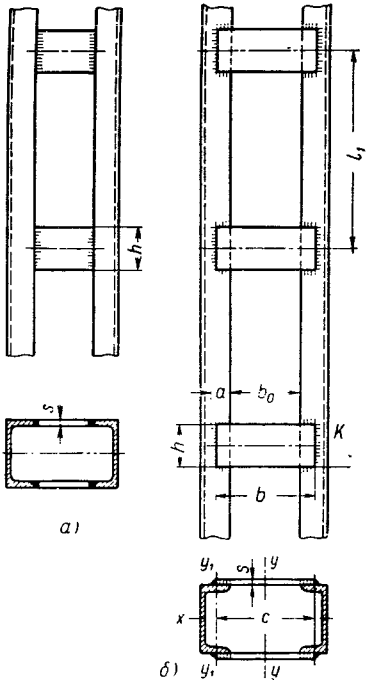


Рис. 23. Соединительные планки стоек

Касательные напряжения в соединительных швах определяют по формуле

$$\tau = \frac{QS}{J2 \cdot 0{,}7K}, \tag{59}$$

где Q — поперечная сила;

J — момент инерции всего сечения (например, для конструкции, изображенной на рис. 22, *б*, *в*, относительно оси y);

K — катет шва;

S — статический момент площади пояса (рис. 22, *б*) или шва (рис. 22, *в*) относительно оси $y - y$, проходящей через центр тяжести сечения.

Для конструкции, изображенной на рис. 22, *г* касательные напряжения в продольном шве

$$\tau = \frac{QS}{2Js}, \tag{60}$$

где $S = Fc$;

F — площадь полукольца;

c — расстояние от центра тяжести полукольца до центра трубы.

Из технологических соображений катет шва следует принимать $K \geq 4$ *мм*, если наименьшая толщина соединяемых элементов больше 4 *мм*.

Планки между ветвями стойки целесообразно вваривать встык (рис. 23, *а*). При соединении планки внахлестку (рис. 23, *б*), ее сваривают угловыми швами. С учетом требования жесткости ширина планки h должна быть $\geq 0{,}5\ b$. Толщину планки s подбирают из условия $\frac{b_0}{s} \leq 50$.

b_0 — расстояние между ветвями в свету.

Чтобы препятствовать скручиванию профиля, возможному из-за смещения одной ветви сечения относительно другой, ставят диафрагмы. На каждом элементе не менее двух.

Планки рассчитывают в основном на изгиб от момента

$$M = \frac{Ql_1}{4}. \tag{61}$$

Момент сопротивления планки

$$W = \frac{sh^2}{6}.$$

Напряжения в планке, вызванные изгибающим моментом, определяют по формуле

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq \sigma_{\text{р}}. \tag{62}$$

Наименьшая требуемая высота поперечного сечения планки

$$h = \sqrt{\frac{6M}{\sigma_{\text{р}} s^2}}. \tag{63}$$

Если планки со стойкой соединены встык (рис. 23, *а*), то прочность швов определяют из условия

$$\sigma = \frac{6M}{sh^2} \leq \sigma'_{\text{р}}. \tag{64}$$

В случае приварки планок угловыми швами напряжения в швах определяют из уравнения (см. рис. 23, *б*).

$$\tau = \frac{M}{0{,}7Ka\,(h + K) + \frac{0{,}7Kh^2}{6}}. \tag{65}$$

Усилия в раскосе соединительной решетки (рис. 21, *б*)

$$D = \frac{Q}{2\cos\alpha}, \tag{66}$$

где Q — поперечная сила.

Напряжения в швах, прикрепляющих раскосы,

$$\tau = \frac{D}{0{,}7KL} \leq [\tau'], \qquad (67)$$

где L — длина периметра швов, прикрепляющих раскос к элементу стойки.

ФЕРМЫ

При подборе поперечных сечений ферм необходимо учитывать следующие обстоятельства.

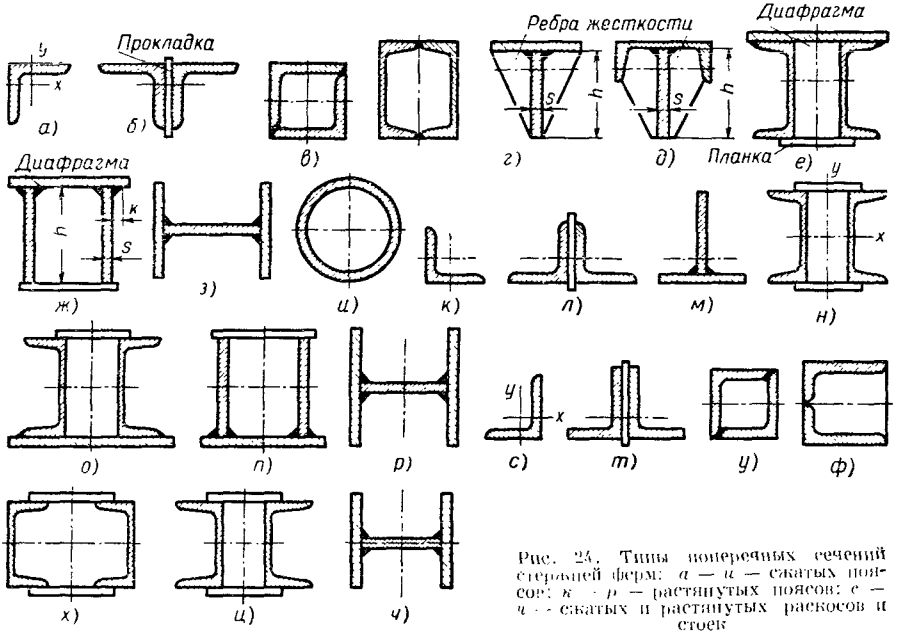


Рис. 24. Типы поперечных сечений стержней ферм: *а — и* — сжатых поясов; *к — р* — растянутых поясов; *с — ч* — сжатых и растянутых раскосов и стоек

Предельная величина гибкости λ стержней стальных ферм промышленных сооружений должна быть не выше:

основных сжатых (пояса и опорные раскосы)	120
прочих сжатых	150
основных растянутых	250
прочих растянутых	350
сжатых второстепенных	200
растянутых связей	400

Гибкость растянутых стержней ограничивают с целью устранения их провисания при весьма большой гибкости и вибраций при динамических нагрузках. Стержни в большинстве случаев конструируют из прокатных профильных элементов. Целесообразны гнутые элементы, так как при малой толщине они обладают повышенной жесткостью. Сортамент должен быть по возможности однообразным. С целью сокращения объема сварочных работ и уменьшения деформаций от сварки, швы в элементах следует располагать по возможности симметрично.

Типы сечений сжатых поясов приведены на рис. 24, *а* — *и*. Замкнутые сечения (рис. 24, *в*, *и*) целесообразны в конструкциях, где требуется повышенное сопротивление кручению. Сечения, приведенные на рис. 24, *д*, *е*, встречаются в фермах, в которых верхние пояса, помимо силы сжатия, испытывают изгибающие моменты. Трубчатые конструкции (рис. 24, *и*) рациональны в отношении жесткости.

Требуемая площадь сжатого пояса при отсутствии момента

$$F_{тр} = \frac{N}{\sigma_p \varphi}, \tag{68}$$

где N — расчетная продольная сила;

φ — коэффициент продольного изгиба.

При подборе сечения следует предварительно задаться φ, как это делают при расчете стоек. Свободную длину стержня принимают с учетом конструкции сооружения. В стропильных фермах при наличии горизонтальных связей свободную длину пояса берут равной расстоянию между центрами узлов.

Напряжения в подобранном сечении

$$\sigma = \frac{N}{F\varphi} \leqslant \sigma_p \tag{69}$$

В стержнях, поперечные сечения которых приведены на рис. 24, *в* — *з*, соединительные швы конструируют, как правило, непрерывными и выполняют автоматической сваркой; при этом катет шва K принимают $0{,}4 \div 0{,}6$ s листа. Нередко K берут равным $4-5$ *мм*.

Когда на панели отсутствует нагрузка, для расчета швов определяют поперечную условную силу, которую вычисляют по формулам (56) и (57). Напряжения в швах

$$\tau = \frac{QS}{J2 \cdot 0{,}7K}, \tag{70}$$

где J — момент инерции поперечного сечения;

S — статический момент вышележащей части пояса относительно центра тяжести сечения;

K — катет шва.

Для повышения устойчивости элемента (рис. 24, *г* — *ж*) применяют соединительные планки, диафрагмы, ребра жесткости, расположенные в плоскости, перпендикулярной к оси элемента.

В крановых и стропильных фермах средней и малой грузоподъемности сечения поясов часто остаются неизменными по длине. Изменение поперечного сечения может менять положение центра тяжести, что создает эксцентриситет e (рис. 25). Если $e \geqslant 0{,}02$ h, то следует учесть дополнительные напряжения от изгибающего момента.

Требуемая площадь поперечного сечения стержня при растяжении

$$F_{тр} = \frac{N}{\sigma_p}. \tag{71}$$

Типы поперечных сечений растянутых поясов приведены на рис. 24, *к*—*р*. Условия возможности изменения величины сечения от панели к панели в растянутых поясах те же, что и в сжатых. Соединительные швы в растянутых элементах не рабочие; катеты швов K $4 \div 5$ *мм*; швы в большинстве случаев непрерывные, сваривают их на автоматах. Типы поперечных сечений раскосов и стоек приведены на рис. 24 - *ч*. В растянутых раскосах и стойках требуемую площадь поперечных сечений элементов определяют по формуле (71), в сжатых раскосах и стойках — по формуле (68).

Порядок подбора сечений аналогичен расчету, описанному для стоек.

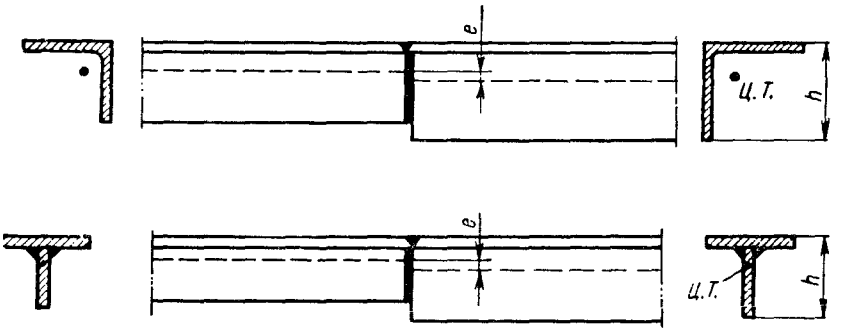


Рис. 25. Стыки поясов с эксцентриситетами

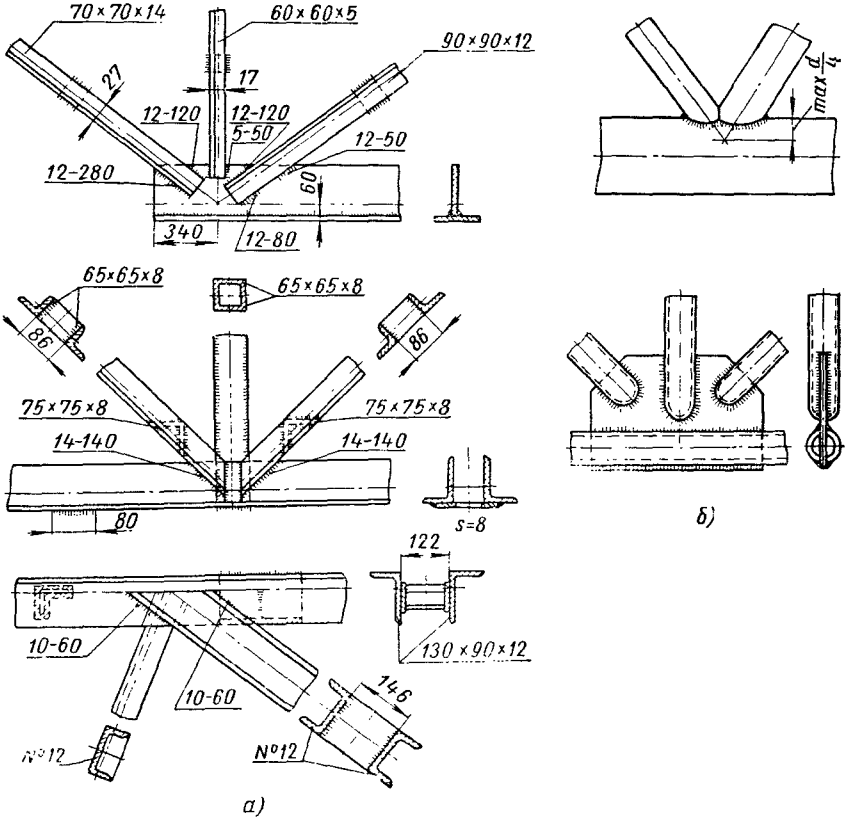


Рис. 26. Узлы без косынок стержней из уголкового и трубчатого профилей

Условия рационального конструирования узлов ферм следующие: геометрические оси соединяемых стержней должны пересекаться в одной точке — центре узла; должна быть обеспечена возможность наложения швов, прочно прикрепляющих раскосы и стойки к поясам в удобном для производства сварочных работ положении; не должно быть лишних швов.

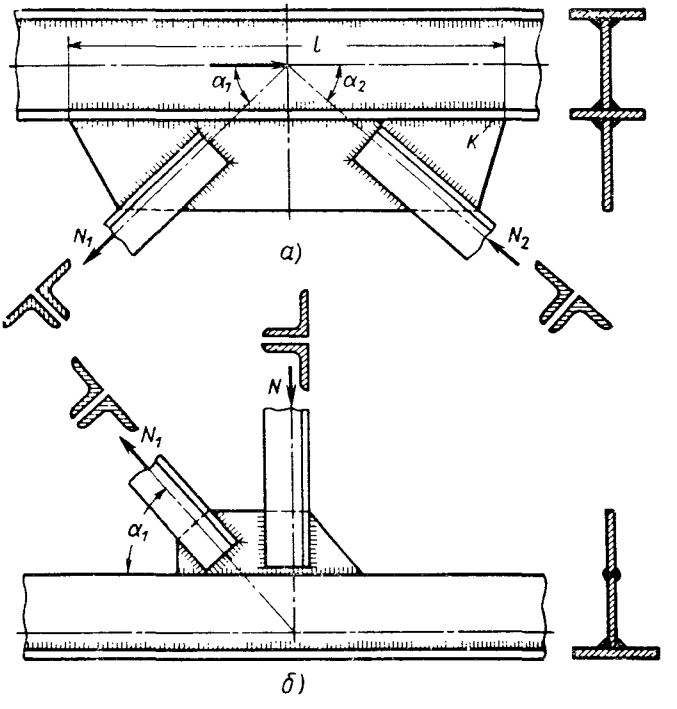


Рис. 27. Узлы с накладкой

Требуемая длина швов, прикрепляющих стержень в узле,

$$l = \frac{N}{0{,}7K\tau'}, \qquad (72)$$

где N — расчетная продольная сила стержня;

K — катет шва;

τ' — допускаемое напряжение в шве при срезе.

Если присоединяемый элемент является уголком, то сварные швы рассчитывают, как указано в гл. I.

При конструировании узлов нередко применяют косынки в форме накладок, вставок, прокладок, накладок.

Узлы без косынок наиболее просты. Их применяют, если могут быть соблюдены все правила рационального конструирования. На рис. 26, *а* дан пример узла без косынок со стержнями, имеющими поперечные сечения в форме тавра и парных уголков, на рис. 26, *б* — узел из трубчатых элементов.

Накладки приваривают к поясам втавр для обеспечения прочного прикрепления раскосов и стоек (рис. 27).

Приближенно расчет швов, прикрепляющих надставку, может быть произведен с учетом срезывающей силы

$$T = N_1 \cos\alpha_1 + N_2 \cos\alpha_2; \tag{73}$$

$$\tau = \frac{T}{2 \cdot 0{,}7kl}. \tag{74}$$

Узлы со вставками (рис. 28) применяют в фермах, работающих под переменными нагрузками. Вставку к вертикальным листам прикрепляют как прямыми, так и косыми стыковыми швами.

Узлы с прокладками используют, когда сечения стержней ферм состоят из парных элементов — уголков или швеллеров, расставленных с зазором, достаточным для того, чтобы поместить в узле прокладку (рис. 29).

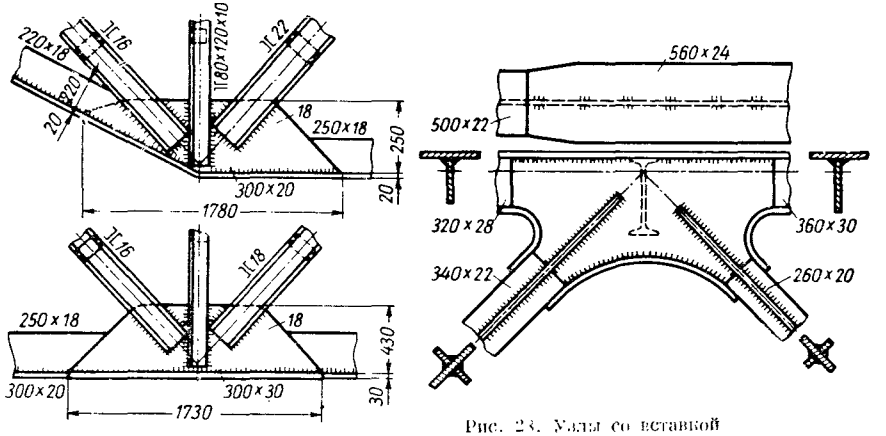


Рис. 28. Узлы со вставкой

Усилие, сдвигающее прокладку относительно пояса,

$$T = N_1 \cos\alpha_1 - N_2 \cos\alpha_2. \tag{75}$$

Распределение усилий между фланговыми швами неравномерное.

Усилие со стороны обушка $T_1 = 0{,}7T$, а с противоположной стороны $T_2 = 0{,}3T$.

Пример узла с накладкой приведен на рис. 30. Подобные узлы применяют главным образом в легких фермах.

Стыки поясов ферм разделяются на три вида: технологические, если отсутствуют элементы требуемой длины; конструктивные для изменения поперечного сечения пояса от панели к панели; монтажные, в зависимости от условий транспортировки.

Наиболее целесообразны соединения, сваренные встык прямыми и косыми швами, при работе элементов на растяжение и сжатие, а также при статических и динамических нагрузках (рис. 31, *а*, *б*).

На рис. 31, *в* приведен пример соединения встык с добавлением прокладки, на рис. 31, *г* — впавр через прокладку. Последняя из приведенных конструкций применяется в элементах, работающих на сжатие.

Узел верхнего пояса с элементами в форме гнутых профилей, сваренных контактной точечной сваркой, изображен на рис. 32, *а*, а нижнего — на рис. 32, *б*.

Для ферм, требующих предельного сокращения веса, например, для стрел подъемных кранов, сборно-разборных мостов, гидротехнических затворов и т. п., а также для объектов, работающих в условиях агрессивных сред, и некоторых

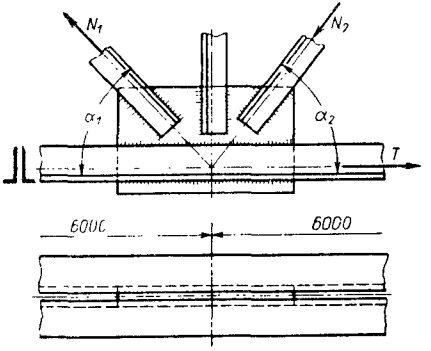


Рис. 29. Узел с прокладкой

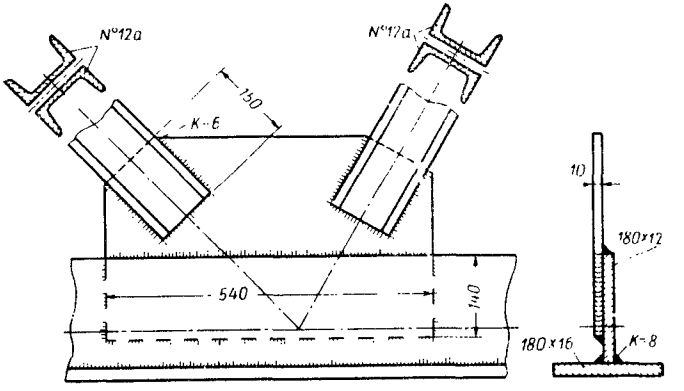


Рис. 30. Узел с накладкой

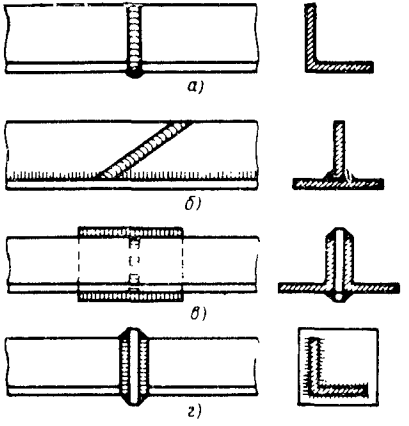
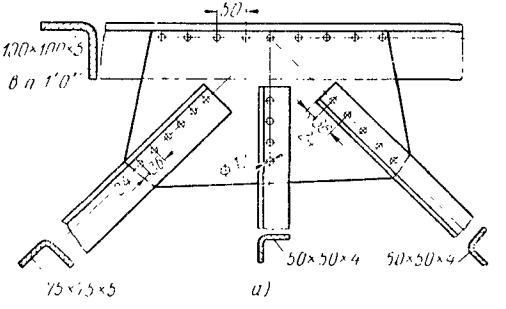


Рис. 31. Стыки поясов фермы



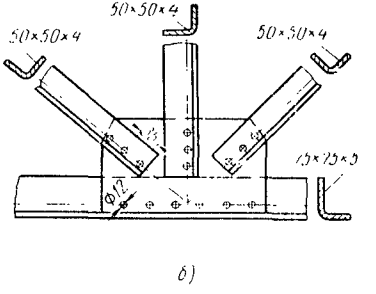


Рис. 32. Узел, сваренный точками

типов перекрытия фермы конструируются из алюминиевых сплавов. Недостатком алюминиевых ферм по сравнению со стальными является повышенная величина прогибов при нормальном использовании расчетных напряжений и малые значения коэффициентов φ при подборе сечений элементов, работающих на сжатие. Преимущество их заключается в хорошей сопротивляемости ударным нагрузкам вне зависимости от окружающей температуры.

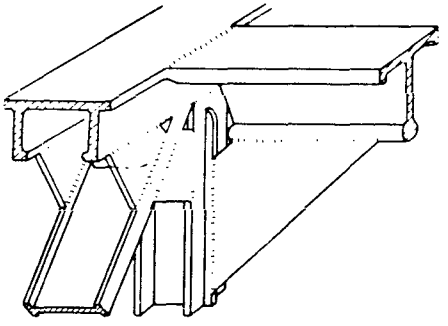


Рис. 33. Узел фермы из прессованных элементов из алюминиевых сплавов

При изготовлении ферм из алюминиевых сплавов применяют гнутые элементы, элементы, полученные прессованием, прокаткой, выдавливанием через профильные отверстия и другими способами.

Как правило, конструкции алюминиевых ферм сваривают аргонодуговой сваркой и под флюсом, реже контактной. Для обеспечения плотности соединений и улучшения антикоррозийных свойств иногда комбинируют сварку с клейкой. На рис. 33 приведен пример узла без косынок с широким использованием соединений встык и втавр. При проектировании алюминиевых ферм уделяют внимание выбору конструктивных форм при наименьших значениях концентраторов напряжений.

ЛИСТОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Форма резервуаров-хранилищ, как правило, бывает цилиндрической. Для их изготовления применяют сталь марок Ст. 2 и Ст. 3, а также низколегированные стали. Немаркированная сталь допускается лишь для неответственных резервуаров небольшой емкости.

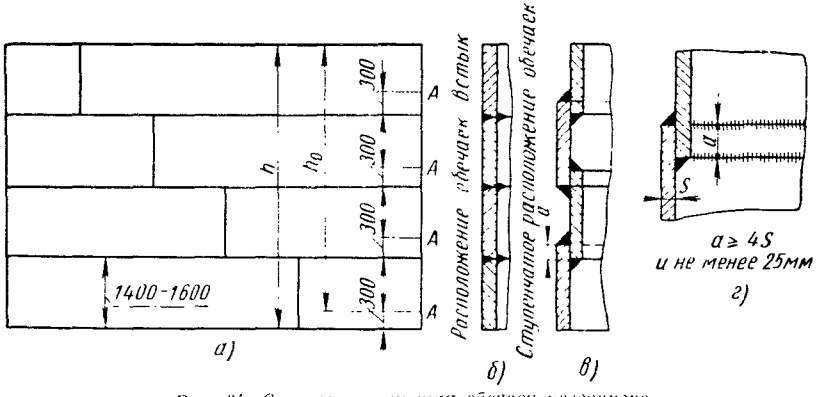


Рис. 34. Сварные соединения обечаек резервуара

Ширина поясов обечаек (рис. 34, *а*) зависит от ширины листов. Продольные (вдоль образующей) швы нередко сваривают встык; кольцевые — внахлестку и встык.

Резервуары хранилищ проектируют с учетом их изготовления методом рулонирования, который почти полностью вытеснил процесс полистовой сборки. Нижние пояса чаще сваривают встык, верхние — внахлестку. При рулониро-

вании используют листы толщиной до 14 *мм*. Применение низколегированных сталей расширяет возможности этого метода.

Расположение швов показано на рис. 34, *б* — *г*. Угловые швы, как правило, выполняют непрерывными. Толщина листов поясов определяется величиной давления.

Требуемую толщину листа пояса находят по формуле

$$s_{пр} = \frac{pR}{\sigma'_p}, \qquad (76)$$

где R — радиус цилиндра;

p — давление: $p = \gamma h$ (здесь γ - вес единицы объема жидкости; h - глубина рассматриваемого слоя относительно свободной поверхности). По соображениям рационального конструирования наименьшую толщину пояса в резервуарах принимают 4 *мм*;

σ'_p - допускаемое напряжение в сварном шве.

При проектировании резервуаров применяют метод расчета прочности по предельному состоянию. При этом допускаемое напряжение

$$\sigma'_p = R_p \frac{m}{n}, \qquad (77)$$

где R_p — расчетное сопротивление в сварном шве; в резервуарах из стали Ст. 3, сваренных при использовании физических методов контроля швов, $R_p = 21$ *кГ/мм*², а при визуальном методе контроля $R_p = 18$ *кГ/мм*²;

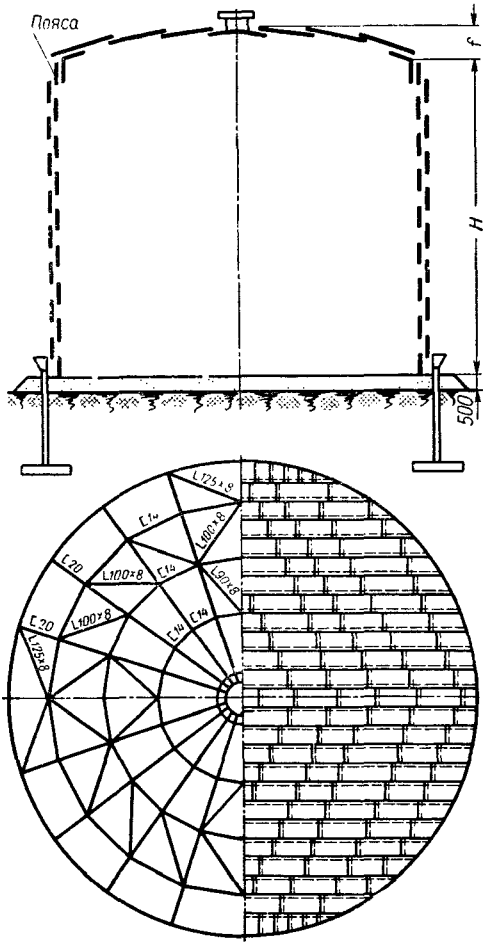


Рис. 35. Сварной резервуар емкостью 5000 *м*³

m - коэффициент условия работы, равный обычно 0,8;

n — коэффициент перегрузки, равный 1,1 для гидростатического давления жидкости; 1,2 для избыточного давления газов и вакуума; 1,4 для снеговой нагрузки.

Схема резервуара емкостью 5000 *м*³ изображена на рис. 35. Если напряжение в сечении, ослабленном отверстием (рис. 36, *а*),

$$\sigma = \frac{pR}{s}\left(\frac{h_n}{h_n - d}\right) \leqslant \sigma'_p, \qquad (78)$$

где $h_п$ — высота пояса;

d - диаметр отверстия,

то отверстие не опасно, так как в месте выреза расчетное напряжение σ меньше допускаемого σ_p.

Если напряжение в сечении, ослабленном отверстием, больше σ_p, то пояс в зоне выреза целесообразно усиливать (рис. 36, *б*), например кольцом.

Так как плоское днище резервуаров, установленных на песчаные и бетонные основания, не несет значительных рабочих усилий, то их толщину назначают 4–8 *мм* в зависимости от диаметра, без дополнительной проверки прочности.

Резервуары большого диаметра могут проектироваться с составными стенками в цилиндрической части, соединенными из двух и более тонких листов. Для повышения жесткости тонкостенных поясов в верхней малонагруженной части резервуаров предусматриваются зиги, направленные по кольцу и позволяющие использовать листы толщиной 3 *мм*.

В некоторых конструкциях вертикальных резервуаров, например в баках, устанавливаемых на водонапорных башнях, днища выполняются сферическими.

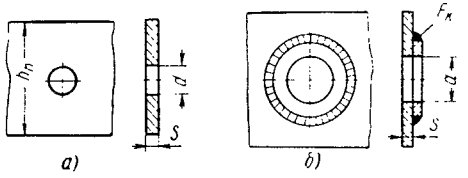


Рис. 36. Стенка, ослабленная отверстием d

Напряжения в сферических днищах определяются по формуле

$$\sigma = \frac{pR_0}{2s_0} \leqslant \sigma'_p. \qquad (79)$$

где p — давление в рассматриваемой точке днища;

s_0 — толщина днища;

R_0 — радиус сферической поверхности;

σ'_p — допускаемое напряжение в шве.

Для устранения напряжений сжатия значительной величины и напряжения изгиба применяют плавные сопряжения цилиндра с днищем. Эллиптические днища при некоторых формах очертаний позволяют избежать напряжений сжатия в зоне сопряжения с цилиндром или довести их до незначительной величины.

Расчет продольных швов труб от внутреннего давления производится по формуле

$$\sigma = \frac{pR}{s}. \qquad (80)$$

В кольцевых стыках труб от давления создается напряжение

$$\sigma_1 = \frac{pR}{2s}. \qquad (81)$$

При понижении внешней температуры относительно температуры в период монтажа и сварки в кольцевых стыках образуется напряжение

$$\sigma_2 = \alpha \Delta T E, \qquad (82)$$

где α - коэффициент температурного расширения металла;

ΔT - изменение температуры;

E — модуль упругости.

Если труба испытывает изгибающий момент от собственного веса и веса жидкости, то следует учитывать образование в кольцевых швах напряжений, определяемых по формуле

$$\sigma_3 = \frac{M}{W}, \qquad (83)$$

где M — изгибающий момент от собственного веса трубы и жидкости, наполняющей ее;

W — момент сопротивления сечения трубы.

Суммарное напряжение в кольцевых швах должно быть

$$\sigma_1 - \sigma_2 \leqslant \sigma_3 \leqslant [\sigma]_p. \tag{84}$$

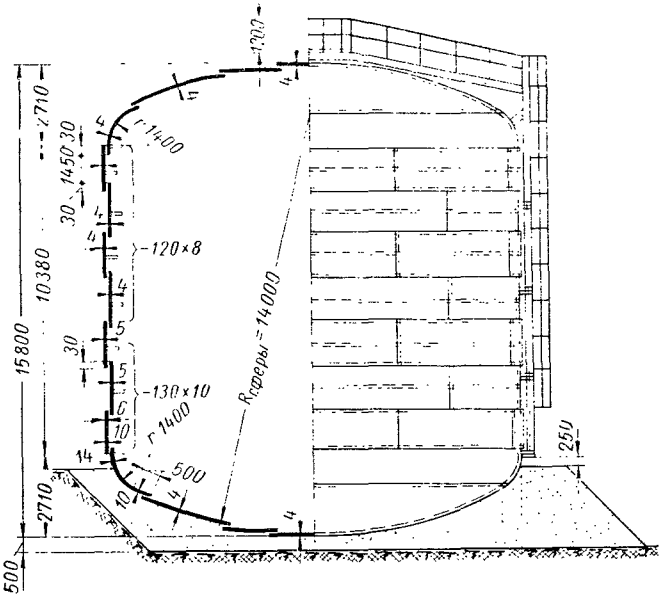


Рис. 37. Пример сварного резервуара со сферическим днищем $V = 2000$ м³

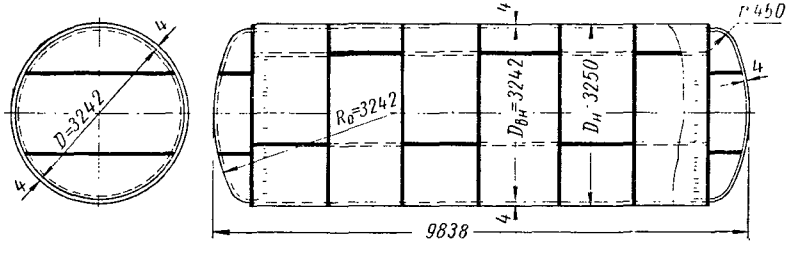


Рис. 38. Конструкция сварной горизонтальной цистерны

Стенки трубопроводов рассчитывают с учетом расчетного сопротивления, равного $0{,}85 \div 0{,}90\ \sigma_T$. Допускаемое напряжение при этом

$$[\sigma]_p = 0{,}9\sigma_T \frac{m}{n}, \tag{85}$$

m — коэффициент условий работы, равный 0,90; при проходе через препятствие $m = 0{,}75$;

n — коэффициент перегрузки; для газопроводов 1,20 и для нефтепроводов 1,15.

Для немагистральных линий целесообразны плоскосворачиваемые трубы. Толщина стенки такой трубы диаметром 150 *мм* составляет 2 *мм*, обычной — 6 *мм*; количество стыков на 1 *км* трубопровода соответственно 4—6 и 85—125.

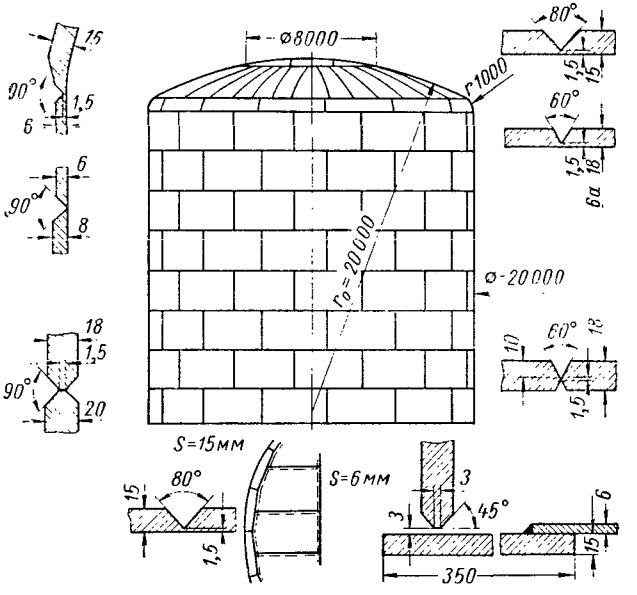


Рис. 39. Конструкция резервуара из алюминиевого сплава

На рис. 37 дан пример резервуара со сферическими днищами, на рис. 38 — горизонтальной цистерны с выпуклыми днищами. На рис. 39 изображен резервуар из алюминиевого сплава. Для уменьшения концентраторов напряжений широко применены соединения встык, а также в тавр с разделкой кромок.

СВАРНЫЕ ДЕТАЛИ МАШИН

В машиностроении производят сварными различные детали машин (рис. 40—44). При их проектировании необходимо руководствоваться следующим: широко применять легированные стали, в частности в термически обработанном состоянии; учитывать, что рабочие размеры элементов часто определяются не условиями прочности, а условиями жесткости, при этом рабочие напряжения принимают значительно ниже допускаемых; сварные изделия, изготовляемые и обрабатываемые по высшим классам точности, подвергать термической обработке (отпуску в термических печах) для устранения изменения размеров в процессе эксплуатации; для изделий, выпускаемых в значительном количестве, широко использовать высокопроизводительные методы сварки (контактную, автоматическую под флюсом, в среде защитных газов, для конструкций из толстостенных элементов — электрошлаковую, в особенности при толщине элементов свыше 40—50 *мм*).

Барабаны в большинстве случаев сваривают из листов. В некоторых изделиях основой их служит каркас из профильного материала. Барабаны соединяют с торцовыми стенками, представляющими собой плоские круглые листы, к которым приварена цапфа. В конструкциях на рис. 44, *а* барабан насажен на

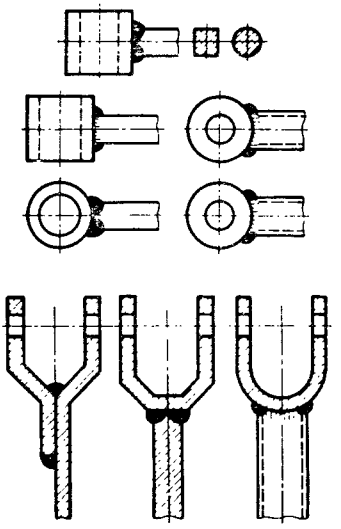


Рис. 40. Сварные штанги с проушинами

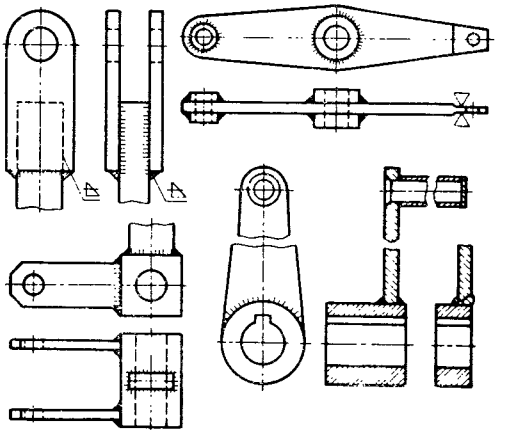


Рис. 41. Сварные тяги

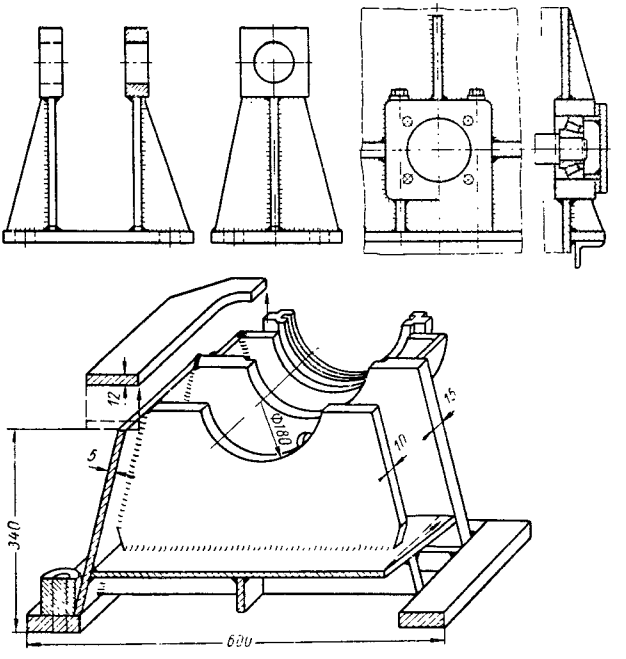


Рис. 42. Сварная подшипниковая опора

вал, не имеющий разрывов, на рис. 44, *б* — на валы с разрывом. Для барабанов малых диаметров используют трубы или отливки, для средних и больших диаметров корпусы барабана вальцуют из одного или нескольких листов.

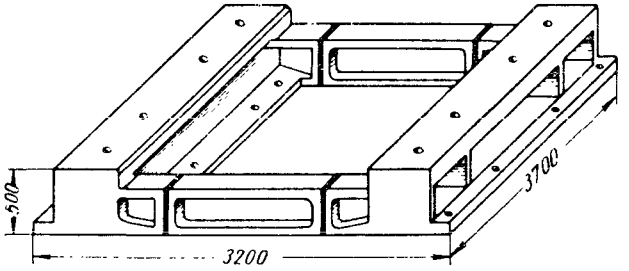


Рис. 43. Сварная плита

В барабане шахтного подъемника для удобства навивки на поверхности предусматривают канавки (рис. 45, *а*), соответствующие диаметру каната. Толщина листов барабана должна допускать их ослабление канавками.

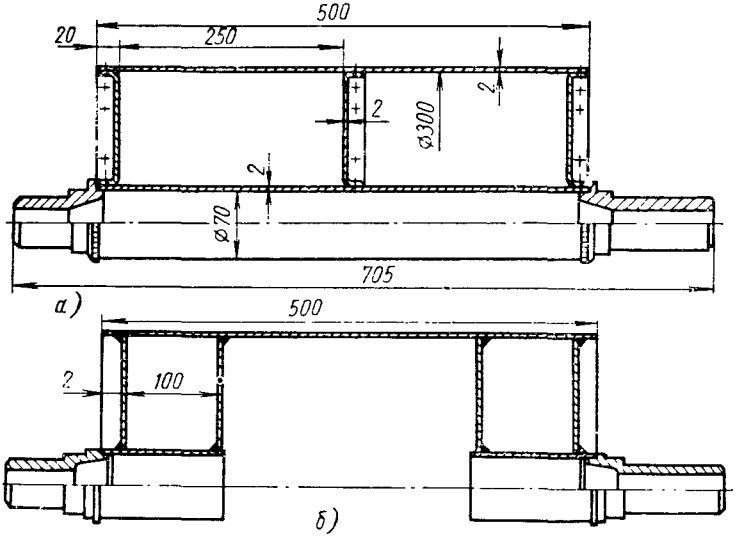


Рис. 44. Конструкции сварных барабанов

Барабаны рассчитывают на сжатие, изгиб и кручение.
Напряжение сжатия в ободе

$$\sigma = \frac{P}{ds}, \qquad (86)$$

d — ширина обода, равная диаметру каната;
s — толщина обода;
P — сила натяжения каната.

Критическая распределенная сила $q_{кр}$ (рис. 45, *б*), вызывающая потерю устойчивости барабана:

$$q_{кр} = \frac{3EJ}{R^3}; \tag{87}$$

$$J = \frac{ds^3}{12}, \tag{88}$$

где E — модуль упругости стали;

R — радиус барабана;

d — ширина обода, равная диаметру каната;

s — толщина обода.

Сила P в канате, допустимая в отношении устойчивости, при запасе, равном 2

$$P_{доп} = \frac{EdR}{8}\left(\frac{s}{R}\right)^3. \tag{89}$$

Торцовые стенки повышают устойчивость барабана, по сравнению со значением, полученным по формуле. Если $P > 0{,}5\,P_{кр}$, то барабан следует усилить

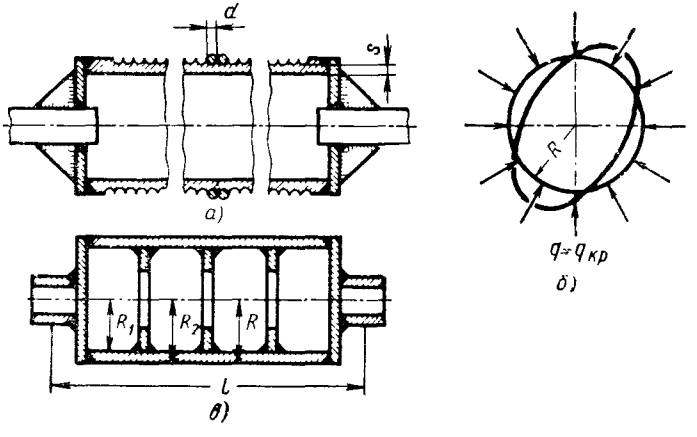


Рис. 45. К расчету сварного барабана

постановкой кольцевых элементов жесткости (рис. 45, *в*). Наибольший изгибающий момент, имеющий место в середине пролета барабана,

$$M = \frac{Pl}{4}, \tag{90}$$

где l — расстояние между опорами.

Напряжение от изгиба

$$\sigma = \frac{M}{W}. \tag{91}$$

Момент сопротивления барабана находится, как и в кольцевом сечении, по формуле

$$W = \frac{\pi}{4}(R_1^4 - R_2^4), \tag{92}$$

где R_1 и R_2 — внешний и внутренний радиусы.

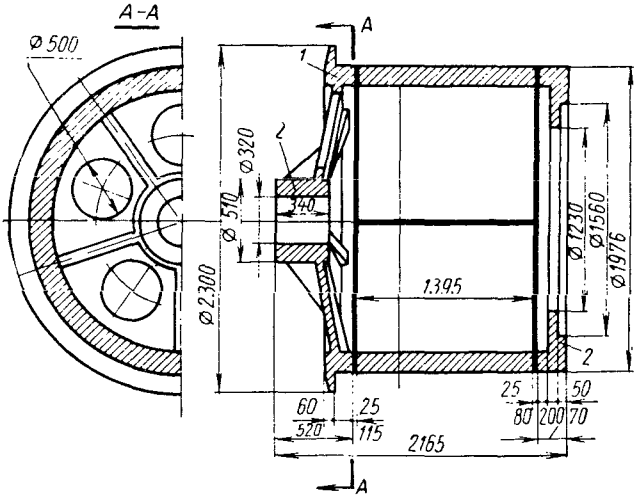


Рис. 46. Барабан лебедки

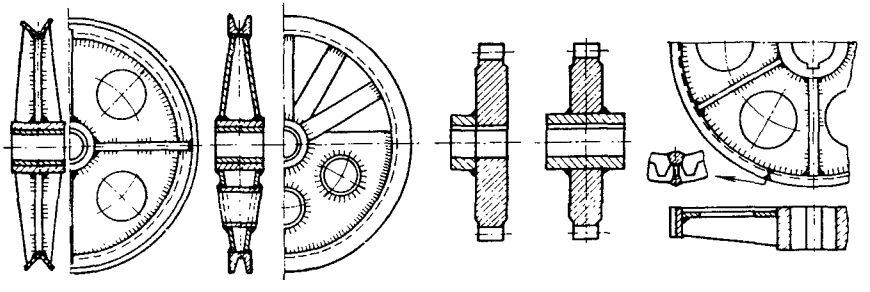


Рис. 47. Сварные шкивы и шестерни

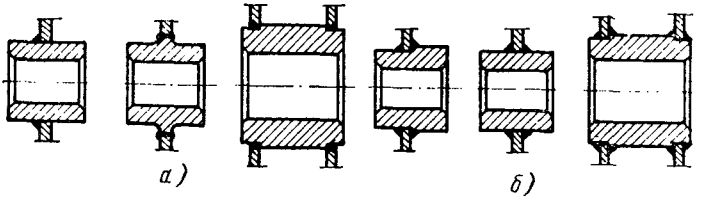


Рис. 48. Сварные соединения дисков со ступицами: *а* — швы с подготовкой кромок; *б* — без подготовки кромок

Если момент на вал передается с одной стороны, то

$$M_к = PR. \tag{93}$$

При этом напряжение от кручения

$$\tau_{кр} = \frac{M_к}{W_{кр}}, \tag{94}$$

где $W_{кр}$ — полярный момент сопротивления. Для полого вала

$$W_{кр} = \frac{\pi}{2}(R_1^4 - R_2^4). \tag{95}$$

В крупногабаритных барабанах целесообразно применение электрошлаковой сварки. На рис. 46 изображен сварной барабан из стали 22Г лебедки шагающего экскаватора. Ступица *1* барабана и фланец *2* отлиты из стали марки 25Л и перед механической обработкой подвергаются термической обработке. После выполнения сварочных работ весь барабан вторично подвергают термической обработке.

Примеры сварных шестерен и шкивов приведены на рис. 47. Внутренний диаметр ступицы обычно соответствует диаметру вала. В качестве спиц используются штампованные профили, трубчатые стержни, тавры, двутавры. Ободы шестерен часто вальцуют из толстостенных листов и сваривают встык электродуговой сваркой, на контактных машинах, в некоторых случаях вручную. Ободы изготовляют из сталей повышенного сорта ковкой или вальцовкой, а также из углеродистых сталей марок 35, 45 и т. д. Соединения дисков со ступицами с подготовкой и без подготовки кромок приведены на рис. 48. Сваривать их целесообразно дуговыми автоматами. Подготовка кромок особенно рациональна при работе конструкций под переменными нагрузками.

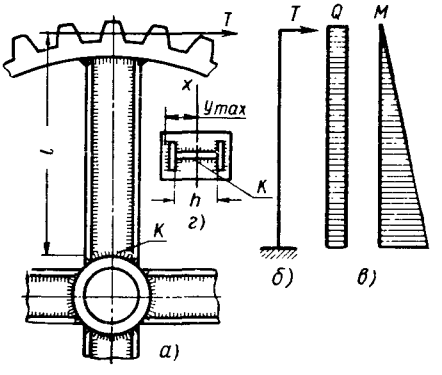


Рис. 49. К расчету сварных соединений шестерен: *а* — шестерня; *б*, *в* — эпюры Q и M по длине спицы; *г* — соединение спицы со ступицей

Центры шестерен и шкивов обычно выполняют двустенными для увеличения жесткости.

Термическую обработку шестерен в печи для снятия остаточных напряжений производят до механической обработки и нарезки зубьев. Шкивы и маховики после сварки, как правило, отпуску не подвергают.

Сварную шестерню рассчитывают на касательное усилие, приложенное к зубу зацепления. Если число спиц менее четырех, то считают, что усилие T воспринимается полностью одной спицей. Расчетными усилиями в спице являются: поперечная сила $Q = T$ и изгибающий момент $M = TR$ (рис. 49).

Напряжение от M

$$\sigma = \frac{M}{J} y_{max}, \tag{96}$$

J — момент инерции поперечного сечения спицы относительно оси x; y_{max} — максимальное расстояние; указано на рис. 49.

Касательные напряжения в швах спицы, соединяющих ее пояс со стенкой, определяют по формуле

$$\tau = \frac{QS}{J2 \cdot 0{,}7K}, \tag{97}$$

S — статический момент полки относительно центра тяжести сечения спицы.

В месте соединения спицы со ступицей следует определить напряжение в угловых швах от момента M:

$$\tau = \frac{M}{J_c}(y_{\max} + K), \tag{98}$$

J_c — момент инерции периметра шва относительно вертикальной оси x.

Напряжение от поперечной силы проверяют с учетом швов, приваривающих стенку профиля.

В конструкциях сварных шестерен с центрами вместо спиц (рис. 50) наиболее нагруженными являются швы, соединяющие центр со ступицей. Они воспринимают крутящий момент

$$M = TR. \tag{99}$$

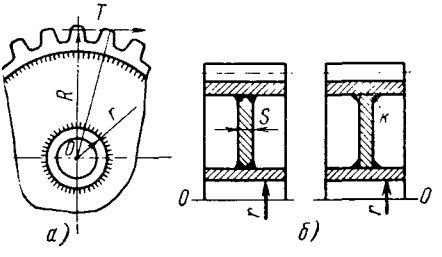


Рис. 50. К расчету сварных соединений центра со ступицей: *а* — с подготовкой кромок; *б* — без подготовки кромок

Напряжение в соединении ступицы с центром определяют, предполагая, что касательные напряжения распределены равномерно по длине шва. При этом напряжение в шве с подготовкой кромок находят по соотношению

$$\tau = \frac{M}{2\pi r^2 s}. \tag{100}$$

Напряжения в угловых швах

$$\tau = \frac{M}{4\pi r^2 \cdot 0{,}7K}. \tag{101}$$

При изготовлении различных крупногабаритных колес применяют конструкции, сваренные электрошлаковой сваркой (рис. 51). Ступицы сваривают из двух полуколец встык без подготовки кромок. Обод и ступицу после гибки и всю конструкцию после сборки и сварки перед окончательной механической обработкой подвергают также термической обработке.

Сварка валов из отдельных деталей позволяет удешевить технологию производства и обеспечить однородное и стабильное качество продукции, по сравнению со способом обработки их из целых поковок и отливок.

При изготовлении цилиндрических валов применяют электрошлаковую сварку (рис. 52), при помощи которой (соединения *Эш*) сваривают элементы *1*, *2* и *3*, представляющие собой поковки, подвергнутые термической обработке. После сварки вал снова подвергают термической обработке. Эффективны результаты при электрошлаковой сварке коленчатых валов (рис. 53). Чистый вес сварнокованых валов составляет 35—45% от веса кованых. Механические свойства соединений обеспечивают надежную работу сварно-кованолитых конструкций в эксплуатации под статическими и переменными нагрузками.

Корпусы редукторов, которые выполнялись литыми, изготовляют в большинстве случаев сварными, в особенности при индивидуальном и мелкосерийном производстве. Это дает значительный выигрыш в весе (табл. 4).

Корпус редуктора требует точного изготовления, поэтому после сварки его подвергают отпуску в термической печи. Механическая обработка производится после отпуска. Сварные редукторы изготовляют из прокатных элементов, гнутых и штампованных профилей.

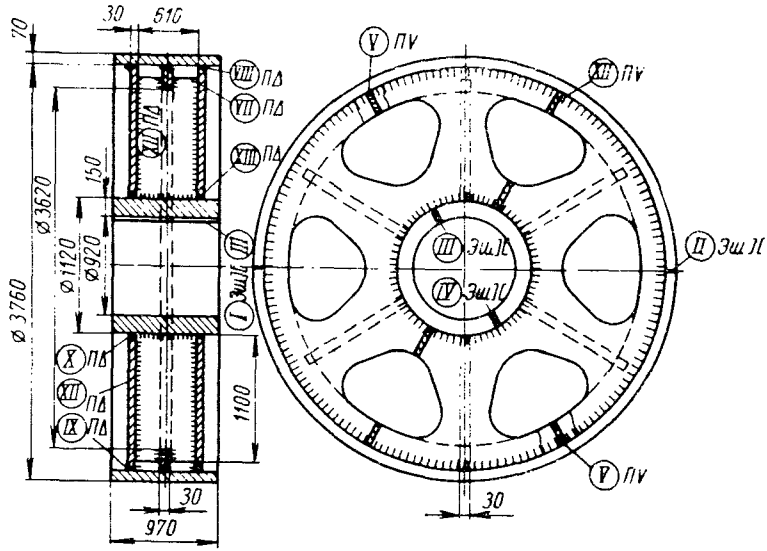


Рис. 51. Зубчатое колесо, сваренное электрошлаковым способом

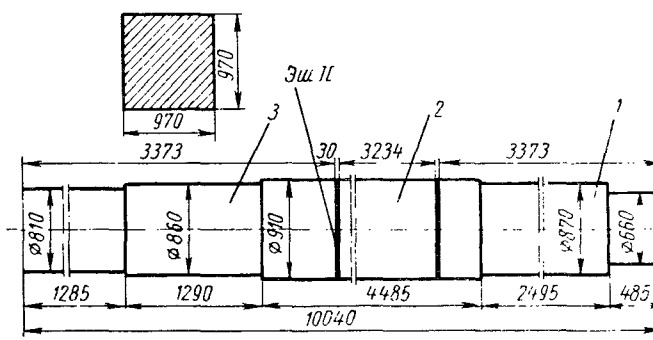


Рис. 52. Вал шахтной подъемной машины, сваренный электрошлаковым способом

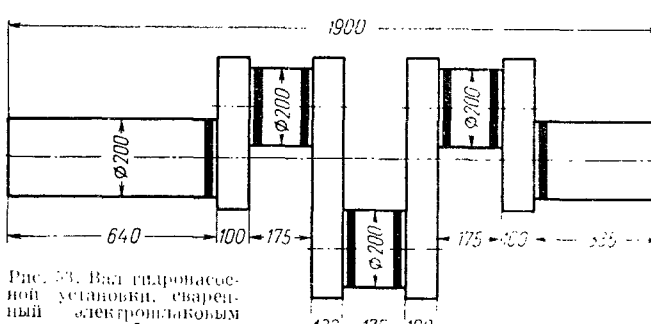


Рис. 53. Вал гидронасосной установки, сваренный электрошлаковым способом

4. Вес литых и сварных корпусов в *кГ*

Деталь редуктора	Литые	Сварные
Корпус	50,3	27,8
Корпусная крышка	22,2	11,2
Всего	72,5	39,0

РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ПАРОВЫХ КОТЛОВ НА ПРОЧНОСТЬ

Величины допускаемых напряжений $[\sigma]$ при расчете элементов паровых котлов принимают в зависимости от марки стали и расчетной температуры стенки (см. [8], а также «Прочность при высоких температурах» в главе III настоящего справочника). В нормах расчета элементов паровых котлов на прочность [8] вводится поправочный коэффициент φ к допускаемым напряжениям $[\sigma]$, который учитывает понижение прочности, вызванной сваркой или ослаблением стенок отверстиями. Кроме того, при вычислении допускаемых напряжений они могут быть понижены или повышены в зависимости от конструктивных и эксплуатационных особенностей рассчитываемой детали путем умножения их на коэффициент η [8].

Толщина стенки цилиндрической части барабана котла

$$s = \frac{pD_в}{2\varphi[\sigma] - p} + c \text{ мм}, \tag{102}$$

где p — расчетное давление в $кГ/см^2$;

$D_в$ — внутренний диаметр барабана в *мм*;

$[\sigma]$ — допускаемое напряжение в стенке в $кГ/см^2$;

c — прибавка к расчетной толщине стенки в *мм* (величина ее для отдельных случаев устанавливается нормами [8]).

Формула (102) пригодна для барабанов и камер, содержащих воду, пароводяную смесь или насыщенный пар, если

$$\frac{s - c}{D_в} \leqslant 0{,}28,$$

для камер, содержащих перегретый пар, если

$$\frac{s - c}{D_в} \leqslant 0{,}64.$$

При значительных (более 8 *м*) расстояниях между опорами барабана производится проверка на изгиб

$$\sigma_и = \frac{M_и}{W}. \tag{103}$$

При определении изгибающего момента $M_и$ барабан рассматривают как балку, свободно лежащую на опорах. В нагрузку входит вес барабана, воды и изоляции.

Величина $\sigma_и$, определенная по формуле (103), должна удовлетворять условию

$$\sigma_и \leqslant [\sigma]\sqrt{1{,}2 - \left(\frac{\sigma_{пр}}{[\sigma]}\right)^2}, \tag{104}$$

где $\sigma_{пр}$ — напряжение в стенке, вызываемое действием давления,

$$\sigma_{пр} = \frac{p\,[D_в + (s - c)]}{2\varphi\,(s - c)}. \tag{105}$$

Отверстия в барабанах ослабляют стенку. В простейшем случае коэффициент прочности барабана, ослабленного продольным рядом или полем отверстий d с одинаковым шагом t, определяют по формуле

$$\varphi = \frac{t - d}{t}. \tag{106}$$

Более сложные случаи определения φ приведены в нормах [8]. Предельно допустимый диаметр неукрепленного отверстия в барабане

$$d_{преб} = 1{,}2\left(\frac{4}{3\varphi_0} - 1\right)\sqrt{(D_в + s)(s - c)}, \tag{107}$$

если $\varphi_0 > 0{,}5$, или

$$d_{преб} = 2\left(\frac{1}{\varphi_0} - 1\right)\sqrt{(D_в + s)(s - c)}, \tag{108}$$

если $\varphi_0 \leq 0{,}5$,
где

$$\varphi_0 = \frac{p\,[D_в + (s - c)]}{2\,[\sigma]\,(s - c)}. \tag{109}$$

Если диаметр отверстия превышает наибольший допустимый диаметр неукрепленного отверстия, определенный по формулам (107) и (108), то толщина стенки барабана должна быть увеличена или отверстие должно быть укреплено при помощи приварных штуцеров, накладок или тех и других элементов одновременно.

Размеры укрепляющих элементов выбирают так, чтобы выполнялось условие

$$(f_ш + f_н + f_{св}) \geqslant (d - d_{преб})\,s, \tag{110}$$

где $f_ш$, $f_н$, $f_{св}$ — укрепляющие сечения штуцеров, накладок и наплавленного металла.

При укреплении отверстий до заданного значения коэффициента φ площадь сечения укрепляющих элементов должна быть

$$f_ш + f_н + f_{св} \geqslant \frac{\varphi - \varphi'}{\varphi\,(1 - \varphi')}\,sd, \tag{111}$$

где φ' — коэффициент прочности, определенный без учета укрепления.

Площадь укрепляющих сечений определяют по следующим формулам:

для участков штуцеров, испытывающих внутреннее давление (рис. 54, *а*),

$$f_ш = 2h_ш\,(s_ш - s_{0ш}), \tag{112}$$

где $s_{0ш}$ — расчетная толщина стенки штуцера, необходимая для восприятия внутреннего давления и других нагрузок в штуцере;

для участков штуцеров, вваренных с внутренней стороны барабана и разгруженных от давления (рис. 54, *б*),

$$f_ш = 2h_ш s_ш; \tag{113}$$

для накладок (рис. 54, *в*)

$$f_н = 2b_н s_н. \tag{114}$$

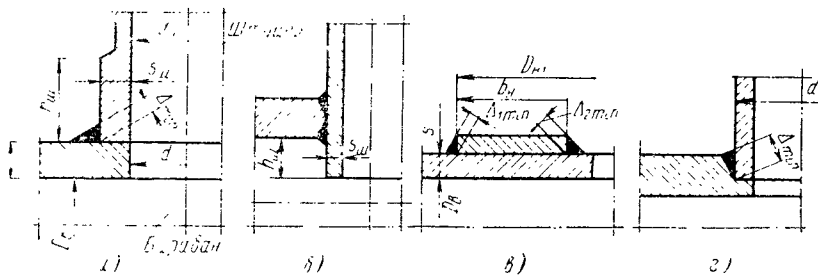


Рис. 54. Укрепление отверстия штуцерами и накладками

Расчетную высоту штуцера $h_ш$ (рис. 54, *а*, *б*) принимают равной размеру по чертежу, но не более вычисленной по следующим формулам:

$$h_ш = 1{,}41\sqrt{(d_н - s_ш)s_ш} \quad \text{при} \quad \frac{s_ш}{d_н} \leq 0{,}14; \tag{115}$$

$$h_ш = 2{,}5s_ш \quad \text{при} \quad \frac{s_ш}{d_н} > 0{,}14. \tag{116}$$

Вводимый в расчет размер $b_н$ ширины накладки (рис. 54, *в*) принимается равным размеру по чертежу, но не более

$$b_н = 1{,}41\sqrt{(D_в + s)(s - c)}. \tag{117}$$

Минимальные размеры сечения сварных швов, соединяющих приварные штуцеры или накладки с барабаном, должны удовлетворять следующим условиям:

для штуцеров (рис. 54, *а*, *г*)

$$A_{ш\min} \geq 2{,}1\frac{h_ш s_ш}{d_н}, \tag{118}$$

где $h_ш$ по формулам (115) или (116);

для накладок (рис. 54, *в*)

$$A_{1\min} = \frac{D_{в1} - 2s_н}{D_{в1}} \cdot A_{2\min} \geq \frac{2{,}1b_н s_н}{D_{в1}}. \tag{119}$$

Номинальная толщина стенки выпуклого глухого днища эллиптической или сферической формы должна быть не менее определенной по формуле

$$s = \frac{pD_в}{4[\sigma] - p} \cdot \frac{D_в}{2h_в} + c, \tag{120}$$

где $h_в$ — высота выпуклой части днища.

Толщина плоского круглого днища без отверстий или имеющего одно центральное неукрепленное отверстие (рис. 55, *а*) должна быть не менее определенной по формуле

$$s = KD_в\sqrt{\frac{p}{[\sigma]}}, \tag{121}$$

Для днищ на рис. 55, *б* вместо $D_в$ в формулу (121) подставляют величину $(D_в - r_в)$. Для днищ на рис. 55, *а*, *в*

$$K = 0{,}41\left(1 - 0{,}23\frac{s'}{s_1}\right), \tag{122}$$

но не менее 0,31.

Для днищ на рис. 55, *б*, *г*, *д*, $K = 0{,}41$.

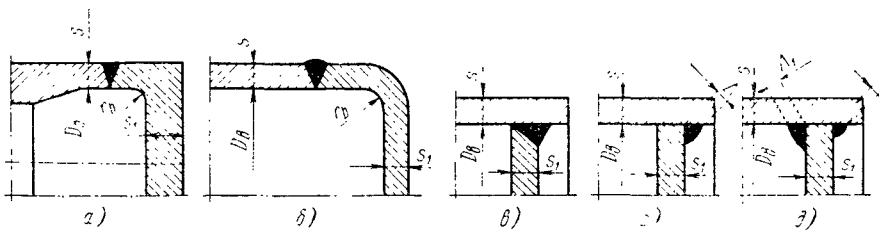


Рис. 55. Примеры различных днищ

Коэффициент K_0 принимают для днища без отверстия $K_0 = 1{,}0$, для днища с отверстием

$$\left.\begin{aligned} K_0 &= 1 - 0{,}43\frac{d}{D_в} \text{ при } \frac{d}{D_в} \leq 0{,}35; \\ K_0 &= 0{,}85 \text{ при } 0{,}35 < \frac{d}{D_в} \leq 0{,}75. \end{aligned}\right\} \tag{123}$$

Сечения швов для $s_1 > s$ (рис. 55, *г*) $\Lambda_1 = \Lambda_2 = s$; для случая $s_1 > s$ (рис. 55, *а*)

$$\Lambda_1 + \Lambda_2 = 1{,}2s. \tag{124}$$

Толщину стенок бесшовных труб котельных установок, находящихся под внутренним давлением, определяют по формуле

$$s = \frac{pD_н}{2[\sigma] + p} + c. \tag{125}$$

Для труб с продольным сварным швом

$$s = \frac{pD_н}{2[\sigma]\varphi + p} + c, \tag{126}$$

Формулы (125) и (126) справедливы, если

$$\frac{s - c}{D_н} \leq 0{,}25. \tag{127}$$

При наличии изгиба труб дополнительное изгибное напряжение находят по формуле

$$\sigma_и = \frac{M_и}{q_и W}. \tag{128}$$

Коэффициенты $q_и$, учитывающие прочность поперечных сварных соединений труб при изгибе, приведены в гл. III.

ЛИТЕРАТУРА К ГЛАВАМ I и II

1. Бодьшаков К. П. и др. Труды ЦНИИС Минтранстроя. Вып. 20. Трансжелдориздат, 1956.
2. Гохберг М. М. Металлические конструкции кранов, М., Машгиз, 1959.
3. Мельников Н. П., Зелитров В. Н. Выбор сталей для строительных металлоконструкций. М., Стройиздат, 1967.
4. Навроцкий Д. И. Расчет сварных соединений с учетом концентрации напряжений. М., «Машиностроение», 1968.
5. Николаев Г. А. Сварные конструкции. М. Машгиз. 1962.
6. Николаев Г. А. Прочность сварных соединений и расчет сварных конструкций. М., «Высшая школа», 1965.
7. Николаев Г. А., Ольшанский Н. А. Новые методы сварки. М., «Машиностроение», 1966.
8. Нормы расчета элементов паровых котлов на прочность. ЦКТИ, Руководящие указания. Вып. II. Л., 1965.
9. Строительные нормы и правила «Стальные конструкции», нормы проектирования, 1963.
10. Строительные нормы и правила «Алюминиевые конструкции», нормы проектирования. М., 1965.
11. Технические условия проектирования железнодорожных, автодорожных и городских мостов и труб (СН200-62), (раздел IV Стальные конструкции). 1962.
12. Технические условия на проектирование мостовых электрических кранов, ВНИИПТМАШ, 1960.

Г.7.1В.1 III

ПРОЧНОСТЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ОСОБЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

ПРОЧНОСТЬ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Свойства основного металла

Свойства металлов при низких или высоких температурах в большинстве случаев принято сопоставлять со свойствами их при комнатных температурах (15—25° С), которые обычно рассматриваются как основные. Для металлов характерны следующие особенности изменения механических свойств при понижении температуры: предел текучести, твердость, а также предел прочности и предел выносливости гладких образцов возрастают. Пластичность и ударная вязкость, как правило, уменьшаются [12].

При понижении температуры свойства у различных металлов изменяются различно в зависимости от строения кристаллической решетки. Для коррозионностойких сталей и алюминиевых сплавов характерно относительно небольшое изменение пластичности при понижении температуры (рис. 1). Они сохраняют способность вязко разрушаться в широком интервале низких температур. Указанные металлы находят применение в специальных конструкциях, предназначенных для работы в криогенной технике. Методы испытания металлов на растяжение при пониженных температурах регламентированы ГОСТом 11150—65.

Низкоуглеродистые и низколегированные стали различным образом изменяют свои свойства при понижении температуры в зависимости от предела текучести при температуре 20° С. Например, у низкоуглеродистой стали с $\sigma_т = 17$ *кГ/мм*^{2} при 20° С при снижении температуры до —196° С предел текучести увеличивается в 3—4 раза, у высокопрочных сталей ($\sigma_т = 140 \div 180$ *кГ/мм*^{2}) при таком же снижении температуры он возрастает всего на 10—20%. Однако наиболее существенным свойством низкоуглеродистых и низколегированных сталей перлитного класса является резкое уменьшение ударной вязкости в определенном интервале температур, который называется критическим температурным интервалом хрупкости. При этом происходит переход от вязкого (волокнистого) излома к хрупкому (кристаллическому) с низким значением поглощаемой энергии разрушения. Чем выше критическая температура хрупкости, тем менее пригоден металл для эксплуатации при низких температурах. Из низкоуглеродистых и низколегированных сталей, как наиболее дешевых, изготовляют большинство сварных конструкций, предназначенных для работы в условиях атмосферных низких температур (до —60° С). Ниже дана краткая характеристика свойств этих сталей.

Наиболее существенными характеристиками свойств металлов при низких температурах являются те, которые выявляют способность металлов сопротивляться хрупким разрушениям. Из стандартных методов испытаний этому требованию отвечают испытание на ударный изгиб (ударную вязкость), ГОСТ 9454—60, и испытание металлов на механическое старение, ГОСТ 7268—67. При

испытании на ударный изгиб определяют суммарную работу, затрачиваемую на изгиб образца до появления трещины и на распространение трещины по сечению образца. Величина ударной вязкости $a_н$ включает в себя две составляющие

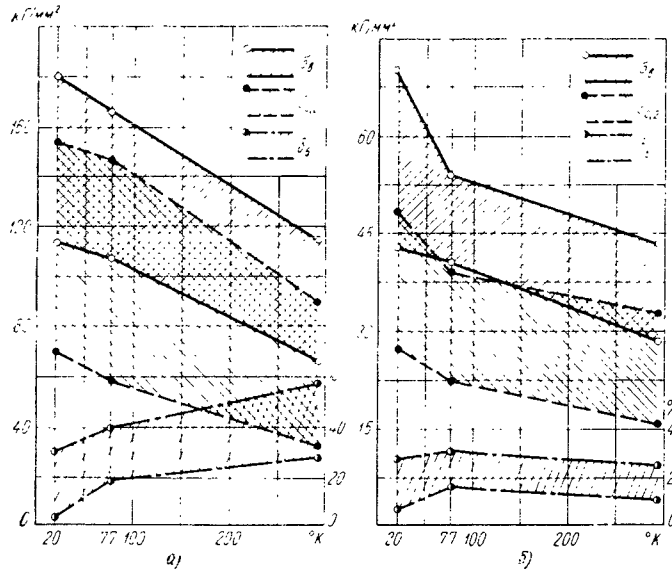


Рис. 1. Прочность и пластичность коррозионно-стойких сталей (*а*) и алюминиевых сплавов (*б*) при низких температурах [12]

работы: $a_з$ характеризует способность материала сопротивляться зарождению разрушения при конкретном надрезе и скорости приложения нагрузки и $a_р$ характеризует способность металла сопротивляться распространению трещины.

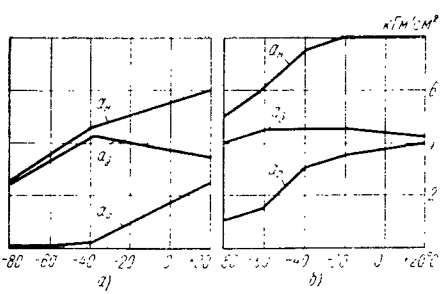


Рис. 2. Зависимость $a_н$, $a_р$, $a_з$ от температуры для стали 09Г2С: *а* — в горячекатаном состоянии; *б* — после закалки с отпуском при $T = 600$ °С [13]

На рис. 2 показана типичная зависимость ударной вязкости $a_н$ и ее составляющих $a_з$ и $a_р$ от температуры для стали 09Г2С. Существует несколько способов, позволяющих раздельно определять величины $a_з$ и $a_р$ [8]. Существует также значительное количество других нестандартных методов испытания металлов при низких температурах, которые условно могут быть разделены на две основные группы:

1. Методы, в которых определяется способность металла сопротивляться началу разрушения при наличии концентраторов напряжений [4]. В этих методах регистрируется либо разрушающая нагрузка, либо деформация металла, либо затрачиваемая работа к моменту наступления разрушения. Образцы испытываются на растяжение и на изгиб, имеют разные по остроте концентраторы, нагрузка может прикладываться статически или ударно. Предпочтение следует

отдавать методам, в которых регистрируется полная упруго-пластическая деформация металла в опасном сечении, достигаемая к моменту наступления разрушения.

2. Методы, в которых свойства металла оценивают в процессе движения трещины. Инициирование развития трещины может создаваться различными способами: из хрупкого слоя, от надреза, от трещины усталости и т. п. Регистрируют либо работу, затрачиваемую на разрушение единицы поверхности металла, либо скорость движения трещины, либо напряжение и температуру, при которых движение трещины прекращается, либо степень волокнистости излома

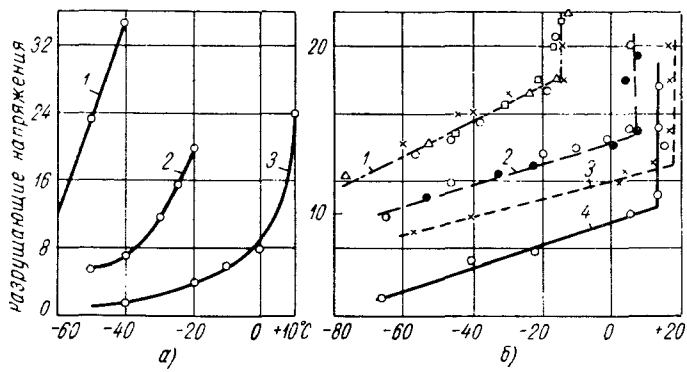


Рис. 3. Влияние температуры на величину минимальных разрушающих напряжений при распространении трещин [3]: *а* — данные НЭС: *1* — сталь 15ХСНД; *2* — сталь М16С; *3* — сталь БСт.3; *б* — данные МИИ им. Губкина: *1* — сталь МСт.3 улучшенного раскисления и низколегированная марганцовистая; *2* — сталь МСт.3 спокойная; *3* — сталь МСт.3кп; *4* — сталь БСт.3

[3]. Предпочтение среди этих методов следует отдавать тем, в которых регистрируется энергия, затрачиваемая на разрушение металла в процессе движения трещины.

Имеются методы, в которых одновременно определяются характеристики металла как на стадии зарождения трещины, так и в процессе ее движения.

Особую группу составляют методы оценки сопротивления отрыву [4], которые для технических целей имеют меньшее значение, так как они не характеризуют склонность металла к локализации пластических деформаций, играющих важную роль при эксплуатации изделий в условиях низких температур.

Испытание на склонность металлов к старению (ГОСТ 7268—67) выявляет их способность изменять свои характеристики при ударном изгибе под влиянием пластической деформации в сочетании с нагревом до $T = 250°$ С. Такие условия часто возникают при выполнении различных технологических операций, в особенности при сварке.

Наибольшее распространение при оценке свойств сталей при низких температурах получило испытание на ударный изгиб образцов, имеющих стандартные и нестандартные надрезы с определением величины ударной вязкости, порога хладноломкости и степени волокнистости излома [21]. В ряде случаев указанные характеристики не являются исчерпывающими и для оценки качества металла привлекаются дополнительные методы испытаний и другие критерии.

Свойства сталей с понижением температуры изменяются различно в зависимости от их химического состава, способа производства, степени раскисленности, термической обработки и толщины проката. Низкоуглеродистые стали по сравнению с низколегированными, как правило, имеют более высокую

критическую температуру хрупкости. Кипящие низкоуглеродистые стали уступают по хладостойкости полуспокойным и спокойным сталям, более склонны к деформационному старению.

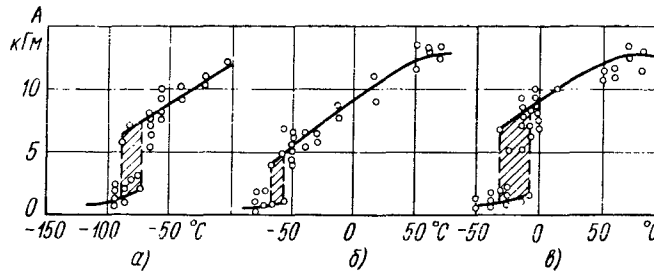


Рис. 4. Переход из вязкого состояния в хрупкое стали 25 [21]: *а* — после нормализации от 850° С с последующим отпуском при 600° С; *б* — отожженной при 950° С; *в* — отожженной при 1200° С

На рис. 3 в качестве примера показано влияние температуры на величину минимальных разрушающих напряжений при распространении трещин в различных сталях.

Значительной хладостойкостью обладают стали в закаленном высокоотпущенном состоянии, хладостойкость понижена у горячекатаных и отожженных сталей (рис. 4 и 5). С ростом зерна у одной и той же стали критическая температура хрупкости повышается. С увеличением толщины

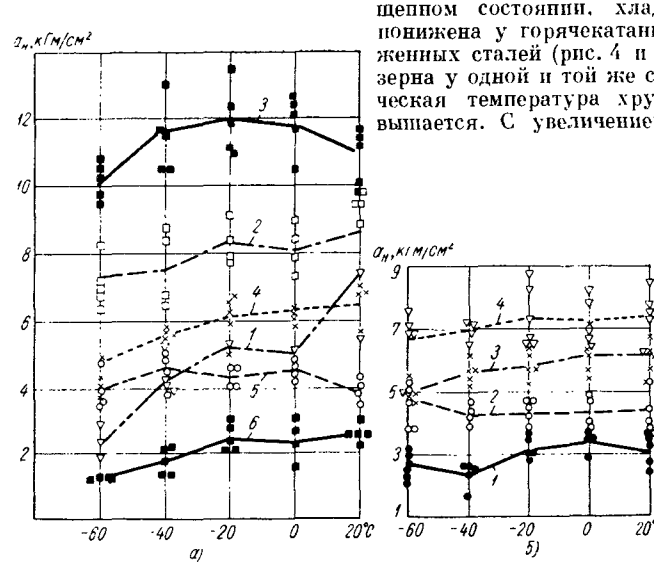


Рис. 5. Влияние термической обработки на ударную вязкость низколегированных сталей при различных температурах [27]: *а* — сталь 14Г2; *1* — горячекатаная; *2* — после нормализации; *3* — закалка + отпуск 650° С; *4* — закалка + отпуск 600° С; *5* — закалка + отпуск 500° С; *6* — закалка + отпуск 400° С; *б* — сталь 15ХСНД после закалки и различной температуры отпуска *1* — 400° С; *2* — 500° С *3* — 600 С; *4* — 650° С.

проката склонность к хладноломкости низкоуглеродистой стали повышается (рис. 6). Предварительное циклическое нагружение вызывает усталость в сталях и повышает критическую температуру хрупкости [22, 26], при этом величина ударной вязкости при низких температурах снижается.

Имеются различные методики для выбора сталей, используемых при атмосферных низких температурах. Они разработаны с учетом характера действующих нагрузок, степени ответственности конструкции и отдельных ее элементов, толщины металла, температурных условий эксплуатации и других признаков. Установившихся рекомендаций по выбору сталей пока не имеется. В табл. 1 приведен пример таких рекомендаций [27], согласно которым строительные стали разделены по склонности к хладноломкости на семь классов. Имеются аналогичные классификации, разрабатываемые ИЭС им. Патона и Комитетом стандартов при СМ СССР в проекте ГОСТа «Общие технические требования к машинам, приборам и оборудованию, предназначенным для эксплуатации в условиях низких температур (северное исполнение)».

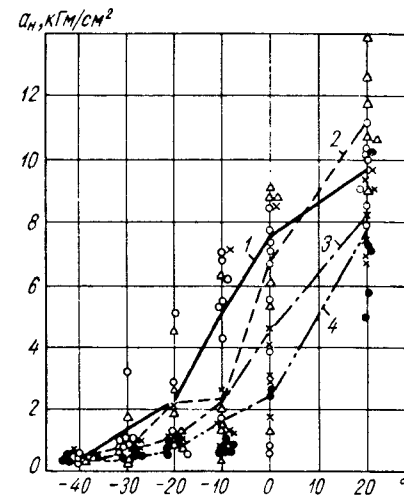


Рис. 6. Зависимость ударной вязкости низкоуглеродистой стали от температуры и толщины металла [27]: *1* — толщина проката 12 мм; *2* — 20 мм; *3* — 30 мм; *4* — 40 мм

Свойства сварных соединений и конструкций

Современные способы сварки и применяемые сварочные материалы обеспечивают получение наплавленного металла, не уступающего по хладостойкости основному металлу аналогичного химического состава, а в ряде случаев даже превосходящего по своим свойствам основной металл. Однако имеется ряд факторов при сварке, таких как условия производства сварочных работ, качество сварочных материалов, защита расплавленного металла, термомеханическое воздействие сварки на металл, геометрическая форма соединений и другие, недостаточное внимание к которым может привести к резкому ухудшению свойств металла и снижению хладостойкости сварных конструкций. Практически все случаи хрупких разрушений сварных соединений и конструкций, имевших место при низких температурах, связаны либо с низким качеством исходного основного металла, либо с нарушением правил технологии производства сварных конструкций и конструктивного оформления сварных узлов.

Следует различать влияние низкой температуры, при которой производится сварка, на свойства металла сварных соединений и влияние низкой температуры как фактора, при котором осуществляется эксплуатация сварной конструкции. Исследования [20] соединений, сваренных при температурах от -50 до $-50°$ С, показали, что прочность, пластичность и ударная вязкость металла шва и околошовной зоны в низкоуглеродистых и низколегированных конструкционных сталях изменяются в незначительных пределах и практически не могут отразиться на свойствах сварных соединений. Наблюдается тенденция к снижению пластичности и повышению прочности металла в случае сварки при низких температурах, однако эти изменения невелики.

1. Классификация свариваемой строительной стали по склонности к хладноломкости

Класс стали	Минимальная температура в °С: Условия работы[1] особо тяжелые	тяжелые	Конструкции статически нагруженные	вспомогательные и слабо нагруженные	Толщина проката в мм	Рекомендуемая сталь и состояние поставки проката	Температурный интервал перехода в хрупкое состояние в °С	Технические условия
X1	—	—	-40	-30	≤40	ВСт. 3кп, горячекатаная	(−10)–(−20)	ГОСТ 380-60
						ВКСт. 3кп, горячекатаная		ГОСТ 380-60
X2	--	-30	40	-50	≤40	ВСт. 3пс, горячекатаная	(0) –(−30)	ГОСТ 380-60
X3	-30	-40	-50	Без ограничения	21–40	ВКСт. 3пс, горячекатаная	(−20) -(−40)	ГОСТ 380-60
X4	-40	-40	-60	-60	≤20	ВСт. 3 и горячекатаная		ГОСТ 380-60
					≤40	ТСт. 3, термообработанная	(−30)–(−40)	ГОСТ 9454-60
						15ГС, горячекатаная		ГОСТ 5058-60 ЧМТУ ЦНИИЧМ 296-60
						14Г2, горячекатаная		ЧМТУ ЦНИИЧМ 54-58
X5	-50	-50	-70	Без ограничения	≤32	15ХСНД, горячекатаная		ГОСТ 5058-57
					≤32	09Г2, горячекатаная	(−50)–(−60)	ГОСТ 5058-57
					≤30	10Г2С, горячекатаная		ЧМТУ ЦНИИЧМ 435-61
X6	-60	-60	-70	То же	≤32	14Г2, термообработанная	Ниже −60	—
						15ГС, термообработанная		
					≤30	15ХСНД, термообработанная		ЧМТУ ЦНИИЧМ 864-64
X7	70	70	80	»	≤40	09Г2, термообработанная		
						10Г2С, термообработанная	Ниже -70	ЧМТУ ЦНИИЧМ 554-61
						10ХСНД, термообработанная		ГОСТ 5058-57

[1] Особо тяжелые условия: непосредственное воздействие динамических нагрузок.
Тяжелые условия: непосредственное воздействие динамических нагрузок или ответственные статически нагруженные конструкции.

Влияние сварки на свойства сварных соединений, эксплуатируемых при низких температурах, многообразно, может изменяться в широких пределах и поэтому в большинстве случаев не поддается конкретному количественному выражению. Механические свойства металла сварных соединений определяют по ГОСТу 6996—66. Сварка уменьшает упруго пластическую деформацию металла сварных соединений, предшествующую его разрушению, а также сопротивляемость распространению трещин, что обнаруживается в понижении энергии разрушения (рис. 7). Характерным является также то, что изменения свойств носят местный, локальный характер.

Распространенными случаями отрицательного влияния сварки являются следующие:

1. Образование хрупких зон в сварных швах под влиянием изменения химического состава металла шва по сравнению с основным металлом за счет

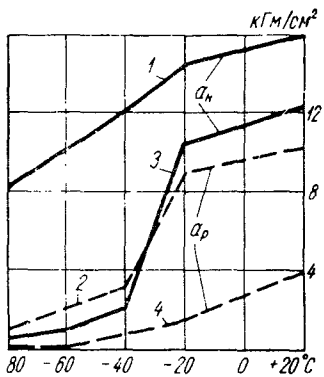


Рис. 7. Ударная вязкость $a_н$ и удельная работа распространения трещины $a_р$ стали 17ГС [113]: *1* и *2* — основной металл; *3* и *4* — околошовная зона

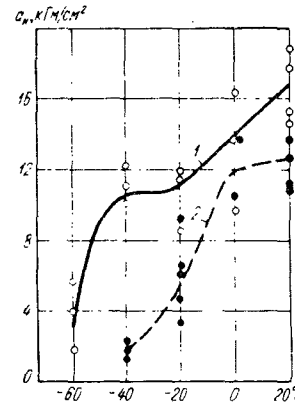


Рис. 8. Зависимость ударной вязкости от температуры испытаний стали 25ГС (поковка) в электрошлаковом сварном соединении: *1* — основной металл; *2* — зона крупного зерна

нерационального легирования или загрязнения металла вредными примесями и газами.

2. Образование хрупких при низких температурах околошовных зон за счет термического влияния сварки — быстрого охлаждения, роста зерна, структурных изменений (рис. 8). Степень этого влияния зависит решающим образом от химического состава основного металла, способа его производства и исходного состояния. Например, на хладноломкость металла в зоне крупного зерна электрошлаковых соединений главное влияние оказывают степень раскисленности, содержание фосфора и серы, предварительная обработка (поковка, литье); на хладноломкость околошовных зон термоупрочненных катаных сталей при электродуговой сварке — величина погонной энергии сварки.

3. Концентрация пластических деформаций и деформационное старение металла в зонах непроваров, резкого изменения формы соединений, трещинах и т. п., находящихся в пределах зоны термического влияния сварки. Данный случай является наиболее распространенной причиной хрупких разрушений сварных соединений при низких температурах и многократно воспроизводился в лабораторных условиях многими исследователями, что нашло отражение в литературе [2, 5]. За счет роста концентрации деформаций и эффекта старения можно вызвать практически любое снижение

прочности сталей при низких температурах. Деформационное старение усиливается, если оно происходит в зоне крупного зерна.

По количеству хрупких разрушений, зарегистрированных в сварных конструкциях при низких температурах, на первом месте находятся разрушения, возникшие от концентраторов, расположенных в зоне сварки, где протекали значительные пластические деформации, возникали остаточные растягивающие напряжения и происходило старение металла. Значительная часть хрупких разрушений была вызвана усталостными трещинами, явившимися результатом неудовлетворительного конструктивного оформления соединений, в сочетании

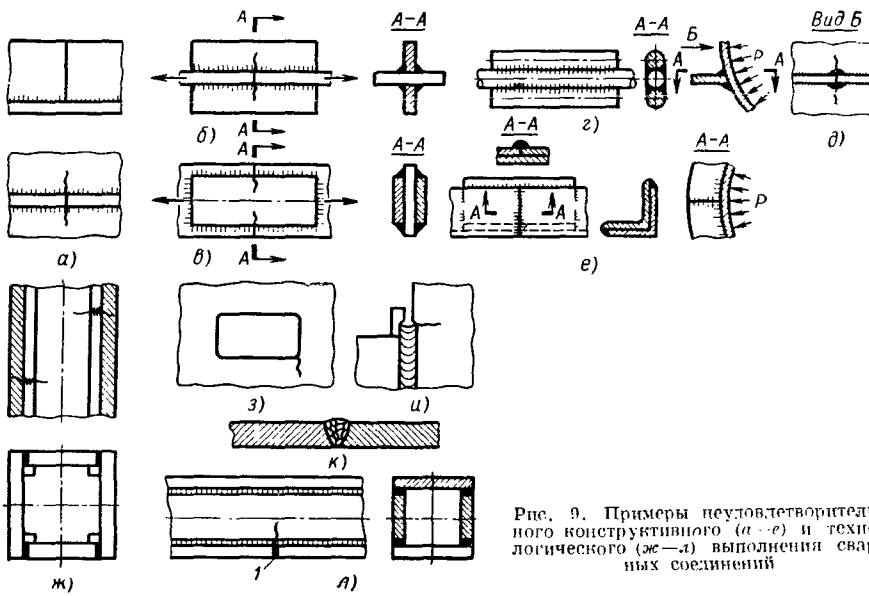


Рис. 9. Примеры неудовлетворительного конструктивного (*а*—*е*) и технологического (*ж*—*л*) выполнения сварных соединений

с низкой сопротивляемостью основного металла распространению хрупких разрушений. Некоторая часть разрушений зарегистрирована как возникшая от участков металла с низкими пластическими свойствами по причине загрязнения металла и плохой защиты его в нагретом состоянии.

В статически нагруженных объектах разрушения возникали преимущественно при резком понижении температуры, когда вследствие неодновременного охлаждения конструкции возникали дополнительные напряжения [3].

Распространение разрушений за пределы зон пластических деформаций, где влияние сварки практически отсутствовало, происходило обычно вследствие низких механических свойств основного металла в отношении хрупкости и в какой-либо зависимости от условий сварки не находилось.

Типичные примеры неудовлетворительного оформления сварных соединений, которые неоднократно являлись очагами разрушений при низких температурах, представлены на рис. 9. На рис. 9, *д*, *е*, *ж*, *к* стыковые соединения имеют непровар, на рис. 9, *з* окно, образованное газовой резкой, имеет острый угол; на рис. 9, *л* электрошлаковый шов *1* заваривается последним, находясь в жестком контуре.

Методы повышения прочности при низких температурах

Предупреждение хрупких разрушений сварных соединений и конструкций при низких температурах может быть осуществлено устранением причин, их вызывающих. Основными путями повышения сопротивляемости хрупким разрушениям являются следующие:

1. Выбор основного металла для сварных конструкций, обладающих малой склонностью к деформационному старению и достаточно высокой сопротивляемостью распространению разрушений при температурах эксплуатации изделия.

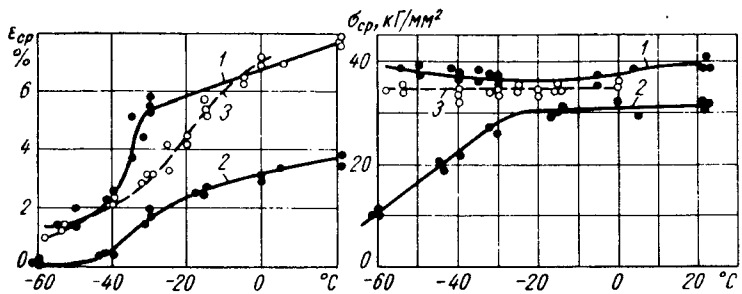


Рис. 10. Средняя деформация до разрушения $\varepsilon_{ср}$ и прочность $\sigma_{ср}$ образцов сечением 8 × 10 мм с надрезами 0,25 мм в зависимости от температуры испытания, сталь 22К: *1* — исходное состояние; *2* — после переплавки дугой в среде аргона кромки с надрезом глубиной 6 мм; *3* — после переплавки и отпуска при $T = 670°$ С

Развитие разрушения при использовании основного металла с высокой энергией разрушения при распространении в нем трещины возможно лишь при дефектах или зонах повреждения металла большой протяженности (например, в продольных швах трубопроводов). В большинстве сварных конструкций изменения, вызываемые сваркой, носят локальный характер, ввиду чего начавшееся разрушение не будет распространяться по основному металлу. Такой путь оправдан в конструкциях, где невозможно обеспечить полное отсутствие дефектов сварки. Закалка и отпуск основного металла являются эффективным средством повышения энергии разрушения сталей при низких температурах. Частным случаем является применение пакета листов из более тонкого металла, обеспечивающего высокое сопротивление распространению трещин.

2. Нормализация или закалка с отпуском сварных деталей. Такие операции не только устраняют отрицательные последствия влияния сварки на структуру металла в зоне сварных соединений, но и улучшают свойства основного металла.

3. Применение высокого отпуска. Высокий отпуск является эффективным средством, позволяющим восстановить пластические свойства металла, утраченные в результате протекания пластических деформаций и старения металла в концентраторах (рис. 10). Одновременно общий высокий отпуск значительно снижает остаточные напряжения и накопленную потенциальную энергию при сварке. Местный отпуск применяется главным образом как средство восстановления пластичности металла.

4. Конструктивное оформление отдельных элементов, уменьшающее как концентрацию собственных деформаций в процессе сварки, так и концентрацию рабочих напряжений в процессе эксплуатации конструкции.

5. Назначение последовательности сборочно-сварочных операций и технологических приемов выполнения сварных соединений, исключающих резкие концентраторы напряжений в зоне пластических деформаций, в том числе дефекты в виде непроваров, трещин, несплавлений, подрезов и т. п. (рис. 9).

6. Применение присадочных металлов, обеспечивающих высокую пластичность и вязкость металла швов при низких температурах.

7. Использование рациональных режимов сварки, исключающих появление зон с пониженными механическими свойствами в отношении хрупких разрушений при низких температурах, например увеличение скоростей охлаждения.

Важным направлением является разработка расчетных методов, позволяющих определять наступление разрушения при статических, повторно статических и ударных нагрузках с учетом коэффициента концентрации напряжений, чувствительности металла к низким температурам и накоплению усталости. Определение запаса прочности по предельному состоянию наступления разрушения является объективной оценкой надежности сварных конструкций, работающих при низких температурах.

ПРОЧНОСТЬ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Особенности работы и прочность соединений

С ростом температуры повышается энергия колебания атомов и снижается прочность межатомных связей. Это приводит к увеличению интенсивности диффузионных процессов и возможности протекания процессов возврата, рекристаллизации и роста зерен, способствующих снятию искажений кристаллической решетки. Заметное развитие при этом процессов разупрочнения обуславливает качественное изменение свойств материала и, прежде всего, протекание при высоких температурах процесса ползучести — способности материала непрерывно деформироваться (ползти) под действием постоянной нагрузки. Повышение интенсивности диффузионных процессов обуславливает термическую нестабильность материала и возможность заметного изменения его свойств во время пребывания при высоких температурах. Существенно меняются также с повышением температуры механические и физические свойства материала, его сопротивление усталости, коррозионная стойкость и ряд других характеристик, определяемых общими понятиями жаропрочности и жаростойкости [34].

Условия работы конструкций при высоких температурах предъявляют к сварным соединениям, кроме обеспечения должных механических свойств при нормальных температурах, также требование сохранения необходимого уровня жаропрочности и жаростойкости. Комплекс испытаний, обычно используемых для оценки жаропрочных материалов, является обязательным и для сварных соединений. Необходимо при этом учитывать, что особенности строения сварных соединений, прежде всего, наличие в них развитой химической, структурной и геометрической неоднородности предъявляют ряд дополнительных требований к методике испытаний и критериям оценки полученных результатов [8, 28].

Объем испытаний сварных соединений зависит в первую очередь от условий эксплуатации изделия. Для большинства узлов различных установок основными являются показатели длительной прочности, определяющие вероятность разрушения данного узла за срок его работы. Для установок транспортного типа в зависимости от их назначения величина предела длительной прочности принимается на срок от сотни до нескольких тысяч часов; для стационарных установок — от ста до двухсот тысяч часов.

Весьма важны и показатели стабильности структуры и свойств металла шва и различных участков зоны термического влияния сварного соединения после длительных выдержек в заданном интервале температур. Для отдельных конструкций, например камер сгорания газовых турбин, определяющими являются показатели жаростойкости металла шва. Работоспособность узлов, подвергаемых воздействию большого числа теплосмен, будет зависеть, прежде всего, от их сопротивления термической усталости. Для узлов химических аппаратов, а также атомных установок, работающих в области высоких температур, кроме

коррозионной стойкости сварных соединений

Механические свойства металла сварного шва, оцениваемые по результатам кратковременных испытаний при разных температурах, как правило, близки к стали или сплаву аналогичного легирования (рис. 11). При этом характеристики прочности и, прежде всего, предел текучести металла шва обычно выше, чем у основного металла, за счет особенностей кристаллизации сварного шва и термопластического цикла его охлаждения, приводящих к наличию в нем развитой субструктуры и повышенной плотности дислокаций. Эта разница уменьшается с повышением температуры испытаний и содержания легирующих элементов в шве.

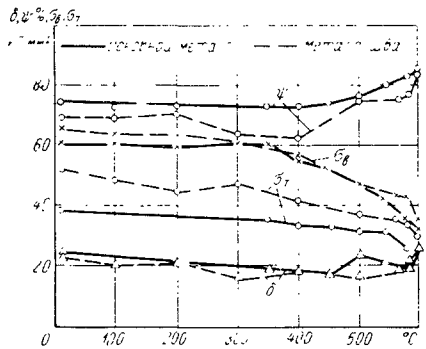


Рис. 11. Механические свойства при высоких температурах стали 12Х1МФ и металла шва типа Э-ХМФ

Механические свойства сварных соединений при высоких температурах, оцениваемые по результатам испытания образцов с поперечным швом, обычно определяются свойствами основного металла, по которому проходят разрушения. В сварных соединениях термически упрочняемых сталей перлитного и мартенситного классов при высокой исходной прочности основного металла слабым участком при высоких и комнатной температурах является участок разупрочнения, расположенный вблизи точки Ac_1 зоны термического влияния. При кратковременных испытаниях сварных соединений термически упрочняемых высоколегированных аустенитных сталей и сплавов на никелевой основе разрушения могут проходить либо по шву, либо по участку околошовной зоны вблизи границы сплавления.

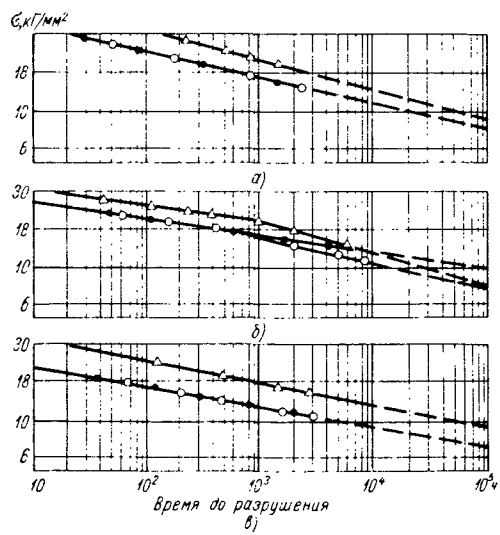


Рис. 12. Длительная прочность основного металла, металла шва и сварных соединений сталей различного легирования: *а* — сталь 20, шов типа Э-42а; $T_{исп}$ = 450 С; *б* — сталь 12Х1МФ, шов типа Э-ХМФ, $T_{исп}$ = 565° С; *в* — сталь 1Х18Н10Т, шов типа ЭА-1М2Фа, $T_{исп}$ = 650° С: ● — основной металл; ○ — сварное соединение; △ — металл шва

Закономерности поведения металлов в условиях длительного нагружения при высоких температурах определяются обычно по результатам испытания на длительную прочность (рис. 12). Одной из особенностей такого нагружения является изменение характера разрушения на разных стадиях испытания. При сравнительно небольшом времени до разрушения, а также при проведении испытания на нижнем уровне температур для данной стали основное развитие получают внутризеренные изломы, сопровождающиеся заметной пластической

деформацией. С повышением температуры и длительности испытания наблюдается переход к хрупким межзеренным разрушениям, обычно сопровождающийся изменением угла наклона кривой длительной прочности.

На стадии внутризеренного разрушения металл шва, имеющий развитую субструктуру, обладает и более высокой прочностью по сравнению с основным металлом близкого легирования. В то же время в шве, как правило, быстрее, чем в основном металле, наблюдается переход к межзеренному разрушению, что приводит к сближению уровней их длительной прочности с ростом длительности и температуры испытания (рис. 12 и табл. 2). Чем выше легирование стали и шва, тем это сближение происходит быстрее и, например, для шва типа Э-ХМФ величина предела длительной прочности при экстраполяции на 10^5 *ч* ниже, чем для стали 12Х1МФ, хотя при длительности испытаний менее 10^4 *ч* швы прочнее основного металла.

2. Значения пределов длительной прочности основного металла, металла шва и сварных соединений типовых сталей

Марка стали	Тип шва	$T_{исп}$ в °С	Предел длительной прочности в *кГ/мм*²								
			Основной металл			Металл шва			Сварное соединение		
			Длительность в *ч*								
			10^3	10^4	10^5	10^3	10^4	10^5	10^3	10^4	10^5
20	Э-42а	450	17	12,5	8	21	14	9	17	12,5	8
15ХМ	Э-ХМ	510	24	16,5	12	26	17	11	24	16,5	11
12Х1МФ	Э-ХМФ	565	17	13	10	19	13	8	17	12	8
15Х12ВМФ	Э-Х12ВМФ	580	20	16	11	23	18	11	20	17	10
1Х18Н12Т	ЭА-1М2Фа	650	13	10	7	18	14	10	13	10	7
Х15Н35В3Т	ЭА2-4В3Б2	650	24	21	18,5	26	21	17	24	20	16

В зависимости от степени легирования стали, времени до разрушения и температуры испытания может заметно меняться и степень разупрочнения сварных соединений относительно основного металла. Для термически неупрочняемых сталей (углеродистых, хромомолибденовых и аустенитных на базе карбидного упрочнения) экспериментальные точки для образцов основного металла и сварных соединений укладываются обычно на одну общую кривую. Разрушение сварных образцов в этих случаях проходит, как правило, по основному металлу вдали от границы сплавления, и такие сварные соединения равнопрочны основному металлу. В отличие от этого длительная прочность сварных соединений термически упрочняемых сталей может заметно уступать основному металлу за счет развития преждевременных разрушений сварных образцов в разупрочненных участках зоны термического влияния. Для сварных соединений хромомолибденованадиевых сталей таким слабым местом является участок доотпуска и неполной перекристаллизации зоны термического влияния. В сварных соединениях аустенитных сталей и сплавов с интерметаллидным упрочнением местом преждевременных разрушений является обычно участок околошовной зоны вблизи границы сплавления, нагреваемый при сварке до температур аустенизации. С повышением легированности стали в условиях испытаний большой длительности возрастает также вероятность перехода разрушений в швах ввиду трудности получения при этом металла шва, равнопрочного основному металлу.

При наличии в сварном соединении разупрочненных участков (мягких прослоек), расположенных в шве или околошовной зоне, для условий работы при высоких температурах, как и при комнатной [16], необходимо учитывать эффект контактного упрочнения со стороны более прочных участков и связанное с ним влияние абсолютных размеров образца на длительную прочность. Проведенные в этом направлении расчеты показали [11], что при протекании процесса ползу-

чести жесткость напряженного состояния в мягкой прослойке несколько меньше, чем при простом механическом нагружении: сама же прослойка непрерывно ползет с убывающей скоростью.

Протекание процесса ползучести в мягкой прослойке оказывает заметное влияние на поведение сварных соединений под нагрузкой при высоких температурах. Оно проявляется прежде всего в большей локализации разрушений в мягкой прослойке и в большем разупрочнении сварных соединений при высоких температурах по сравнению с компатной. Так как деформация ползучести в мягкой прослойке проходит при воздействии объемного напряженного состояния, то преобладающими в ней являются межзеренные разрушения.

Влияние абсолютных размеров образца на длительную прочность сварных соединений с мягкими прослойками можно оценить с помощью схемы, приведенной на рис. 13. На ней зависимости длительной прочности основного металла (кривая *1*) и мягкой прослойки при ее относительно большой (кривая *2*) и малой (кривая *3*) ширине имеют разные углы наклона. Больший угол наклона кривых *2* и *3* обусловлен тем, что вероятность межзеренного разрушения в прослойке выше, чем у основного металла. Так как жесткость напряженного состояния растет с уменьшением относительной ширины прослойки (увеличением размеров образца или изделия), то кривая *3* идет выше кривой *2*.

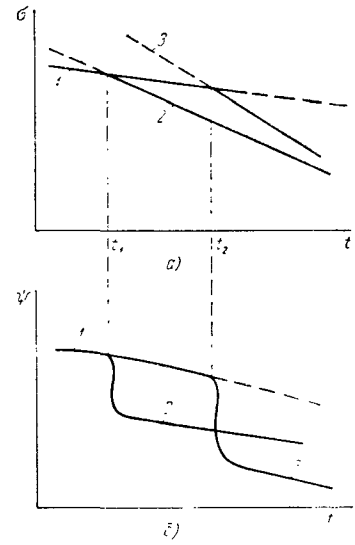


Рис. 13. Схема длительной прочности и пластичности сварных соединений с мягкой прослойкой: *а* — зависимость длительной прочности; *б* — зависимость длительной пластичности

При сравнительно небольшой длительности испытания (менее t_1, для малых и t_2 для больших образцов) разрушения идут по основному металлу ввиду его меньшей длительной прочности. На этой стадии испытания сварное соединение равнопрочно основному металлу. В дальнейшем разрушения переходят в мягкую прослойку и прочность сварного соединения по сравнению с основным металлом снижается. С увеличением длительности испытания разупрочнение сварного соединения возрастает, причем прочность больших образцов превосходит прочность малых. Сам переход места разрушения из основного металла в мягкую прослойку при больших образцах происходит позже, чем при малых. По данным эксперимента [6], уменьшение относительной ширины мягкой прослойки в зоне термического влияния сварного соединения стали 12Х1МФ от 0,3 до 0,07, связанное с увеличением диаметра испытываемых образцов с 8 до 28 *мм*, привело к росту предела длительной прочности за 10^5 *ч* с 6 до 8 *кГ/мм*^{2} при 580° С. Соответственно переход разрушений из основного металла в зону термического влияния для малых образцов наблюдался после 160 *ч* испытания, а для больших — лишь после 600 *ч*.

Переход разрушений в мягкую прослойку сопровождается обычно снижением пластичности (рис. 13, *б*), которое тем больше, чем меньше относительная ширина прослойки. С уменьшением относительной ширины прослойки возрастает также вероятность прохождения в ней межзеренных разрушений. При наличии в прослойке различного рода дефектов она может явиться очагом развития хрупких изломов.

В соответствии с установившейся в машиностроении практикой основным методом расчета прочности конструкций, работающих при высоких температурах,

как и при комнатной, является расчет по допускаемым напряжениям [σ]. В зависимости от рабочей температуры, вида изделия и условий его работы в качестве исходной характеристики прочности материала может использоваться временное сопротивление $\sigma_в$, предел текучести $\sigma_т$, предел длительной прочности $\sigma_{дп}$, а для особо точных узлов и узлов, изготовляемых из малопластичных материалов, и предел ползучести $\sigma_п$ *.

3. Значение коэффициентов запаса прочности

Тип конструкции	n_1	n_2	n_3	n_4
Стационарные котельные установки (трубы, барабаны и т. п.)	2,6	1,5	1,5	1,0
Стационарные турбинные установки	3,75—4	1,65—2,0	1,5—3	1,0

Величина допускаемого напряжения [σ] принимается равной минимальному значению из вычисленных по следующим условиям:

$$[\sigma] \leqslant \frac{\sigma_в}{n_1}; \tag{1}$$

$$[\sigma] \leqslant \frac{\sigma_т}{n_2}; \tag{2}$$

$$[\sigma] \leqslant \frac{\sigma_{дп}}{n_3}; \tag{3}$$

$$[\sigma] \leqslant \frac{\sigma_п}{n_4}. \tag{4}$$

Принимаемые величины коэффициентов запаса прочности n_1, n_2, n_3, n_4 меняются в зависимости от типа конструкции и условий ее работы. Они приведены в табл. 3.

Изменение характеристик прочности основных котельных сталей с температурой и вычисленных по условиям (1) — (3) значений допускаемых напряжений показано на рис. 14. В зависимости от рабочей температуры изделия исходными характеристиками прочности материала являются:

временное сопротивление $\sigma_в$ при температуре изделия из углеродистой стали или стали 12Х1МФ ниже 260° С;

предел текучести $\sigma_т$ при температуре изделия в интервале 260—420° С для углеродистой стали, 260—470° С для стали 12Х1МФ и ниже 550° С для аустенитной стали 1Х18Н10Т;

предел длительной прочности $\sigma_{дп}$ при температуре изделия из углеродистой стали выше 420° С, стали 12Х1МФ выше 470° С и сталей 1Х18Н10Т и 1Х18Н12Т выше 550° С. Численные значения [σ] в виде таблиц даются в нормах [19]. Допускаемые напряжения [σ] согласно этим нормам могут быть понижены или повышены в зависимости от конструктивных и эксплуатационных особенностей рассчитываемой детали путем умножения их на коэффициент η.

Для деталей, работающих при высоких температурах при наличии ползучести и воздействии вибрационных нагрузок, методы расчета на ползучесть практически отсутствуют. Поэтому допускаемые напряжения для них должны

* $\sigma_в$, $\sigma_т$, $\sigma_{дп}$ и $\sigma_п$ — гарантированные значения при температуре эксплуатации.

выбираться на основании опыта эксплуатации аналогичных деталей, а если его нет, то они должны быть в 2,5 - 3 раза ниже предела длительной прочности, определенного для статической нагрузки.

Величина поправочных коэффициентов η для определения допускаемых напряжений в сварных соединениях в формуле

$$[\sigma]' = \eta\,[\sigma] \qquad (5)$$

зависит от условий работы конструкции, технологии ее изготовления и марки свариваемой стали[1]. Нормами расчета элементов паровых котлов на прочность [19] коэффициент прочности стыковых сварных соединений, выполненных любым допущенным способом автоматической, полуавтоматической или ручной сварки, обеспечивающим полный провар по всей толщине стыкуемых деталей, при условии проведения в необходимых случаях термической обработки после сварки и контроля качества шва по всей его длине неразрушающими методами принимается следующим:

для *углеродистой, низколегированной* марганцовистой и хромомолибденовой стали, а также аустенитных сталей типа Х18Н10Т и им подобных $\eta = 1{,}0$;

для хромомолибденованадиевой и высокохромистой стали $\eta = 0{,}8$.

Коэффициент прочности стыковых сварных соединений углеродистой и низколегированной марганцовистой стали, контроль качества которых неразрушающими методами производится согласно особому разрешению Госгортехнадзора не по всей длине, принимается в зависимости от способа сварки:

при автоматической двусторонней сварке под флюсом, электрошлаковой сварке, контактной сварке, односторонней ручной и автоматической *сварке под флюсом на подкладной* планке или с подваркой корня шва, ручной сварке в атмосфере углекислого газа и аргонодуговой сварке $\eta = 0{,}85$;

при всех других не указанных выше видах ручной электрической и газовой сварки $\eta = 0{,}7$.

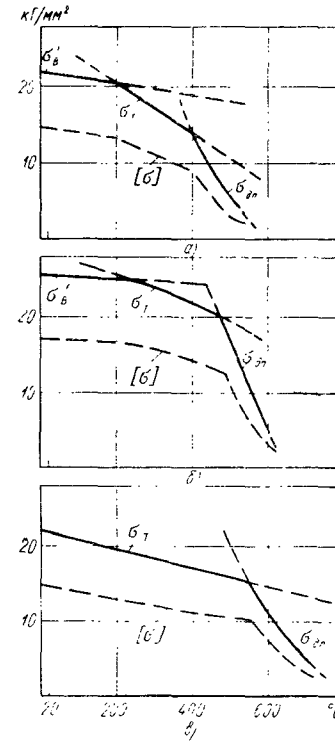


Рис. 14. Характеристики прочности при высоких температурах основных котельных сталей и допускаемые напряжения для элементов котлов (условно на графике отложено значение $\sigma'_{\text{д}} = \sigma_{\text{д}} \frac{1{,}5}{2{,}6}$): *а* — сталь 20; *б* — 12Х1МФ; *в* — 1Х18Н10Т (1Х18Н12Т)

Допускаемые напряжения для сварных соединений высоколегированных сталей, не вошедших в данные нормы, должны назначаться для каждого конкретного случая отдельно по результатам испытания этих соединений.

Нормами [19] предусмотрено также, при поверочных расчетах эквивалентных напряжений в трубах от внешних нагрузок с учетом ползучести (осевой силы, изгибающих и крутящих моментов), дополнительно учитывать следующие величины коэффициента прочности поперечных кольцевых сварных стыков при изгибе $\eta_и$: для труб из аустенитной и высокохромистой стали, катаных $\eta_и = 0{,}6$;

[1] В отличие от расчетов на устойчивость коэффициент η в нормах расчета элементов паровых котлов на прочность означает поправочный коэффициент для учета ослабления прочности, вызванной сваркой или ослаблением стенки отверстиями.

кованo сверленых $\varphi_и = 0{,}7$; для труб из перлитной стали, катаных $\varphi_и = 0{,}8$; кованo-сверленых $\varphi_и = 0{,}9$.

При проектировании сварных узлов, работающих при высоких температурах, следует учитывать возможность снижения работоспособности конструкции из-за неравномерного прогрева отдельных частей изделия. Так, не должно допускаться присоединение в нескольких местах элементов с небольшой толщиной стенки к толстостенным элементам (например, одновременная приварка

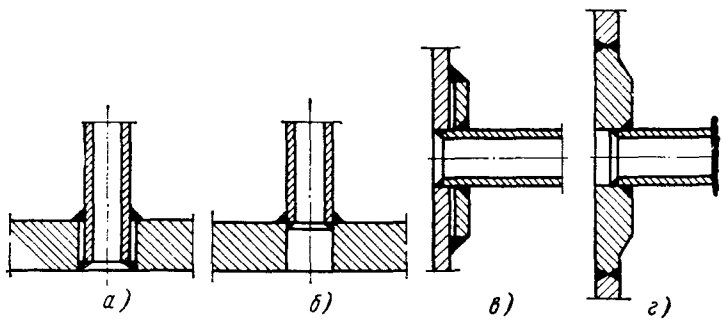


Рис. 15. Типы сварных соединений сосудов, работающих под давлением при высоких температурах: *а*, *в* — нерекомендуемые; *б*, *г* — рекомендуемые

тонкостенного штуцера к наружной и внутренней поверхностям обечайки большой толщины). Сварные соединения высоколегированных сталей, работающие в условиях ползучести, следует располагать вне зоны действия значительных напряжений изгиба (например, при переходе от тонкостенного к толстостенному элементу). На рис. 15 приведены рекомендуемые и нерекомендуемые типы сварных соединений сосудов, работающих под давлением при высоких температурах.

Хрупкие разрушения

При оценке надежности сварных конструкций, работающих при высоких температурах, так же как и узлов, эксплуатирующихся в нормальных условиях, особое внимание должно уделяться опасности хрупких разрушений. Для рассматриваемых условий работы основным механизмом, ответственным за их появление, является ползучесть. Большинство хрупких разрушений конструкций при высоких температурах сопровождается интенсивным развитием межзеренных трещин.

В сварных соединениях теплоустойчивых и жаропрочных сталей наиболее вероятными участками образования хрупких разрушений могут быть либо шов, либо участок околошовной зоны вблизи границы сплавления. Факторами, способствующими разрушению, являются конструктивные и технологические концентраторы различного характера. В большинстве случаев очагом хрупких трещин при высоких температурах служат дефекты типа несплавлений, шлаковых включений и, особенно, трещин, а также участки резкого перехода от шва к основному металлу. Отрицательное влияние концентраторов обычно тем больше, чем выше легирование стали.

Основной характеристикой, определяющей склонность металлов и их сварных соединений к хрупким разрушениям при высоких температурах, является длительная пластичность. Она может устанавливаться по результатам измерения деформации образцов после испытания на длительную прочность. Наиболее полно закономерности изменения длительной пластичности жаропрочных материалов выявляются в условиях испытания при высоких температурах с постоянной скоростью деформации [29].

Длительная пластичность металла перлитного шва обычно несколько уступает длительной пластичности близкой ему по составу стали. Для малоуглеродистых швов это различие сравнительно невелико, что обеспечивает их надежную работу при высоких температурах. С повышением легированности перлитных швов оно увеличивается.

Заметное влияние на длительную пластичность перлитных теплоустойчивых швов оказывает их термическое состояние после сварки (рис. 16). В исходном состоянии пластичность швов при длительном высокотемпературном нагружении весьма низка и не может обеспечить надежной работы сварных швов. Особенно большая разница по длительной пластичности между легированными перлитными швами в исходном состоянии после сварки и сталью близкого состава выявляется по результатам испытания образцов с надрезом, имитирующим поведение материала при наличии концентраторов напряжений. Проведение отпуска по оптимальному режиму (для швов типа Э-ХМФ в интервале температур 720—750°) заметно повышает их длительную пластичность, однако и в этом случае она уступает основному металлу.

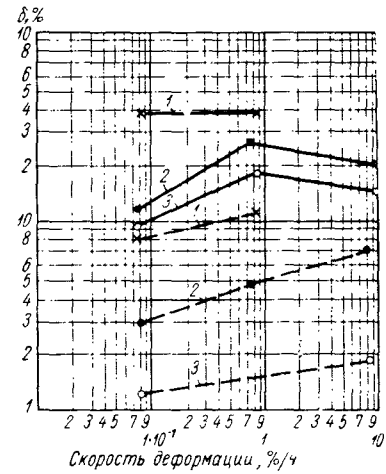


Рис. 16. Длительная пластичность стали 12Х1МФ и металла шва типа Э-ХМФ: *1* — сталь 12Х1МФ; *2* — шов типа Э-ХМФ; после отпуска при температуре 720—750° С; *3* — то же исходное состояние после сварки — гладкие образцы; — — образцы со спиральным надрезом

Меньшая пластичность металла легированных перлитных швов по сравнению с основным металлом и прежде всего его большая чувствительность к концентраторам напряжений предъявляет повышенные требования к полноте контроля швов с точки зрения отсутствия в них различного рода дефектов типа несплавлений, шлаковых включений и, особенно, трещин. Повышенные требования предъявляются и к точности выдерживания режима отпуска сварных соединений теплоустойчивых перлитных и бейнитных сталей, так как даже при сравнительно небольших отклонениях от оптимального режима пластичность металла шва останется на низком уровне.

Металл аустенитного шва по своей длительной пластичности обычно превосходит аналогичный ему по составу основной металл. Это связано в первую очередь с тем, что в целях повышения технологической прочности аустенитные швы обычно дополнительно легируют молибденом и марганцем — элементами, повышающими прочность границ зерен и снижающими вследствие этого опасность межзеренных разрушений. Опыт длительной работы аустенитных сварных швов подтверждает их высокую эксплуатационную надежность в данных условиях.

Сварные соединения теплоустойчивых перлитных и жаропрочных аустенитных сталей, легированных энергичными карбидообразующими элементами — титаном ниобием или ванадием, - могут в определенных условиях проявлять при высоких температурах склонность к хрупким (локальным) разрушениям в околошовной зоне вблизи границы сплавления. Характерной их особенностью является строго межзеренный характер развития трещины (рис. 17). Разрушения указанного рода обычно обнаруживаются после относительно длительного срока эксплуатации, приводя в отдельных случаях к появлению сквозных трещин. Они могут возникать также во время термической обработки сварных конструкций.

К числу сталей, проявляющих склонность к локальным разрушениям, относятся теплоустойчивые хромомолибденовые стали марок 12Х1МФ и 15Х1М1Ф, а также жаропрочные аустенитные стали марок 1Х18Н12Т, 1Х18Н10Т, Х15Н35В3Т и им подобные.

С повышением степени легированности стали и, прежде всего, с ростом содержания в ней энергичных карбидообразующих элементов вероятность локальных разрушений сварных соединений увеличивается. При этом растет обычно и

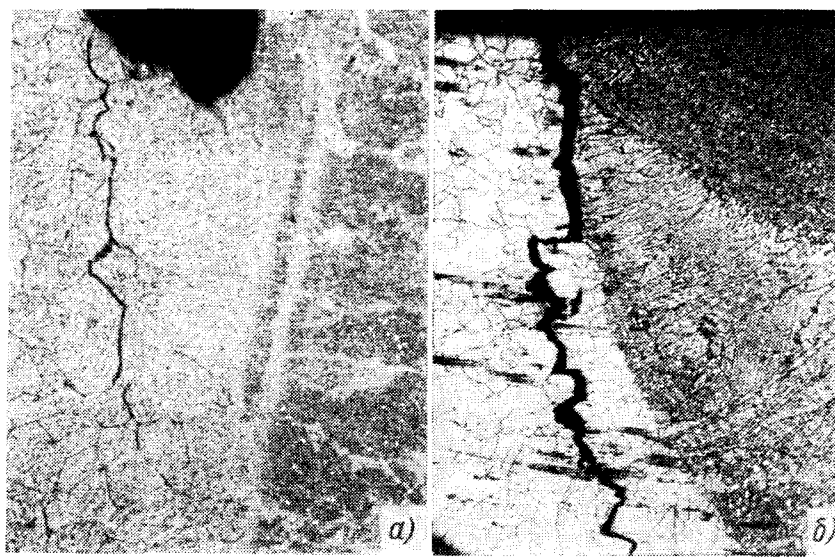


Рис. 17. Микроструктуры трещин в околошовной зоне сварных соединений теплоустойчивых и жаропрочных сталей. × 300; *а* — сталь 15Х1М1Ф; *б* — сталь 1Х18Н12Т

опасность развития межзеренных трещин в околошовной зоне сварного соединения при сварке.

Механизм локального разрушения в околошовной зоне связан с процессами, определяющими снижение межзеренной прочности металла этого участка. Это прежде всего процесс высокотемпературной деформации околошовной зоны при сварке, осуществляемый преимущественно за счет межзеренного проскальзывания и приводящий к ослаблению границ и появлению на них пор и субмикроскопических несплошностей. При сварочном нагреве возможно выделение по границам зерен различного рода примесей и газов. Межзеренным разрушениям при эксплуатации способствует также упрочнение тела зерна в околошовной зоне при сварке за счет развития процессов полигонизации при высокотемпературной деформации и выпадения дисперсных карбидов титана, ниобия или ванадия по плоскостям скольжения.

Обычно используемыми для оценки жаропрочности сварных соединений методиками и в первую очередь испытаниями на длительную прочность сварных образцов с поперечным швом склонность к локальным разрушениям не выявляется. Поэтому появившиеся впервые в начале пятидесятых годов массовые случаи образования трещин в сварных стыках аустенитных паропроводов на станциях сверхвысоких параметров явились неожиданными и невоспроизводимыми в лабораторных условиях [9]. В последующем был создан ряд новых ме-

тодик для оценки склонности сварных соединений к локальным разрушениям [7, 16, 17]. Большинство из них носит качественный характер.

Оценить количественно вероятность локальных разрушений и влияние на их образование различных факторов можно, используя для этой цели методику ЦКТИ [7]. По этой методике образцы диаметром 12 *мм*, вырезанные из сварного соединения поперек шва, испытывают в условиях статического нагружения на чистый изгиб с постоянной скоростью деформации при различных температурах и скоростях деформации. Показателем стойкости сварного соединения против хрупкого разрушения является величина относительного удлинения наружного волокна до появления трещины.

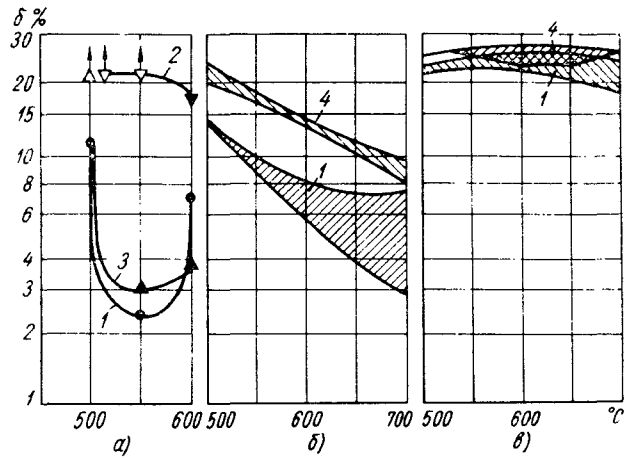


Рис. 18. Длительная пластичность сварных соединений теплоустойчивых и жаропрочных сталей (испытания по методике ЦКТИ): *а* — сталь 15Х1М1Ф; *б* — сталь 1Х18Н12Т; *в* — сталь Х16Н8М2; *1* — исходное состояние после сварки; *2* — отпуск 720—750° С; *3* — отпуск 630—650° С; *4* — аустенизация 1150° С; △ ▽ — без разрушений; ● ▲ ▼ — разрушения в околошовной зоне (области разброса результатов построены для сварных соединений стали 1Х18Н12Т — по данным испытания восьми плавок, стали Х16Н8М2 — по данным испытания трех плавок)

Сварные соединения хромомолибденованадиевой стали марки 15Х1М1Ф, термически обработанной на высокий уровень исходной прочности ($\sigma_в$ = = 56 *кГ/мм*²), в исходном состоянии после сварки и при заниженной температуре отпуска (640° С) разрушались по околошовной зоне уже после весьма незначительной деформации (рис. 18, *а*), что свидетельствует о высокой склонности к хрупким разрушениям в этих термических состояниях. В случае отпуска по оптимальному режиму (740° С) стойкость сварных соединений против образования трещин в процессе деформации заметно возросла. Хотя и при этом разрушение ряда образцов проходило по околошовной зоне, ему предшествовала значительная деформация.

Стойкость сварных соединений хромомолибденованадиевых сталей против локальных разрушений заметно повышается, если используется основной металл с умеренным уровнем исходной прочности. Она возрастает также при введении операции зачистки мест перехода от шва к основному металлу до плавного сопряжения и использовании технологии сварки и контроля, обеспечивающих отсутствие дефектов по границе сплавления.

Повышенной склонностью к локальным разрушениям в исходном состоянии после сварки обладают сварные соединения аустенитных сталей, легированных титаном или ниобием и, в частности, стали 1Х18Н12Т (рис. 18, *б*). Повысить надежность сварных конструкций из этих сталей можно за счет введения операции их аустенизации при 1100—1200° С.

Мероприятия по обеспечению высокой стойкости сварных соединений аустенитных сталей против локальных разрушений могут проводиться в первую очередь в направлении изыскания рационального легирования стали, усовершенствования технологии ее выплавки и введения высокотемпературной термической обработки конструкции после сварки. Для сталей с карбидным упрочнением целесообразен отказ от легирования их титаном и ниобием за счет введения молибдена. По эксплуатационным и опытным данным, стали, легированные молибденом, не склонны к этому виду разрушений (рис. 18, *в*). Для высокожаропрочных сталей на базе интерметаллидного упрочнения склонность к локальным трещинам удается заметно снизить при дополнительном введении в их состав 2—8% молибдена (в зависимости от уровня легирования стали). Повышения эксплуатационной надежности сварных соединений высокопрочных аустенитных сталей можно достичь при использовании сталей, подвергнутых электрошлаковому или вакуумнодуговому переплаву. Для особо ответственных конструкций из высокожаропрочных сталей применение основного металла после переплава является обязательным.

При выборе материалов и условий изготовления крупногабаритных конструкций, предназначенных для работы в области высоких температур, необходимо также уделять внимание и оценке вероятности их хрупких разрушений из-за проявления эффекта хладноломкости. Необходимо при этом учитывать, что непосредственно после сварки крупногабаритных изделий существуют остаточные напряжения большой величины при высоком уровне потенциальной энергии системы. При сборке, гидравлических испытаниях и пуске установки конструкция также подвергается воздействию напряжений при температурах, близких к комнатной. Если материал конструкций при комнатной температуре хрупок, а в изделии имеются дефекты или конструктивные концентраторы напряжений, то возможен его преждевременный выход из строя. Имевшие место случаи разрушения барабанов котлов и других сосудов при гидравлических испытаниях связаны, прежде всего, с недооценкой явления хладноломкости материала.

ПРОЧНОСТЬ В УСЛОВИЯХ КОРРОЗИИ

Особенности коррозии и виды коррозионных разрушений сварных соединений [14, 18, 25, 30, 31, 35, 39]

Механизм коррозионных разрушений сварных соединений принципиально не отличается от механизма разрушений основного металла. Однако сварное соединение представляет собой сложную неоднородную термодинамически неустойчивую систему, неоднородность которой вызвана различием химического состава, структуры отдельных зон, геометрией соединения, остаточными напряжениями и пластическими деформациями в связи с неравномерным нагревом и охлаждением при сварке. Поэтому сварные соединения характеризуются повышенной макро- и микроэлектрохимической неоднородностью по сравнению с основным металлом (рис. 19). Сварные соединения можно рассматривать, как комбинацию многоэлектродного элемента с макроэлектродами: шов, зона перегрева, зона перекристаллизации, основной металл.

Суммарный коррозионный эффект в каждой зоне сварного соединения определяется коррозионными потерями, вызванными: а) работой макрокоррозионных элементов и б) саморастворением каждой зоны, т. е. коррозией, вызванной работой микрокоррозионных пар и растворением по гомогенному механизму

в соответствующей зоне. В зависимости от степени неоднородности сварного соединения (по структуре, химическому составу и т. д.) и коррозионных условий будет преобладать тот или иной механизм коррозии.

Макрогальванические коррозионные элементы шов — основной металл для различных установившихся электрохимических потенциалов можно разделить на три группы: 1) потенциалы шва и основного металла практически одинаковы $\varphi_{шва}^{нач} \approx \varphi_{осн.\,мет}^{нач}$, в этом случае макрогальваническая пара не функционирует и коррозия различных зон определяется саморастворением; 2) потенциал металла шва более отрицателен, чем основного металла $\varphi_{шва}^{нач} < \varphi_{осн.\,мет}^{нач}$, поэтому шов корродирует интенсивнее в результате анодного растворения; 3) потенциал металла шва более положителен, чем основного металла $\varphi_{шва}^{нач} > \varphi_{осн.\,мет}^{нач}$; при этом сильнее разрушается основной металл (пункты 1, 2 и 3 — для условий положительных защитного и разностного эффектов).

Электродные потенциалы сварных соединений некоторых металлов приведены на рис. 20.

Основные виды коррозии сварных соединений даны в табл. 4. Коррозия подразделяется на общую, или сплошную, и местную. Общая коррозия распространяется на всю поверхность металла и может быть равномерной и неравномерной. Местная коррозия локализуется на определенных участках поверхности при незначительном поражении остальной части.

Если общая коррозия развивается равномерно, то скорость

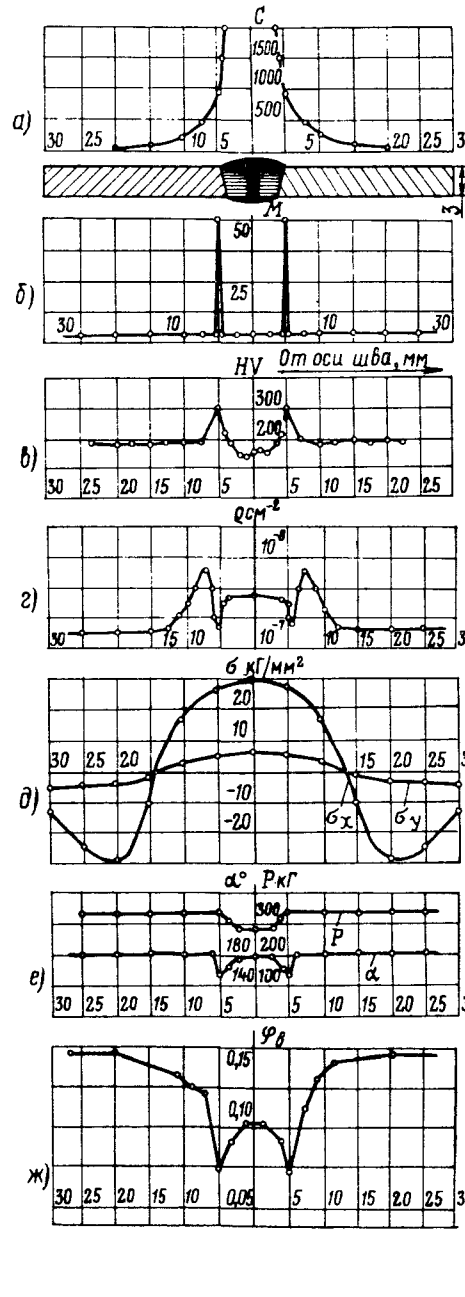
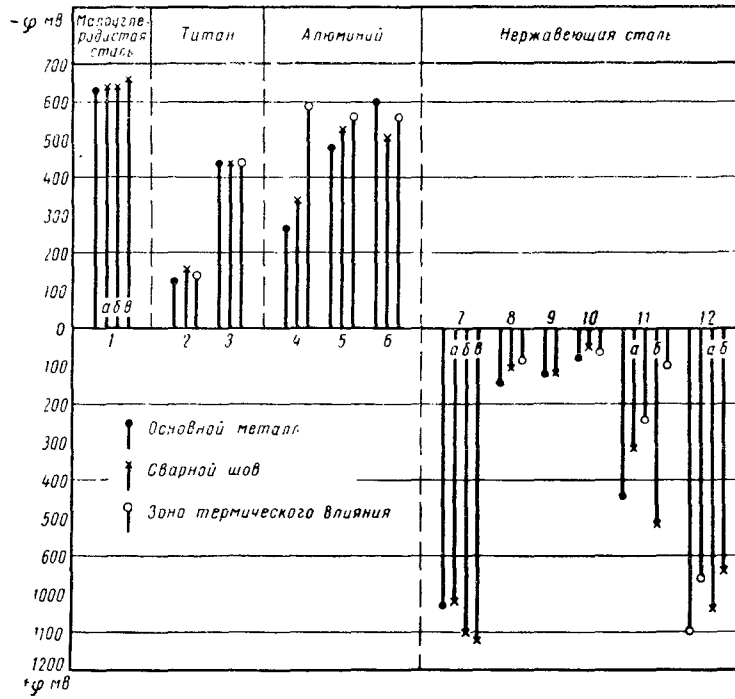


Рис. 19. Неоднородность сварного соединения стали 1Х18Н10Т, выполненного аргоно-дуговой сваркой (в поперечном сечении): *а* — распределение максимальных температур; *б* — размер зерна; *в* — твердость; *г* — ориентировочная плотность дислокаций; *д* — остаточные напряжения; *е* — прочность и пластичность при изгибе; *ж* — электродный потенциал (3% NaCl



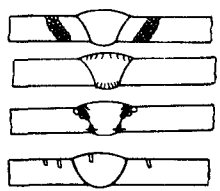
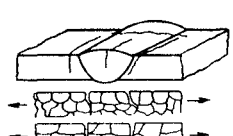
№ опытов	Свариваемый металл	Присадочный металл	Способ сварки	Коррозионная среда
1	Малоуглеродистая сталь	*а* — Электрод вилкового типа; *б* — рутиловый; *в* — основной	Ручная дуговая	Морская вода (искусственная)
2 3	ВТ1-1	Без присадки	Аргоно-дуговая	3% NaCl 20% HCl, 20° С
4 5 6	АО АМг-6 АД1	АО АМг-6 АК1	Газовая Аргоно-дуговая	Насыщенный раствор $Al(NO_3)_3$ 20° С
7	1Х18Н9Т	*а* — 1Х18Н9Т; *б* — 1Х18Н9Т + 1,5% V; *в* — 1Х18Н9Т + 1,5% Nb	То же	20% HNO$_3$, кипение
8 9 10	Х18Н10Т	Без присадок	»	5% NaCl, 20° С 42% $MgCl_2$, кипение 1% HNO$_3$, 20° С
11	Сталь типа Х17	*а* — Х17; *б* — Х18Н9	Ручная дуговая	1 г 0,01N раствора HCl 9 г метанола
12	1Х21Н5Т	*а* — 08Х19Н9Ф2Б; *б* — 04Х19Н9Ф2Б2	Под флюсом АНФ	65% HNO_3, кипение

Рис. 20. Электродные потенциалы различных зон сварных соединений

4. Основные виды коррозионных разрушений сварных соединений и методы их оценки

Тип коррозии	Коррозионные разрушения сварных соединений		Методы оценки коррозионной стойкости		
	Вид коррозии	Характер разрушения	Название	Характеристика	Показатель [23, 24] коррозии
Общая	Равномерная сварного соединения		Визуальное наблюдение и фотографирование	Дает качественную оценку	—
	Сосредоточенная на шве		Определение изменения веса	Дает среднюю характеристику разрушения (не учитывает неравномерность коррозии)	K_m в г/м² год, или K_d при пересчете для сос
	Равномерная основного металла		Измерение толщины образца и определение глубины коррозионного поражения. Снятие профилограммы	Учитывает неравномерность коррозии сварного соединения	K_d и для сос
	Сосредоточенная в зоне термического влияния		Определение изменения механических свойств (пределов прочности и удлинения) при растяжении	Оценивает сосредоточенную коррозию наравне с равномерной	K_σ в % год K_δ в % год
			Определение электродных потенциалов	Дает качественную и количественную оценку, учитывает неоднородность сварного соединения	φ [дел

Продолжение табл. 4

Тип коррозии	Коррозионные разрушения сварных соединений		Методы оценки коррозионной стойкости		
	Вид коррозии	Характер разрушения	Название	Характеристика	Показатель [23, 24] коррозии
Местная	Межкристаллитная структурная: в зоне термического влияния		Металлографическое исследование	Оценивает характер и глубину коррозии	
	в сварном шве		Определение изменения механических свойств при изгибе и растяжении	Выявляет и оценивает степень коррозионного поражения	K_σ, K_δ в %, *год*
	ножевая		Определение глубины коррозионного поражения	Является количественным методом при внешнем проявлении местной коррозии	K_l в *мм/год*
	Точечная, питтинговая язвенная		Электрохимические	Являются преимущественно качественными методами	–
Под напряжением	Коррозионное растрескивание (межкристаллитное и транскристаллитное разрушение)		Определение скорости появления коррозионного растрескивания	Является основным количественным методом оценки склонности и скорости появления растрескивания	τ в 1 *мин*, 1 ч
			Определение склонности к коррозионному растрескиванию по проценту растрескивающихся образцов	Оценивает вероятность растрескивания	N в %
	Коррозионная усталость (межкристаллитное и транскристаллитное разрушение)		Микроисследования, электрохимические исследования	Оценивают характер коррозии	–
			Определение условного предела коррозионно-усталостной прочности	Является основным количественным методом	σ_y в *кГ/мм²*

разрушения может быть учтена и можно заранее определить долговечность конструкции. Такой вид коррозионного разрушения характерен для большинства сварных конструкций из углеродистых и низколегированных сталей в обычных условиях эксплуатации (рис. 21).

Весьма опасным является сосредоточение общей коррозии на шве или в околошовной зоне, так как это может привести к чрезвычайно быстрому разрушению сварной конструкции при относительно небольших общих весовых потерях. Местные избирательные виды коррозии характерны для сварных соединений высоколегированных сталей и сплавов цветных металлов. Типичным примером является межкристаллитная коррозия аустенитных и хромоникелевых сталей, которая развивается в трех зонах: в основном металле, нагреваемом при сварке до 600—900° С, в сварном шве и в основном металле близ линии сплавления в узкой зоне, нагреваемой до температур более 1250° С (ножевая коррозия) [18, 25]. Точечная коррозия типична для пассивирующихся металлов (хром, алюминий, хромоникелевые стали и др.) и возникает в результате повреждения в отдельных участках пассивной пленки. В сварных соединениях точечной коррозии подвержена преимущественно зона термического влияния в связи с ослаблением пленки при нагреве.

Помимо приведенных в табл. 5 основных видов коррозии, сварные соединения могут подвергаться контактной коррозии в случае сварки разнородных металлов и сплавов, щелевой коррозии при наличии дефектов формы шва, особенно непроваров, и другим видам.

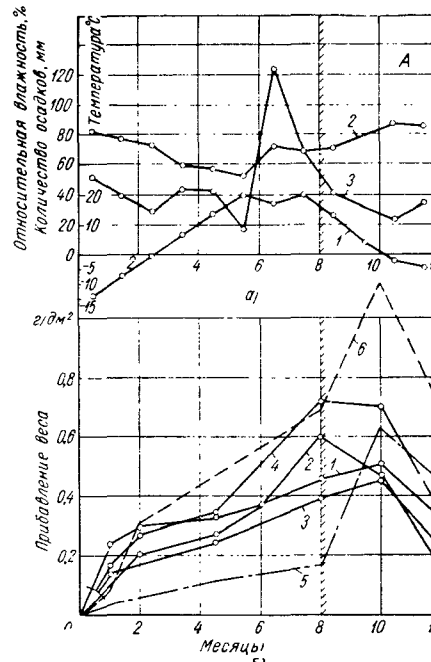


Рис. 21. Атмосферная коррозия сварных соединений: *а* – метеорологические условия; *1* — среднемесячная температура; *2* – среднемесячная относительная влажность; *3* — среднемесячное количество осадков; *б* – кинетические кривые коррозии сварных соединений; *1—4* — сталь Ст. 3; *1* — основной металл; *2* — сварной образец – ручная дуговая сварка электродами УОНИ 13/45; *3* – сварка под флюсом АН34А; *4* - сварка в CO_2; *5, 6* - алюминиевый сплав АМг6Н; *5* - основной металл; *6* — сварной образец – аргоно-дуговая сварка; *А* – область интенсификации коррозии в осенний период с уменьшением прироста веса образцов вследствие отслоения продуктов коррозии (плоские образцы 160×50×20 мм)

Коррозия сварных соединений при наличии напряжений

В зависимости от материала, напряжений, коррозионных условий наблюдаются следующие основные виды коррозии сварных соединений при наличии напряжений: общая ускоренная, коррозионное растрескивание и коррозионная усталость (последние два вида наиболее опасны).

Наличие напряжений увеличивает скорость общей коррозии металлов в кислых средах и незначительно в нейтральных и основных средах. Незначительно влияя на общую коррозию, напряжения интенсифицируют местные виды коррозии.

Коррозионное растрескивание вызывается совместным действием растягивающих статических или повторно-статических нагрузок и коррозионно

активной средой (рис. 22). Типичными средами, где наблюдается растрескивание сварных конструкций, являются: для углеродистых сталей — растворы щелочей и нитратов; для нержавеющих сталей — хлориды; для алюминиевых сплавов — растворы солей; для титановых сплавов — растворы неорганических кислот. Среды вызывают локальную коррозию и протекание сорбционных процессов, облегчающих возникновение и развитие трещины. Условия для разрушения создают растягивающие напряжения I рода, которые наряду с напряжениями II рода инициируют возникновение трещины и интенсифицируют про-

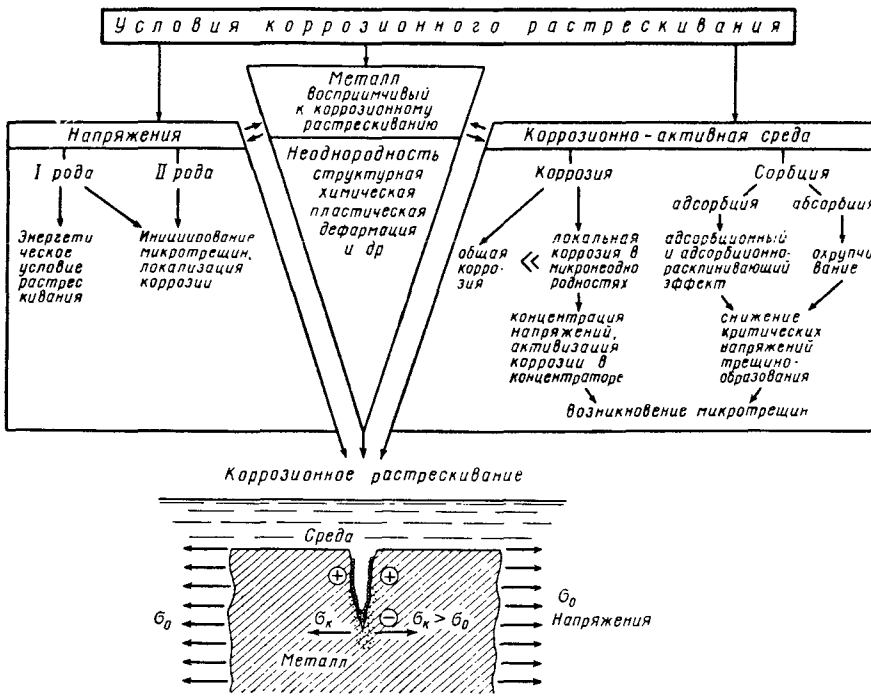


Рис. 22. Схема механизма коррозионного растрескивания

цесс коррозии в вершине трещины. Локализация коррозии, вызываемая микронеоднородностью металла, является одним из условий возникновения микроязвочки, которая развивается в микро- и макротрещину. Таким образом, коррозионное растрескивание определяется одновременным протеканием механических, коррозионных и сорбционных явлений. В зависимости от конкретных условий (среда, материал, величина и вид напряжений) и стадии разрушения, роль этих факторов различна и, соответственно, механизм растрескивания различен.

Особенностями сварных соединений, снижающими их стойкость против коррозионного разрушения при наличии напряжений, являются следующие:

а) повышенная макро- и микронеоднородность (химическая, структурная и др.) и термодинамическая неустойчивость сварного соединения и, следовательно, большая восприимчивость к воздействию коррозионного и сорбционного факторов;

б) более сложное и неблагоприятное напряженное состояние, характеризующееся локализацией остаточных сварочных напряжений и пластических деформаций и концентрацией напряжений в дефектах формы шва.

В зависимости от состояния металла и коррозионных условий склонность к коррозионному растрескиванию и опасная зона растрескивания определяются каким-либо из основных видов неоднородности: химической, структурной, пластической деформации, геометрической или их сочетанием. Например, растрескивание сварных соединений нержавеющих сталей в хлоридах происходит преимущественно в зоне максимальных пластических деформаций, где нагрев при сварке достигал 600—850° С.

При наличии в конструкциях остаточных сварочных напряжений и напряжений от внешней нагрузки вероятность и скорость коррозионного растрескивания резко возрастают, особенно в условиях двух- и трехосного напряженного состояния. Чувствительность различных металлов к влиянию вида напряженного состояния для различных металлов различна (рис. 23) и в настоящее время изучена недостаточно.

Коррозионные среды снижают циклическую прочность металлов. Разрушение металлов при коррозионном растрескивании и коррозионной усталости имеет много общего, характерным для обоих явлений является образование трещин при отсутствии на поверхности металла значительных разъеданий. Коррозионно-усталостная прочность сварных соединений изучена мало.

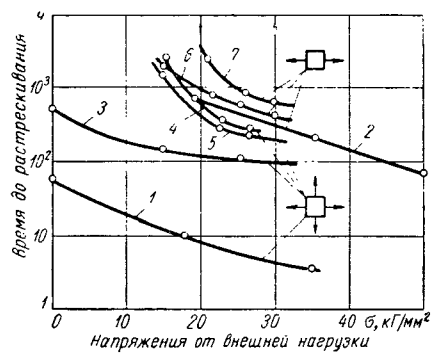


Рис. 23. Влияние величины и жесткости схемы напряжений на время до коррозионного растрескивания сварных соединений.

Методы определения коррозионных свойств сварных соединений

[14, 18, 24, 25, 30, 31, 35, 39]

Работоспособность сварной конструкции при коррозии, как правило, определяется работоспособностью сварного соединения. На нее влияют следующие основные факторы: свойства и качество основного и присадочного материалов; метод и технология сварки;

Таблица к рис. 23

Материал. Испытательная среда	Номера кривых на рис. 23					
	Сварные образцы	Основной металл	Вид напряжений от внешней нагрузки		Наличие двухосных остаточных сварочных напряжений	
			двухосный изгиб	одноосный изгиб	после сварки	после термообработки
Титановый сплав ОТ4 $\delta = 3$ мм. Бромисто-метаноловая среда БМ 2,5-15, 20° С	*1, 2*	—	*1*	*2*	*1* ($\sigma_l = 0{,}6\sigma_T$ $\sigma_r = 0{,}45\sigma_T$)	—
Нержавеющая сталь 1Х18Н10Т $\delta = 3$ мм. Хлористый магний $MgCl_2$, 152° С	*3, 4, 6*	*5, 7*	*3, 4, 5*	*6, 7*	*3* $\sigma_l = \sigma_r = \sigma_T$	*4* Отжиг 900° С $\sigma_{ост} = 0$

конструкция сварного узла; условия эксплуатации (коррозионная среда, температура, нагрузка).

Для оценки работоспособности сварных соединений и конструкций в условиях коррозии применяют три группы испытаний:

1) лабораторные и стендовые сварных образцов;

2) стендовые сварных узлов и конструкций;

3) натурные эксплуатационные сварных конструкций.

Натурные испытания позволяют непосредственно определить работоспособность конструкции, но имеют существенные недостатки, к числу которых относятся высокая стоимость, трудоемкость и продолжительность испытаний при недостаточной информации о влиянии различных технологических, конструктивных и коррозионных факторов.

Стендовые испытания дают возможность оценивать влияние различных факторов на работоспособность сварных соединений в условиях, имитирующих эксплуатационные. Для испытаний используются сварные узлы, выполненные по различным вариантам технологии, конструкции, с определенными, встречающимися на практике видами дефектов и т. д. Такие испытания позволяют получать обширную информацию о работоспособности сварных соединений и влиянии различных технологических, конструктивных и эксплуатационных факторов. Однако подобные стенды являются уникальными сооружениями, сложны и дороги.

Основная оценка коррозионных свойств сварных соединений производится по результатам лабораторных испытаний. Испытания натурные и стендовые используются главным образом как окончательные, поверочные.

Лабораторные и стендовые испытания образцов целесообразно проводить в два этапа:

1) испытания на стойкость сварных соединений против общей и местной коррозии без нагрузки; 2) оценка стойкости против коррозии под напряжением при благоприятных результатах испытаний первого этапа.

При лабораторных испытаниях необходимо сопоставление коррозионных свойств сварных соединений со свойствами основного металла.

Ориентировочные коэффициенты относительной стойкости, характеризующие снижение коррозионных свойств сварных соединений по сравнению со свойствами основного металла при различных видах коррозионных разрушений, приведены в табл. 5.

Методы коррозионных испытаний сварных соединений в настоящее время еще не стандартизованы. Используются методы, применяемые для основного металла [23, 24, 32], которые требуют доработки с учетом особенностей сварных соединений. Основные методы испытаний приведены в табл. 5. Для оценки стойкости против общей коррозии применяют два основных метода: весовой и профилографический. Образцы для оценки стойкости сварных соединений против общей коррозии приведены на рис. 24. Обычно габаритные размеры образцов 25×50; 25×70 *мм*. Коррозия образцов *а* и *б* обусловлена работой преимущественно микрокоррозионных пар; коррозия образца *в* — суммарным эффектом от работы микро- и макрокоррозионных пар. Площадь шва и зоны структурных превращений в образце *в* в 5—10 раз меньше общей площади образца. Скорость растворения металла при общей коррозии определяют также по глубинному показателю (уменьшение толщины металла в *мм/год*). Глубинный показатель K_d обычно вычисляют из величины весового показателя K_w, выраженного в $г/м^2 \cdot год$, по формуле

$$K_d = \frac{K_w}{\gamma} \cdot 10^{-3} \; мм/год, \qquad (6)$$

где γ — плотность металла в $г/см^3$.

Оценка коррозионной стойкости металлов и сплавов дается согласно ГОСТу 5272—50 по глубинному показателю по десятибалльной шкале. Для сварных соединений, подверженных сосредоточенной общей и местной коррозии, целесообразно определять глубину коррозионного поражения путем снятия

профиллограммы сварного соединения. Необходимо также определять изменение механических свойств. Механические испытания позволяют оценить снижение несущей способности материала как из за общей коррозии, так и вследствие снижения прочностных и пластических свойств, вызываемых местной коррозией, охрупчиванием металла, при насыщении продуктами коррозии, влиянием поверхностно-адсорбционного эффекта. Данные механических испытаний могут быть использованы для расчета несущей способности материала. Применяют два вида испытаний этого типа: на растяжение и изгиб. Сопоставляются свойства материала, не подверженного коррозии и после коррозионных испытаний. Преимущественное применение имеет испытание на растяжение по обычной методике. Недостатком этого метода является трудность выделения отдельных коррозионных процессов, большая трудоемкость. Испытания на статический изгиб имеют некоторое преимущество перед испытанием на растяжение, так как они лучше выявляют изменения свойств металла на поверхности, в особенности при охрупчивании. Используются малогабаритные образцы, более удобные для коррозионных испытаний [31].

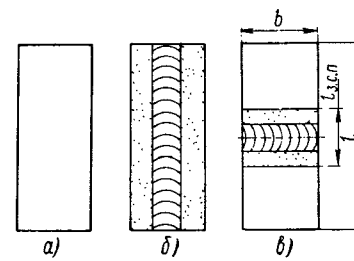


Рис. 24. Образцы для весовых испытаний на коррозию: *а* — основной металл; *б*—*в*—сварные образцы

Для аустенитных и аустенитно-ферритных нержавеющих сталей особое значение имеют испытания на межкристаллитную коррозию, которые регламентированы ГОСТом 6032—58 *.

Для оценки стойкости сварных соединений против коррозионных разрушений под напряжением применяют следующие испытания сварных образцов и узлов:

1. При одноосной внешней нагрузке, постоянном напряжении (растяжение или изгиб) и постоянной начальной деформации. Основным недостатком испытания, при относительной простоте, является то, что не воспроизводятся реальные условия нагружения сварного соединения (отсутствуют остаточные напряжения, одноосность напряжений). Основное назначение этих испытаний — сравнительная оценка влияния технологических и других факторов. Предпочтительны испытания при постоянной нагрузке, так как при испытаниях с постоянной деформацией в образцах изменяется напряженное состояние вследствие явлений ползучести, релаксации и коррозии.

2. Для оценки стойкости против коррозионного растрескивания, вызванного остаточными сварочными напряжениями, двух видов: натурных сварных узлов, например трубных сварных узлов, трубных решеток с вваренными патрубками, и образцов, имитирующих сварные соединения реальных конструкций (патрубки с кольцевым и продольным швом) (НИИХИММАШ), плоские пластины с продольным крестовым или круговым швом [38], дисковые образцы с круговым швом, позволяющие на одном типе образца получать различные виды напряженного состояния от жесткого двухосного до одноосного [31]. Рекомендуемые размеры дискового образца: диаметр 100—150 *мм* при толщине 2—5 *мм* с осесимметричным швом диаметром 20—40 *мм*.

3. При совместном действии остаточных сварочных напряжений и напряжений, вызванных внешней нагрузкой. Эти испытания позволяют воспроизводить реальные условия нагружения.

Схемы испытаний приведены на рис. 25.

Предел коррозионной усталостной прочности металла $\sigma_н$ условно определяют на ограниченном числе циклов N (для стали $N = 10 \cdot 10^6$)[24].

Помимо рассмотренных основных методов испытания для изучения механизма и скорости коррозионных разрушений сварных соединений, применяются металлографические, электронографические, электрохимические, фрактографические и другие специальные методы исследований.

5. Ориентировочные коэффициенты относительной стойкости сварных соединений при различных видах коррозионного разрушения

Материал	Коррозионная среда	Общая коррозия		Местная коррозия (М. К. К., точечная)		Коррозионное растрескивание		Основной вид коррозионного разрушения сварного соединения
		Ориентировочная стойкость основного металла	$\frac{K_{ucм}}{K_{uc}}$	Ориентировочная стойкость основного металла	$\frac{K_{\sigma м}}{K_{\sigma c}}\left(\frac{K_{dм}}{K_{dc}}\right)$	Ориентировочная стойкость основного металла	$\frac{\tau_м}{\tau_c}$	
Углеродистая сталь типа Ст. 3	Атмосферные условия	Стоек (3–5 баллов)	0,8	Стоек	1	Стоек	1	Общая коррозия
	Морская вода	Малостоек (6–8 баллов)	0,4–0,7	Стоек	1	Стоек	1	Общая сосредоточенная коррозия
	Едкий натр 50% (57 °С)	Пониженно стоек (6 баллов)	~1	—	—	Подвержен растрескиванию	<1	Коррозионное растрескивание
Нержавеющая хромоникелевая сталь типа Х18Н9	Атмосферные условия	Весьма стоек (2—3 балла)	1	Стоек	1	Стоек	1	Стоек
	Морская вода	Стоек (4—5 баллов)	≤1	Подвержен точечной коррозии	≤1	Стоек	1	Точечная коррозия
	Азотная кислота: 65% (кипение)	Стоек (5 баллов)	<1	Подвержен М. К. К.	<1	Стоек	<1	Межкристаллитная коррозия
	98% (20° С)	Стоек	≤1	Стоек	<1 при наличии дефектов	—	<1 при наличии дефектов	То же, растрескивание в дефектах шва
	Соляная кислота (0–5° С)	Пониженно стоек (6 баллов)	0,5	Стоек	0,3 охрупчивание	—	—	Общая сосредоточенная коррозия
	Насыщенный раствор хлористого магния (кипение)	—	—	—	—	Подвержен растрескиванию	0,05–0,5	Коррозионное растрескивание

Алюминий АД1	Атмосферные условия	Стоек (4 балла)	$\leqslant 1$	Возможна точечная коррозия	$\leqslant 1$	Стоек	1	Точечная коррозия
	Морская вода	Стоек (4–6 баллов)	$\leqslant 1$	Язвенная коррозия	$\leqslant 1$	Стоек	1	Язвенная коррозия
	Дымящая азотная кислота 98% (20° С)	Стоек (4–5 баллов)	$\leqslant 1$	Стоек	1	Стоек	1	Стоек
Технический титан ВТ1-1	Атмосферные условия и морская вода	Совершенно стоек (1 балл)	1	Стоек	1	Стоек	1	Стоек
	Азотная кислота:							
	65% (кипение)	Стоек (4 балла)	$\leqslant 1$	Возможна М. К. К.	$\leqslant 1$			М. К. К.
	98% (20° С)	Стоек, возможна пирофорная реакция	$\leqslant 1$	—	$\leqslant 1$	Возможно межкристаллическое растрескивание	$\leqslant 1$	пирофорная реакция
	Соляная кислота (20° С)	Пониженно стоек (6 баллов)	0.7	Стоек	0.8 Возможно охрупчивание	Стоек	$\leqslant 1$	Общая коррозия
	Бромистый метанол 2.5% Br, 1% H_2O, остальное метиловый спирт (20° С)	Пониженно стоек (6 баллов)	$\leqslant 1$	Подвержен М. К. К.	$\leqslant 1$	Подвержен межкристаллитному растрескиванию	$\leqslant 1$	Межкристаллитное коррозионное растрескивание

Примечания: 1. K_M, K_C – показатели коррозии основного металла и сварного соединения; K_w, K_d, K_σ весовой, глубинный, прочностной показатели коррозии (см. табл. 4).

2. $K = 1$ – сварное соединение, равноценное основному металлу;
$K > 1$ – стойкость сварного соединения ниже стойкости основного металла;
$K \leqslant 1$ – стойкость сварного соединения близка к стойкости основного металла

Основные методы повышения стойкости сварных конструкций против коррозионных разрушений

Повысить стойкость сварных соединений против коррозионных разрушений можно общими [32] и специальными методами (табл. 6).

6. Основные методы повышения стойкости сварных соединений и конструкций против коррозионных разрушений

Общие методы	Специальные методы	
	Уменьшение химической и структурной неоднородности	Улучшение напряженного состояния
Рациональный выбор и разработка новых коррозионностойких конструкционных материалов	Выбор оптимального состава и улучшение свойств (термообработка) основного металла перед сваркой	Рациональное конструирование сварных соединений и узлов (уменьшение размеров зон с остаточными сварочными напряжениями, уменьшение величины напряжений, жесткости их схемы и др.)
Рациональное конструирование, технология изготовления и эксплуатация изделия	Подбор рациональных присадочных материалов (проволок, покрытий, флюсов, защитных газов) и конструкции соединений с целью регулирования химического состава сварного шва	Регулирование термического цикла сварки режимами сварки и применением предварительного и сопутствующего подогрева
Применение защитных покрытий: на органической основе (лакокрасочные и высокополимерные краски); на неорганической основе (окисные, фосфатные, хроматные и др.); металлические (металлизационные, горячие, диффузионные, плакирование)	Регулирование термического цикла сварки и условий кристаллизации (сварка на минимальной погонной энергии; концентрированными источниками тепла; сварка в твердой фазе; дополнительное охлаждение и др.; модификация; «замораживание», ультразвуковая обработка сварочной ванны)	Получение сварного соединения без концентраторов напряжений, без дефектов формы шва
Применение методов торможения коррозии: обработка коррозионной среды – удаление стимуляторов и введение замедлителей (ингибиторов) коррозии Электрохимическая защита с подачей внешнего тока (катодная и анодная), применение протекторов	Термическая и термомеханическая обработка после сварки	Снятие остаточных сварочных напряжений (термическая, механическая, термомеханическая, ультразвуковая обработка) Создание сжимающих напряжений на поверхности сварного соединения механической обработкой (прокатка, скоростное деформирование, дробеструйная обработка)

Основным путем повышения стойкости сварных конструкций против коррозионных разрушений при использовании различных специальных методов является уменьшение неоднородности сварных соединений (химической, структурной, геометрической, механической, напряженного состояния), уменьшение макро- и микроэлектрохимической гетерогенности как литого металла шва, так и всего сварного соединения и приближение его коррозионной стойкости к стойкости основного металла. Для этой цели используют различные методы, применяемые до сварки, в процессе сварки и после завершения ее. Применение мето-

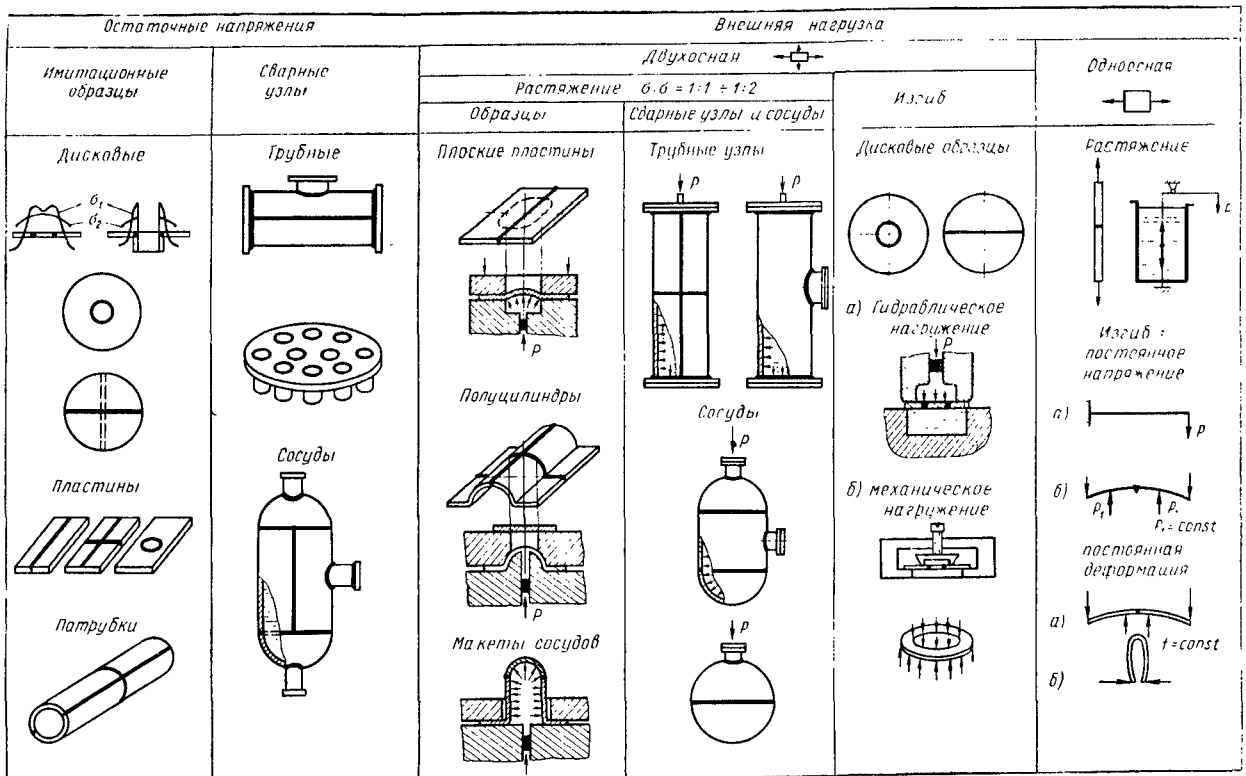


Рис. 25. Схемы испытаний сварных соединений на коррозию под напряжением

дов и способов сварки с меньшим тепловложением в единицу времени при прочих равных условиях увеличивает коррозионную стойкость сварных соединений. Перспективными являются методы получения сварного соединения в твердой фазе без расплавления металла.

Для повышения коррозионной стойкости сварного соединения необходимо в большинстве случаев получать химический состав сварного шва, идентичный химическому составу основного металла. Регулирование химического состава шва осуществляется рациональным подбором присадочных материалов, геометрии сварного соединения и режимов сварки.

Для уменьшения структурной неоднородности сварных соединений наряду с регулированием термического цикла сварки и применением термической обработки разрабатываются методы регулирования кристаллизации путем модификации, «замораживания» сварочной ванны, ультразвуковой обработки.

Улучшение напряженного состояния достигается уменьшением величины напряжений, зоны действия растягивающих напряжений и изменением вида напряженного состояния.

Уменьшение геометрической неоднородности за счет устранения непроваров, подрезов, несплавлений повышает стойкость сварных соединений против местных видов коррозии: щелевой, застойной и коррозионного растрескивания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бакши О. А. и Шрон Р. З. Прочность при статическом растяжении сварных соединений с мягкой прослойкой. «Сварочное производство», 1962, № 5.
2. Винокуров В. А., Скурихин М. Н. Влияние пластических деформаций и остаточных напряжений на сопротивляемость сталей разрушениям при пониженных температурах. «Автоматическая сварка», 1967, № 4.
3. Ганченко М. Н. Хрупкое разрушение сварных соединений и конструкций. М., Машгиз, 1963.
4. Дроздовский Б. А., Фридман Я. Б. Влияние трещин на механические свойства конструкционных сталей. М., Металлургиздат, 1960.
5. Жемчужников Г. В. и др. Влияние непроваров на статическую прочность стыковых соединений при низких температурах. «Автоматическая сварка», 1968, № 3.
6. Земзин В. Н. и Смирнова И. Д. Влияние масштабного фактора на длительную прочность сварных соединений хромомолибденованадиевой стали. «Автоматическая сварка», 1967, № 10.
7. Земзин В. Н. и Станюкович А. В. Склонность сварных соединений аустенитных сталей к локальным разрушениям в околошовной зоне при высоких температурах. «Автоматическая сварка», 1961, № 7.
8. Земзин В. Н. и Френкель Л. Д. Сварные конструкции паровых и газовых турбин. М — Л., Машгиз, 1962.
9. Земзин В. Н. Опыт эксплуатации аустенитных паропроводов на электростанциях США. «Энергомашиностроение», 1958, № 4.
10. Карпенко Г. В. Прочность стали в коррозионной среде. М., Машгиз, 1963.
11. Качанов Л. М. Ползучесть тонкого слоя при сжатии и изгибе. «Известия АН СССР. ОТН. Механика и машиностроение», 1963, № 4.
12. Кошелев П. Ф., Беляев С. Е. Прочность и пластичность конструкционных материалов при низких температурах. Справочное пособие. М., «Машиностроение», 1967.
13. Кузмак Е. М. и др. Хрупкое разрушение сварных соединений термоупрочненных низколегированных сталей. «Сварочное производство», 1967, № 9.
14. Лангер И. А., Ягупольская Л. Н. Электрохимические характеристики сварных соединений в агрессивных средах. «Автоматическая сварка», 1963, № 12.
15. Лившиц Л. С. Расчет устойчивости трубопроводов против хрупких разрушений. «Строительство трубопроводов», 1968, № 3.
16. Любавский К. В. и Никитин Ю. М. О локальном разрушении сварных соединений аустенитных сталей. «Автоматическая сварка», 1960, № 7.
17. Медовар Б. И. и Лупюк-Худин В. А. К вопросу о локальном разрушении сварных соединений аустенитных сталей. «Автоматическая сварка», 1961, № 12.
18. Медовар Б. И. Сварка хромоникелевых аустенитных сталей. М., Машгиз, 1958.
19. Нормы расчета элементов паровых котлов на прочность. ЦКТИ, Руководящие указания. Вып. 11. Л., 1965.
20. Островская С. А. Влияние начальной температуры основного металла на свойства сварного соединения. «Автоматическая сварка», 1967, № 2.
21. Погодин-Алексеев Г. И. Динамическая прочность и хрупкость сталей. М., «Машиностроение», 1966.
22. Попов К. В., Киселев Ю. В. Влияние работы в условиях усталости на хладноломкость стали. «Автоматическая сварка», 1967, № 3.

23. Розенфельд И. Л., Жигалова К. А. Ускоренные методы коррозионных испытаний металлов. М., «Металлургия», 1966.
24. Романов В. В. Методы исследования коррозии металлов. М., «Металлургия», 1965.
25. Медовар Б. И. Сварка жаропрочных аустенитных сталей и сплавов. М., «Машиностроение», 1966.
26. Сергеев С. В., Махутов Н. А. Механические закономерности хрупкого разрушения. «Автоматическая сварка», 1967, № 8.
27. Соколовский И. И. Малоуглеродистые и низколегированные стали. Металлургиздат, 1966.
28. Станюкович Н. В. и Земзин В. Н. Методы оценки линейной прочности сварных соединений. «Заводская лаборатория», 1959, № 6.
29. Станюкович А. В. Хрупкость и пластичность жаропрочных материалов. М., «Металлургия», 1967.
30. Стеклов О. И. Надежность сварных конструкций при работе в коррозионных средах. Сб. «Надежность сварных конструкций и соединений». М., «Машиностроение», 1967.
31. Стеклов О. И. Об оценке стойкости напряженных сварных конструкций против коррозионных разрушений. Сб. «Прочность сварных конструкций». М., «Машиностроение», 1966.
32. Томашов Н. Д. Теория коррозии и защиты металлов. АН СССР, 1959.
33. Физический энциклопедический справочник, т. 2. Госпаучиздат, 1962.
34. Химушин Ф. Ф. Жаропрочные стали и сплавы. М., «Металлургия».
35. Шварц Г. Л., Кристалль М. М. Коррозия химической аппаратуры. М., Машгиз, 1959.
36. B. Baumel. Das Korrosions Verhalten der Schweißnahten an ferritischen Chromstöhlen. Fachbuchreihe «Schweißtechnik» Band 36 Düsseldorf.
37. Glass. Korrosionseinfluß auf die Schweißverbindungen Vorträge Deutsche — Englische Schweißtechnische Gemeinschaftstagung Düsseldorf 1967.
38. Rädeker W., Friche W. Prüfung von Schweißnähten auf interkristalline Spannungsriß- korrosion. Schweißen und Schneiden 1966 N 11.
39. Valanti V. O. Über galvanische Korrosion von Schweißnähten an geschweißten Wasser fahrzeugen «Schiff und Hafen» 1961, N 8.

РАЗДЕЛ II

ПРОИЗВОДСТВО СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

ГЛАВА IV

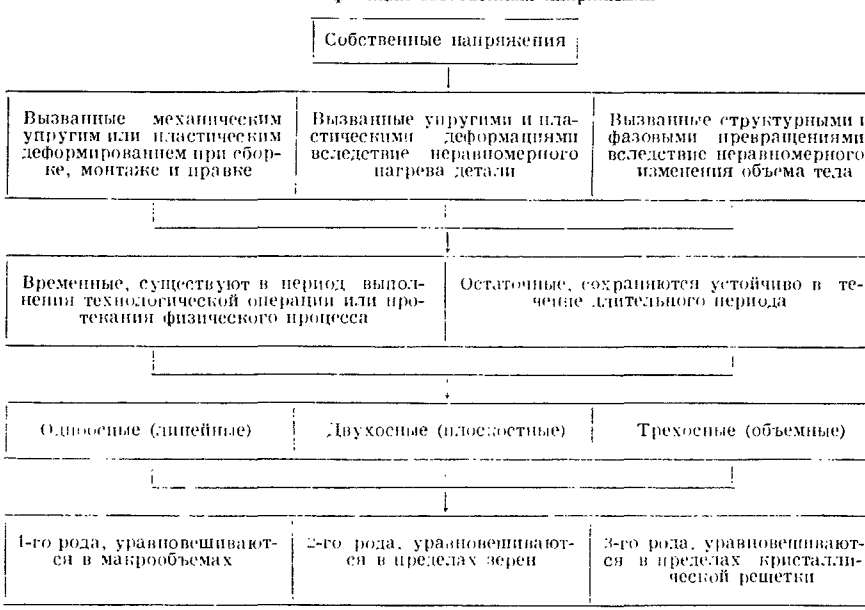
ДЕФОРМАЦИИ, НАПРЯЖЕНИЯ И ПЕРЕМЕЩЕНИЯ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ СВАРКЕ КОНСТРУКЦИЙ

ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ

Неравномерный нагрев металла при сварке и его расширение вызывают появление собственных деформаций и напряжений. В отличие от напряжений, создаваемых рабочими нагрузками, собственные деформации и напряжения существуют в теле при отсутствии внешних сил.

Собственные напряжения классифицируют (табл. 1) в зависимости от причин их образования, продолжительности существования, характера напряженного состояния и объема их взаимного уравновешивания. Ниже рассматриваются напряжения, деформации и перемещения, действующие в макрообъемах, т. е. первого рода.

1. Классификация собственных напряжений



Нормальные напряжения, направление которых параллельно сварному шву, называют продольными и обозначают обычно σ_x. Напряжения, действую-

щие перпендикулярно оси шва в плоскости соединяемых элементов, называют поперечными — σ_y. Напряжения в направлении, перпендикулярном плоскости листа, обозначают σ_z. Независимо от характера распределения напряжений в теле собственные напряжения в пределах любого сечения, полностью пересекающего все тело, уравновешены как по сумме сил, так и по сумме моментов.

Деформации металла могут быть упругие и пластические. Упругие деформации пропорциональны действующим напряжениям. Кроме напряжений и деформаций, характеризующих состояние отдельных объемов металла, при

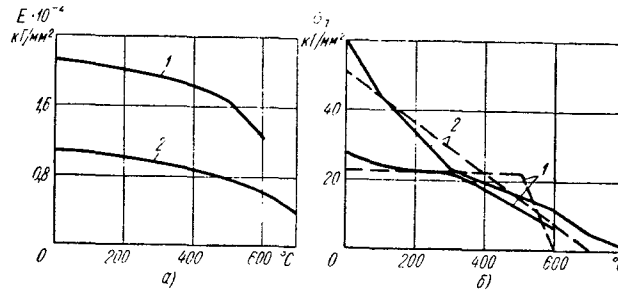


Рис. 1. Механические свойства металлов при высоких температурах: *а* — модуль упругости; *б* — предел текучести; *1* — низкоуглеродистая сталь; *2* — титановый сплав; — — действительные зависимости — · — · — · — схематизированные зависимости

сварке возникают перемещения, характеризующие изменение положения точек сварной конструкции в пространстве. Это — укорочение, изгиб, поворот сечений, потеря устойчивости листовых элементов и др. Перемещения позволяют судить об изменении формы конструкции и о величине возникающих искажений. Деформации и перемещения могут быть временные и остаточные.

Для описания температурных полей при расчетах деформаций и напряжений можно пользоваться теорией тепловых процессов при сварке [8]. Теплофизические коэффициенты рекомендуется принимать по табл. 2.

2. Значения теплофизических коэффициентов для некоторых металлов

Материал	$\alpha \cdot 10^6$ $\frac{1}{град}$	$T_{ср}$ в °С для λ, cγ, *a*	λ в $\frac{дж}{см \cdot сек \cdot град}$	c γ в $\frac{дж}{см^3 \cdot град}$	*a* в $см^2/сек$
Низкоуглеродистые и низколегированные стали	$\frac{12-16}{16,5-17}$ *	500—600	0,38—0,42	4,9—5,2	0,075—0,09
Аустенитные хромоникелевые стали	16—20	600	0,25—0,33	4,4—4,8	0,053—0,07
Алюминий	23—27	300	2,7	2,7	1,0
Технический титан	8,5	700	0,17	2,8	0,06

* Средний коэффициент линейного расширения α′ в диапазоне температур 0—1000° С, при определении которого исключено сокращение металла вследствие структурного превращения.

Для определения сварочных деформаций и напряжений используют зависимости предела текучести $\sigma_т$ и модуля упругости E от температуры (рис. 1). В упрощенных расчетных методах модуль упругости E (рис. 1, *а*) принимают

независящим от температуры и равным значению E при комнатной температуре. В зависимости от характера структурных превращений (скорости охлаждения при сварке) предел текучести металлов может изменяться в широких интервалах.

При определении деформаций, напряжений и перемещений обычно используют средний коэффициент линейного расширения $\alpha_{ср}$ (рис. 2). В ряде случаев

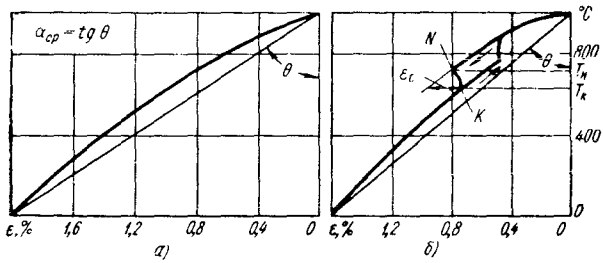


Рис. 2. Характерные дилатограммы сталей: *а* — аустенитной; *б* — перлитной

необходимо учитывать кинетику изменения размеров объема тела. В отличие от аустенитных сталей, где изменение длины в зависимости от температуры происходит монотонно (рис. 2, *а*), в перлитных сталях расширение металла при нагреве прерывается его сокращением (рис. 2, *б*). При охлаждении наблюдается обратная картина. Чем выше скорость охлаждения, тем значительнее смещаются температуры начала и конца структурного превращения $T_н$ и $T_к$ в область более низких температур и тем больше становится деформация структурного превращения ε_c. Данные о $T_н$, $T_к$ и ε_c для некоторых сталей приведены в литературе [4].

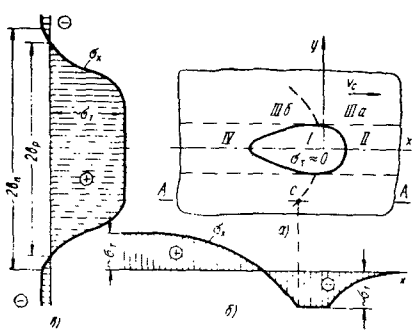


Рис 3. Схема образования напряжений σ_x при однопроходной сварке пластин встык: *а* — зоны в пластине при движении температурного поля; *б* — временные напряжения σ_x в сечении $A-A$; *в* — остаточные продольные напряжения σ_x в поперечном сечении пластины

При сварке пластин (рис. 3, *а*) зона *I*, очерченная изотермой, соответствует температуре, где $\sigma_T \approx 0$; здесь собственные напряжения незначительны, но протекают большие пластические деформации. В зоне *II*, прилегающей к зоне *I*, имеются поперечные сжимающие напряжения σ_y. В зоне *IIIа*, где металл нагревается, сжимающие напряжения σ_x возрастают (рис. 3, *б*) до значений σ_T. Затем при $\sigma_x \approx \sigma_T$ протекает пластическая деформация укорочения. В точке *C* начинается охлаждение металла, сжимающие напряжения σ_x уменьшаются. Ввиду того, что при нагреве возникла пластическая деформация укорочения, волокна металла после остывания оказываются короче первоначального размера. В них при охлаждении в зоне *IIIб* появляются растягивающие напряжения σ_x, которые могут достигнуть величины σ_T и вызвать пластическую деформацию удлинения. В результате после полного остывания в зоне $2b_р$ действуют растягивающие остаточные напряжения σ_x (рис. 3, *в*), которые уравновешены сжимающими остаточными напряжениями. Размер $2b_р$ показывает ширину зоны, где протекали при сварке пластические деформации.

СОБСТВЕННЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ И МЕТОДЫ ИХ РАСЧЕТНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Имеется несколько методов определения собственных напряжений при сварке. Первая группа включает приближенные методы. Здесь используются следующие допущения:

1) гипотеза одноосных напряжений и плоских сечений;

2) схематизированная диаграмма зависимости предела текучести от температуры и диаграмма идеального упруго-пластического тела;

3) предельное температурное состояние при условии постоянства теплофизических констант металла.

В методе Г. А. Николаева [6] для расчета деформаций и напряжений рассматривается распределение температур в сечении *I—I*, пересекающем изотерму 600° С при максимальной ее ширине (рис. 4). Прямая *mm'* на рис. 4, *а* проводится из условия уравновешенности по ширине пластины упругих деформаций, показанных прямой штриховкой в левой части рисунка. Косой штриховкой на рис. 4, *а* отмечены пластические деформации укорочения металла. l_1 соответствует зоне упругих деформаций, а l_2, l_3 и l_4 — пластических (на рис. 4, *в* обозначены размером $2b_n$). На рис. 4, *в* линией *add'a'* показана перенесенная с рис. 4, *а* эпюра пластических деформаций укорочения, возникших при нагреве. После остывания влияние пластических деформаций укорочения обнаруживается в том, что возникают растягивающие напряжения в средней части пластины и сжимающие по краям (показаны прямой штриховкой на рис. 4, *в*). Незаштрихованная часть эпюры *fdd'f'* на рис. 4, *в* выражает пластические деформации удлинения. Остаточные пластические деформации укорочения $\varepsilon_{пл.ос}$ равны разности между пластическими деформациями укорочения (нагрев) и пластическими деформациями удлинения (остывание). Они представлены на рис. 4, *в* эпюрой *aff'a'*. Зона шириной *kk'* носит название зоны растягивающих напряжений, а шириной *aa'* — пластических деформаций.

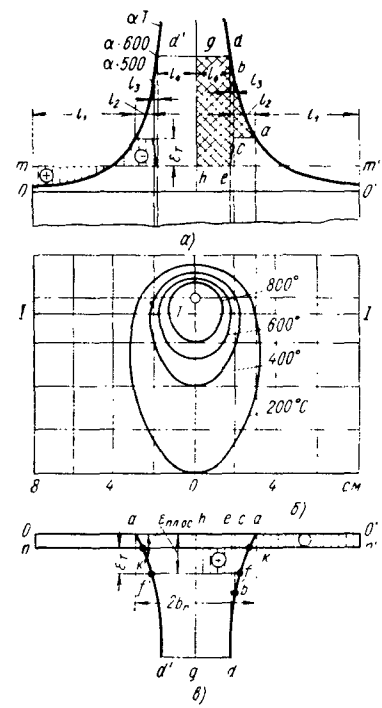


Рис. 4. Определение продольных деформаций и напряжений при сварке узких пластин [2]: *а* — распределение температур и деформаций в сечении *I—I*; *б* — температурное поле в пластине при сварке; *в* — эпюра остаточных деформаций в пластине

При определении перемещений в сварных конструкциях используется понятие фиктивной усадочной силы $P_{ус}$, величина которой пропорциональна площади эпюры остаточных пластических деформаций *afi'a'*:

$$P_{ус} = \int_{-b_n}^{+b_n} \varepsilon_{пл.ос} \delta E \, dy, \qquad (1)$$

где δ — толщина пластины;

E — модуль упругости металла.

В методе Н. О. Окерблома [7] для определения величины, которая пропорциональна усадочной силе, используется распределение температур в нескольких сечениях пластины, а в случае быстродвижущегося источника тепла — распределение максимальных температур.

Вторая группа методов не привлекает допущение об одноосности напряжений и плоских сечениях. Эти методы основаны на использовании аппарата теории упругости и пластичности при решении температурных задач.

Определение временных и остаточных напряжений и деформаций при сварке пластин может быть выполнено методами теории пластичности с использованием цифровых вычислительных машин [4,5]. Результаты решения содержат в себе распределение напряжений σ_x, σ_y, τ_{xy} и деформаций ε_x, ε_y, ε_z и γ_{xy} в

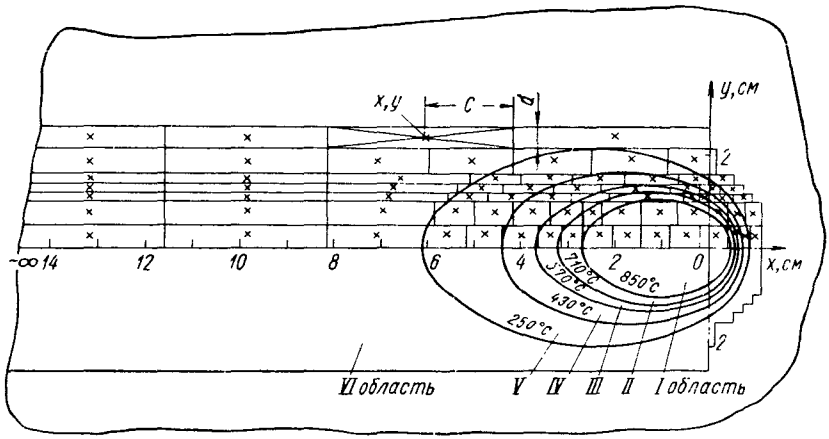


Рис. 5. Схема деления зоны упруго-пластических деформаций на полосы и отрезки при определении сварочных деформаций и напряжений

различных точках свариваемой пластины. Метод предусматривает выполнение следующих операций:

1) свариваемую пластину делят примерно на две зоны: упругую и пластическую, где ожидается протекание пластических деформаций;

2) пластическую зону делят на ряд полос и отрезков (рис. 5). Центры отрезков являются точками, в которых должны быть найдены напряжения и деформации;

3) в пределах пластической зоны выделяют 5—8 областей, ограниченных изотермами, и для каждой области задают диаграмму $\sigma = f(\varepsilon)$ или $\tau_{окт} = f(\gamma_{окт})$ и коэффициент Пуассона μ с учетом средней температуры области (диаграмма несет в себе информацию о E, $\sigma_т$ и упрочнении материала);

4) с применением ЦВМ по известному температурному полю вычисляют для всех назначенных точек σ_x, σ_y, τ_{xy}, ε_x, ε_y, ε_z, γ_{xy} упругого поля;

5) для каждой точки в «память» машины направляют напряжения и деформации, указанные в п. 4; координаты точки x и y; ширину и длину отрезка (рис. 5); принадлежность точки к температурной области и типу диаграммы $\tau_{окт} = (\gamma_{окт})$;

6) решение выполняют за несколько приближений с использованием метода упругих решений А. А. Ильюшина, с учетом истории нагружения материала в предыдущих отрезках при продвижении поля в пластине, а также перераспределения деформаций и напряжений, вызванного пластическими деформациями металла.

Результаты решения задач позволяют получать как временные деформации и напряжения, так и остаточные в области полного остывания при сварке пластин на различных режимах с разнообразными свойствами.

На основании многочисленных экспериментальных и теоретических исследований сложились следующие представления о распределении остаточных напряжений σ_x в стыковых однопроходных соединениях, выполненных электродуговой сваркой.

В перлитных и аустенитных сталях, а также в титановых сплавах, структурные превращения в которых либо вовсе не происходят, либо завершаются при высоких температурах, когда $\sigma_T \approx 0$, характер распределения остаточных напряжений одинаков (рис. 6, *а*, *б*, *в*). Максимальные растягивающие напряже-

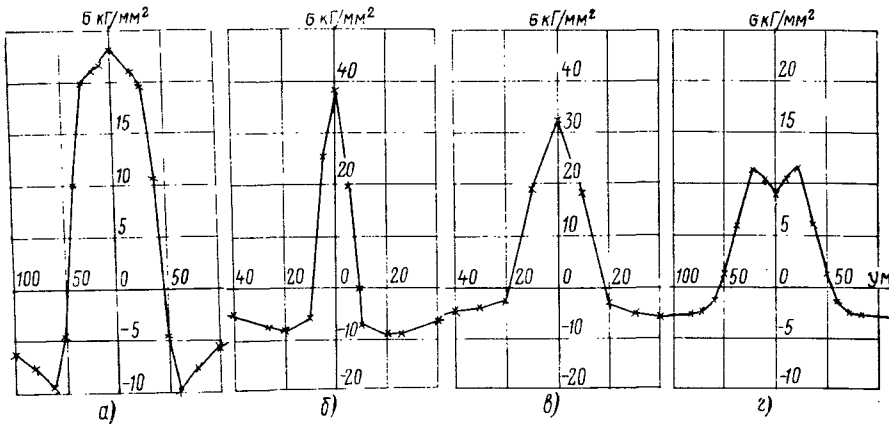


Рис. 6. Характер распределения остаточных напряжений σ_x в средней части сварных пластин: *а* — низкоуглеродистая сталь Ст.3 $\delta = 8$ мм; *б* — аустенитная сталь 1Х18Н9Т $\delta = 2$ мм; *в* — титановый сплав ОТ-4; $\delta = 1{,}5$ мм; *г* — алюминиевый сплав АМг-6; $\delta = 10$ мм

ния действуют в шве и околошовных зонах: в низкоуглеродистых и аустенитных сталях $\sigma_{x\,max} \approx \sigma_T$ (рис. 6, *а*, *б*), в титановых сплавах (рис. 6, *в*) $\sigma_{x\,max} \approx (0{,}5 \div 0{,}8)\,\sigma_T$. Бо́льшие уровни напряжений σ_x в последнем случае соответствуют мощным быстродвижущимся дугам. В алюминиевых сплавах в средней части наблюдается характерный «седлообразный» вид эпюры (рис. 6, *г*): $\sigma_{x\,max} \approx (0{,}6 \div 0{,}8)\sigma_T$. Растягивающие напряжения уравновешены сжимающими напряжениями в основном металле; средняя величина последних зависит от P_{yc} и ширины сварной пластины $2B$ и выражается приближенно следующей формулой:

$$\sigma_{сж} \approx \frac{P_{yc}}{2B}. \qquad (2)$$

Представленные на рис. 6 напряжения σ_x действуют по всей длине пластин, за исключением концевых участков.

Структурные превращения, происходящие в металлах при температурах, когда $\sigma_T \neq 0$, оказывают влияние на величину продольных остаточных напряжений σ_x. Чем ниже температура структурного превращения, сопровождающегося расширением металла (рис. 2, *б*), тем меньше в этой зоне остаточные растягивающие напряжения σ_x. При низких температурах превращений (ниже 300—400° С) возникают сжимающие напряжения σ_x. На рис. 7, *а* показано типичное распределение напряжений σ_x в легированной стали. Зона сжимающих

напряжений при нагреве и остывании испытала структурное превращение. В околошовной зоне, где протекали пластические деформации, действуют растягивающие напряжения, близкие к $\sigma_т$ основного металла. Усадочная сила P_{yc} в таких соединениях может быть близкой к нулю. В легированных сталях,

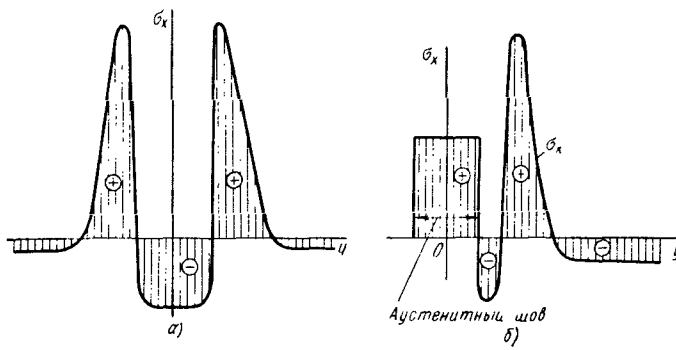


Рис. 7. Характер распределения остаточных напряжений в однопроходных сварных соединениях среднелегированных сталей, испытывающих структурные превращения: *а* — присадочный металл по химическому составу совпадает с основным металлом; *б* — присадочный металл — аустенитная сталь

сваренных аустенитным электродом (рис. 7, *б*), в шве напряжения σ_x растягивающие, равные $\sigma_т$ аустенита, в околошовной зоне структурных превращений — σ_x сжимающие. По краям зоны пластических деформаций напряжения σ_x растягивающие, близкие к $\sigma_т$ основного металла.

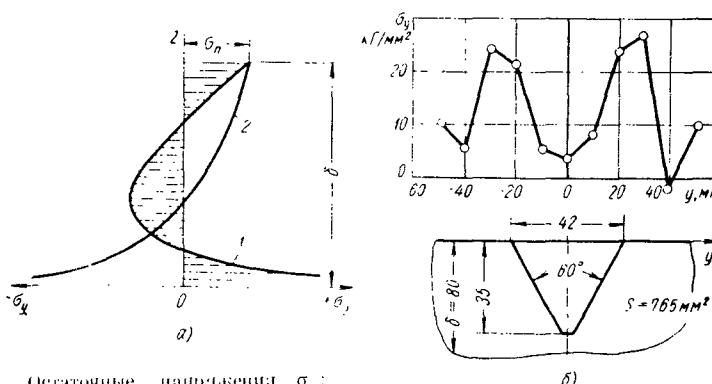


Рис. 8. Остаточные напряжения σ_y: *а* — в многослойном шве низкоуглеродистой стали; *б* — на поверхности пластин из среднелегированной стали с аустенитным швом

Поперечные напряжения σ_y в электродуговых однопроходных соединениях зависят от скорости сварки, длины и ширины пластин, условий охлаждения и закреплений. Они являются взаимно уравновешенными и поэтому могут быть как растягивающими, так и сжимающими. Значительные растягивающие напряжения σ_y с протеканием пластических деформаций удлинения в период остывания возникают при сварке коротких швов в жестком контуре (например, при заварке дефектных участков).

Напряжения σ_z в электродуговых однопроходных швах незначительны.

Остаточные напряжения в многослойных стыковых швах зависят от свойств металла, количества слоев, режима сварки и условий закрепления. Распределение продольных напряжений σ_x подчиняется примерно тем же закономерностям, что и в однопроходных электродуговых соединениях. Распределение поперечных напряжений σ_y в многослойных швах с V-образной разделкой зависит от характера закреплений свариваемых пластин. При сварке незакрепленных пластин вследствие поперечной усадки отдельных слоев и поворота пластин относительно друг друга в корне шва напряжения $\sigma_y > \sigma_x$ (кривая *1* на рис. 8, *а*), а при больших толщинах (80 — 100 *мм* и более) могут достигать значений, вызывающих разрушение. Наоборот, при сварке пластин, где угловой поворот невозможен, а поперечная усадка происходит беспрепятственно, в корне шва возникают сжимающие напряжения σ_y (кривая *2* на рис. 8, *а*). В последних слоях швов $\sigma_y \approx (0{,}4 \div 0{,}6)\sigma_x$ и являются растягивающими (рис. 8, *а*). Напряжения σ_z могут быть и сжимающими и растягивающими, что зависит от режима укладки валиков вышележащих слоев. В легированных сталях в зоне структурных превращений напряжения σ_x, как правило, сжимающие, а напряжения σ_y на поверхности пластин являются растягивающими с максимумом на линии сплавления (рис. 8, *б*).

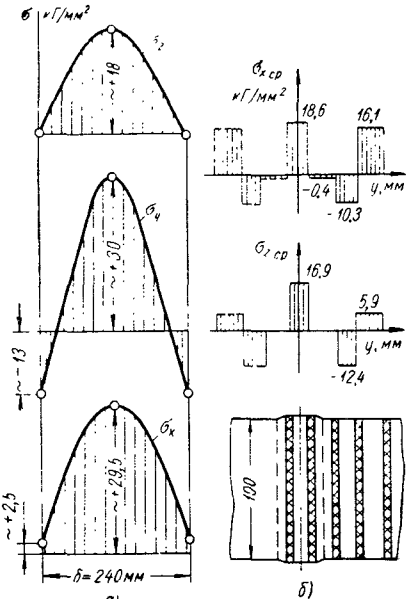


Рис. 9. Остаточные напряжения в электрошлаковых стыковых сварных соединениях: *а* — распределение σ_x, σ_y, σ_z по толщине шва углеродистой стали, $\delta = 240$ *мм*; *б* — распределение средних напряжений $\sigma_{x_{ср}}$ и $\sigma_{z_{ср}}$ по ширине соединения из среднелегированной стали с аустенитным швом

В электрошлаковых сварных соединениях из низкоуглеродистых сталей толщиной примерно до 150 *мм*, выполняемых с большим проваром, распределение напряжений аналогично распределениям в электродуговых однопроходных соединениях. Напряжения σ_x значительны, а σ_y и σ_z существенно меньше σ_x. При толщине элементов 150 — 200 *мм* и более, в особенности при малых погонных энергиях сварки, распределение напряжений по толщине швов крайне неравномерно (рис. 9, *а*). По оси все три компонента растягивающие; причем вследствие объемности напряженного состояния отдельные компоненты превосходят σ_T. На поверхности швов σ_x обычно растягивающие, но малы, а σ_y — сжимающие величиной 0,5 σ_T и более. Такой характер распределения напряжений объясняется сопротивлением усадке нагретого металла по толщине со стороны холодных участков, а также неравномерностью температуры металла по толщине, если она велика. В легированных сталях в зонах структурных превращений, происходящих при низких температурах, напряжения σ_x и σ_z сжимающие (рис. 9, *б*). В аустенитном шве — напряжения растягивающие.

В сварных соединениях нахлесточных, угловых и втавр распределение напряжений при электродуговой и электрошлаковой сварке в общем аналогично распределению напряжений в стыковых соединениях.

В продольных прямолинейных швах оболочек остаточные напряжения примерно такие же, как и в плоских пластинах. В кольцевых однопроходных

сварных соединениях оболочек на распределение напряжений, имеющих место в пластинах, накладываются напряжения, возникающие от сокращения металла в окружном направлении и появляющегося вследствие этого изгиба оболочки. В результате напряжения вдоль шва σ_x (в данном случае окружные σ_t) понижаются по сравнению с плоскими пластинами. Напряжения поперек шва с внутренней стороны оболочки из-за изгиба оказываются растягивающими, а на поверхности металла с наружной стороны сжимающими. Многослойные кольцевые соединения могут выполняться с различным темпом укладки слоев, а также с разделкой шва наружу и внутрь оболочки. В первом случае в корне шва часто образуются значительные растягивающие поперечные напряжения, способные вызвать разрушение шва. При втором варианте расположения разделки более вероятно образование сжимающих поперечных напряжений в корне шва, который в этом случае находится снаружи.

Распределение напряжений в круговых однопроходных соединениях плоских элементов зависит от свойств металла, радиуса шва и жесткости внутреннего и внешнего свариваемых элементов. В металлах, не испытывающих структурных превращений, окружные напряжения σ_t вдоль шва в зоне пластических деформаций $2\,b_{\text{п}}$ близки по величине к напряжениям σ_x в прямолинейных швах. Радиальные напряжения σ_r могут изменяться в широких пределах от нулевых до растягивающих, близких к пределу текучести металла. Последние более вероятны в швах малого радиуса. С возрастанием радиуса шва σ_r уменьшаются. Во внешней части листа σ_t — сжимающие, а σ_r — растягивающие. Во внутренней части $\sigma_t \approx \sigma_r$, при больших радиусах швов они сжимающие, при малых — растягивающие.

При осесимметричных нагревах в точечных и электрозаклепочных сварных соединениях в центральной части остаточные напряжения σ_r и σ_t примерно равны и являются растягивающими. В низкоуглеродистых и аустенитных сталях $\sigma_{r\,\max} \approx \sigma_{t\,\max} \approx \sigma_\tau$. В титановых и алюминиевых сплавах максимальные напряжения в центральной части меньше предела текучести. При переходе от зоны пластических деформаций к основному металлу напряжения σ_t меняют знак и становятся сжимающими; радиальные напряжения в основном металле растягивающие и по абсолютной величине примерно равны тангенциальным σ_t.

В стыковых соединениях стержней, сваренных контактной сваркой, на поверхности в осевом направлении действуют сжимающие напряжения σ_z. В глубине металла по оси стержней имеются трехосные растягивающие напряжения. С увеличением диаметра стержней и градиента температур по их длине остаточные напряжения возрастают.

Остаточные напряжения в сталях и сплавах даже при значениях, близких к σ_τ, устойчивы во времени. Релаксация напряжений протекает крайне медленно и может составить лишь несколько процентов. Появление дополнительных деформаций происходит вследствие распада неустойчивых структур, например остаточного аустенита.

Рассмотренные здесь напряжения и деформации относятся к случаям, когда в соединениях отсутствуют какие-либо дефекты. В стыковых соединениях сталей продольная пластическая деформация составляет около 1–2%. При наличии концентраторов в зоне пластических деформаций, при сварке в жестком контуре, а также при наличии больших угловых перемещений во время многослойной сварки пластические деформации могут составлять десятки процентов и вызывать разрушение металлов.

ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ СВАРКЕ

Перемещения при сварке вызываются теми же причинами, которые приводят к образованию сварочных деформаций и напряжений.

Так же, как и напряжения, перемещения могут быть временные и остаточные.

Определение перемещений в простейших элементах сварных конструкций может производиться расчетным путем. Следует различать определение переме-

щений и деформаций в зоне сварных соединений и определение перемещений элементов конструкции в целом, возникших вследствие сварки. Такой прием получил название метода расчленения [4]. Определение перемещений и деформаций металла в зоне сварных соединений по своему существу представляет решение термомеханической задачи, когда рассматривается распределение температур в зоне сварки, упругие и пластические деформации металла. Определение перемещений элементов сварных конструкций представляет собой решение деформационной задачи (чаще всего методами сопротивления материалов и теории упругости); при этом в качестве исходных данных используются результаты решения термомеханической задачи. Преимущество такого расчленения задачи на две самостоятельных заключается главным образом в том, что нет необходимости определять каждый раз в сложной конструкции перемещения в зоне сварного соединения с тем, чтобы затем находить перемещения точек сварной конструкции в целом.

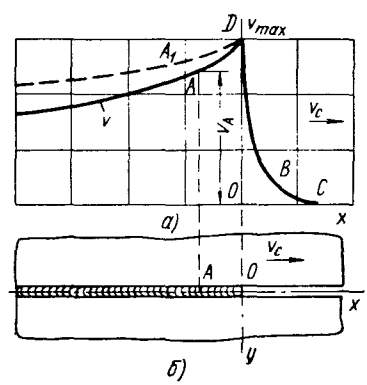


Рис. 10. Образование поперечной усадки при однопроходной сварке встык

Определение перемещений и деформаций в зоне сварных соединений. Основными видами перемещений и деформаций в сварных соединениях являются следующие:

1. Равномерное по толщине листа перемещение v, создающее поперечную усадку сварного соединения $\Delta_{поп}$. При сварке пластин встык с зазором (рис. 10) металл при нагреве расширяется не только в направлении Ox, но и в направлении Oy. Характер перемещения края пластины в направлении Oy, по кромке которой движется источник тепла, показан кривой v на рис. 10, *а*.

Перемещение v пропорционально $\dfrac{\alpha}{c\gamma} \cdot \dfrac{q}{v_c \delta}$,

где α — коэффициент линейного расширения по табл. 2 (α' — для низкоуглеродистых и низколегированных сталей);

q — эффективная мощность источника тепла в *дж/сек* при сварке пластин;

$c\gamma$ — объемная теплоемкость в *дж/см*^{3}° С по табл. 2;

δ — толщина пластины в *см*;

v_c — скорость сварки в *см/сек*.

Перемещение v зависит также от безразмерного критерия теплоотдачи

$$\frac{b_1 a}{v_c^2} = 22 \left[\frac{27.2 \cdot 10^{-7} a\varepsilon}{c\gamma \delta v_c^2} \left(0{,}118 \frac{q}{\lambda \delta} \right)^{1{,}61} \right]^{2{,}66}, \qquad (3)$$

который определяется по номограмме на рис. 16,

где ε — степень черноты поверхности пластин, для проката черных металлов равная 0.9;

λ — коэффициент теплопроводности в *дж/см · сек*° С по табл. 2;

a — коэффициент температуропроводности в *см*^{2}*/сек* по табл. 2.

При подходе источника тепла (источник находится в точке O) кромка интенсивно перемещается на участке CBD, достигая максимального перемещения v_{max} в точке O. По мере остывания металла край пластины постепенно возвращается в исходное положение. Чем больше теплоотдача $\dfrac{b_1 a}{v_c^2}$, тем интенсивнее перемещения кромки позади источника (сплошная и прерывистая кривая на

рис. 10, *а*). Если свариваются две пластины с зазором, то в момент сваривания взаимное сближение их кромок составляет $2v_{max}$. На участке OA протекают пластические деформации. Поэтому поперечная усадка Δ_{non} меньше $2v_{max}$:

$$2v_{max} = 2\frac{\alpha}{c\gamma}\cdot\frac{q}{v_c\delta}. \tag{4}$$

При электрошлаковой сварке с зазором

$$\Delta_{non} \approx 0{,}8\cdot 2v_{max}. \tag{5}$$

При электродуговой однопроходной сварке пластин встык без зазора и укладке угловых швов в нахлесточных и тавровых соединениях

$$\Delta_{non} \approx (0{,}5 \div 0{,}7)2v_{max}. \tag{6}$$

Следует иметь в виду, что поперечная усадка Δ_{non} при электрошлаковой сварке в формуле (5) представляет собой остаточное сближение, возникающее

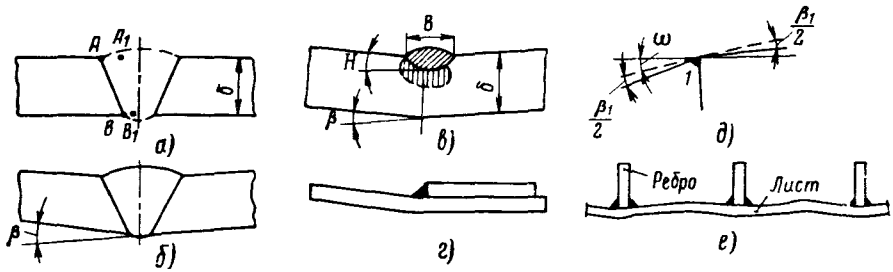


Рис. 11. Перемещения листов в плоскости, перпендикулярной шву

в период сваривания кромок. Если пластины в процессе сварки перемещаются и к моменту сваривания их сближение вследствие временных перемещений составит в некоторой точке величину $\Delta_в$, то суммарная усадка будет равна $\Delta_{non} + \Delta_в$.

В угловых соединениях при определении Δ_{non} по формуле (6) величина q означает эффективную мощность, вводимую только в пояс толщиной $\delta_п$. Она приближенно может быть вычислена по формуле

$$q_п = \frac{2\delta_п}{2\delta_п + \delta_{ребра}} q. \tag{7}$$

Формула (6) справедлива для низкоуглеродистых, низколегированных и аустенитных сталей, для титановых и алюминиевых сплавов толщиной примерно до 16 *мм*. В тавровых соединениях с двумя угловыми швами поперечная усадка в поясе определяется от каждого из двух швов по формуле (6). Поперечная усадка при электродуговой однопроходной сварке встык металла толщиной до 3—5 *мм* составляет обычно десятые доли миллиметра, толщиной до 16—20 *мм* — около 1—1,5 *мм*, а при электрошлаковой сварке 3—8 *мм* и более.

Численные значения экспериментально найденных величин поперечной усадки приведены в работе [9].

2. Угловое перемещение $\mathfrak{B}$, вызванное неравномерной составляющей поперечной усадки по толщине листа и возникающее при сварке встык или угловыми швами. Точка A в момент сваривания перемещается в положение A_1, а точка B в B_1 (рис. 11, *а*). После сварки и остывания, если $AA_1 = BB_1$, возникнет угловое перемещение $\mathfrak{B}$ (рис. 11, *б*). Величина $\mathfrak{B}$ зависит от отношения глубины

провара H к толщине δ, формы провара и его ширины B (рис. 11, *в*). При сварке тавровых соединений полка поворачивается на угол ω в положение, показанное штриховой линией (рис. 11, *б*), и одновременно возникает угловое перемещение β. Ориентировочно величину β при сварке сталей встык или укладке валикового шва при сварке втавр или внахлестку можно определить по номограммам, которые имеются в работе [9].

Определение суммарного угла грибовидности полки $\beta\Sigma$ от двух угловых однопроходных швов в тавровом соединении из алюминиевых сплавов АМг5В, АМг6 и АМг61 по экспериментальным данным Чижевского С. В. можно производить по номограмме на рис. 12. Данные получены при толщинах полок 10, 16, 30, 40 *мм* и соответственно толщинах стенок 8, 10 и 20 *мм*; швы с катетами 6—10 *мм* на полках до 20 *мм* сваривались электродной проволокой диаметром 2 и 3 *мм*, с катетами 10—14 *мм* на полках более 20 *мм* — проволоками диаметром 3 и 4 *мм*. Сварка автоматическая в лодочку на токах 230—450 *а* с проплавлением вершины угла. Смежные швы сваривали в противоположном направлении.

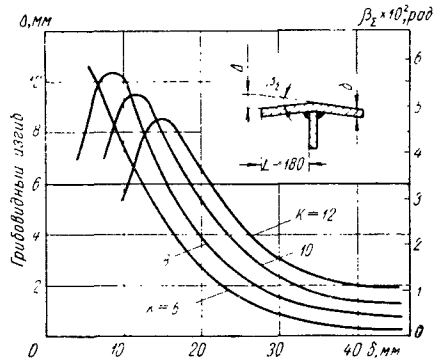


Рис. 12. Номограмма для определения углового перемещения от неравномерной поперечной усадки для алюминиевых сплавов при сварке двух угловых швов

3. Смещение свариваемых элементов Δ_x относительно друг друга в направлении оси Ox. Обычно оно возникает при приварке края листа к другому листу, например, в тавровых и нахлесточных соединениях. Смещение Δ_x появляется вследствие того, что перемещение края пластины $u_{кр}$ вдоль оси O_x при прочих равных условиях введения тепла примерно в 1,5 раза больше, чем перемещение середины пластины u_c. В момент сваривания возникшее взаимное смещение фиксируется швом, а затем обнаруживается после остывания как перемещение стенки относительно полки в направлении движения источника тепла. Величина смещения Δ_x при сварке втавр пропорциональна величине $\frac{\alpha}{c\gamma} \cdot \frac{q}{v_c \delta}$, составляет несколько десятых долей миллиметра для металла толщиной 5—10 *мм* и может достигать больших значений при соответствующих режимах сварки.

4. Смещение кромок листа Δ_z в направлении толщины. Оно возникает при неправильной сборке листов, а также при сварке кольцевых швов оболочек различной жесткости (рис.13). Металл кромки оболочки вследствие нагрева при сварке перемещается наружу в радиальном направлении значительно больше, чем кромка жесткого шпангоута (рис. 13). Такое перемещение фиксируется швом. Перемещение w тем больше, чем меньше жесткость оболочки, больше коэффициент линейного расширения металла и его теплопроводность. На тонкостенных алюминиевых оболочках остаточное смещение Δ_z может достигать 1 *мм* и более. При сварке оболочек равной жесткости взаимного смещения Δ_z, как правило, не возникает.

5. Продольные остаточные пластические деформации $\varepsilon_{пл.ост}$, вызывающие продольную усадку элементов и изгиб. Их действие может быть заменено действием фиктивной усадочной силы P_{yc}, вызывающей в конструкции такие же перемещения, как и внутренние силы. Определение величины P_{yc} относится к классу термомеханических задач [см. формулу (1)].

Если использовать данные П. О. Окерблома и С. А. Кузьминова, то усадочную силу в стыковых, нахлесточных и тавровых сварных соединениях из

низкоуглеродистых и низколегированных сталей можно определить по формуле

$$P_{yc} = 1{,}7\,\frac{q}{v_c}, \text{ если } \frac{q}{v_c F} \leqslant 600\,\frac{дж}{см^3}, \tag{8}$$

где P_{yc} — фиктивная усадочная сила в *кГ*;
q — эффективная мощность сварочного источника тепла в *дж/сек*;
v_c — скорость сварки в *см/сек*;
F — площадь поперечного сечения свариваемого элемента в *см*^{2}.

По данным исследований, проведенных в МВТУ им. Баумана,

$$P_{yc} = 1{,}2\,\frac{q}{v_c}. \tag{9}$$

Формулы (8) и (9) справедливы при сварке по ненапряженному металлу. Если укладка шва производится на металле, в котором в направлении шва имеются напряжения (собственные или от внешних нагрузок), то необходимо учитывать их влияние на величину фиктивной усадочной силы

$$P'_{yc} = nP_{yc}, \tag{10}$$

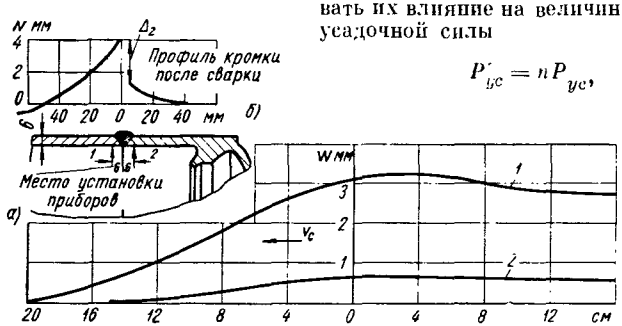


Рис. 13. Перемещения w в зоне кольцевого шва цилиндрической оболочки из алюминиевого сплава: *а* — временные в процессе сварки, источник тепла находится в точке *О*; *б* — остаточные; *1* и *2* — места установки индикаторов и кривые, соответствующие их показаниям

где n — коэффициент, зависящий от знака и величины начальных напряжений в металле $\sigma_{нач}$;

при растягивающих напряжениях $\sigma_{нач} > 0$, $n = \left(1 - \frac{\sigma_{нач}}{\sigma_T}\right)$;

при сжимающих напряжениях $-0{,}5\sigma_T < \sigma_{нач} < 0$, $n = \left(1 - \frac{2\sigma_{нач}}{\sigma_T}\right)$.

Если зона пластических деформаций от очередного валика частично перекрывает зону пластических деформаций от предыдущих швов, то фиктивная усадочная сила от последнего валика будет меньше, чем это следует из формул (8) и (9). Расчетные методы учета этого влияния изложены в работе [7]. Например, при сварке втавр двумя угловыми швами, зоны пластических деформаций которых перекрываются, в качестве расчетной принимается погонная энергия сварки одного шва, увеличенная на 15%, т. е. $1{,}15\,\frac{q}{v_c}$.

Для прерывистых швов величину усадочной силы определяют по формуле

$$P_{yc_{пр}} = P_{yc}\,\frac{l_{ш}}{t}, \tag{11}$$

где $l_ш$ — длина участка шва;
t — шаг прерывистого шва;

Погонную энергию $\frac{q}{v_c}$ в формуле (8), если режим сварки не известен, но задано поперечное сечение наплавляемого за один проход металла шва (стыкового или углового), можно приближенно определить по формуле

$$\frac{q}{v_c} = Q_v F_{напл}, \tag{12}$$

где $F_{напл}$ — площадь поперечного сечения наплавленного металла шва в $см^2$;
Q_v — коэффициент, определяемый по табл. 3, в $дж/см^3$ [9].

3. Значения Q_v для некоторых способов сварки

Способ сварки	Сварочные материалы	Q_v в $\frac{дж}{см^3}$
Ручная электродуговая	Электроды; УОНИ-13/45 ЭА-395/9; ЭА-606/10; ЭА-400/10 ЭА-606/11; 48Н-1 ЭА-981/15	65 000 42 000 46 000 48 000
Полуавтоматическая в CO_2	Проволока Св-08ГС	38 000
Автоматическая и полуавтоматическая под флюсом	Проволока Св-08А под флюсом ОСЦ-45 Проволока Св-10ГСМТ под флюсом АН-42	65 000 71 000

При газовой резке кромки металла нагреваются, что вызывает пластические деформации. Искривление полос от газовой резки может быть определено с использованием величины фиктивной усадочной силы, вычисляемой по формуле (8). Погонная энергия резки, приходящаяся на одну кромку реза [7, 3], может быть вычислена для толщин $\delta = 0{,}6 \div 4$ *см* по формуле

$$\frac{q}{v_p} = 420\,(13{,}5 - \delta)\,\delta, \tag{13}$$

а фиктивная усадочная сила — по формуле (8);
δ — толщина в *см*;
v_p — скорость резки в *см/сек*.

При отрезке полосы от листа, край которого был предварительно обрезан газовым пламенем, величина фиктивной усадочной силы для второй кромки окажется меньше, чем для первой, ввиду того, что отрезаемая полоса изгибается под действием усадочной силы первой кромки и создает растягивающие начальные напряжения $\sigma_{нач}$ в зоне реза второй кромки.

Для конструкций из алюминиевого сплава АМг6 по данным А. В. Евстифеева усадочная сила в стыковых соединениях толщиной 5—12 *мм* при однопроходной сварке

$$P_{yc} = (1{,}4 \div 1{,}5)\,\frac{q}{v_c}. \tag{14}$$

В тавровых соединениях такой же толщины с одним угловым швом

$$P_{yc} = (1{,}6 \div 1{,}7) = \frac{q}{v_c}. \tag{15}$$

При двух угловых швах в одной стенке, если второй шов сваривается после остывания первого шва, расчетная погонная энергия в формуле (15) принимается для двух швов равной $1{,}15\frac{q}{v_c}$.

Определение перемещений элементов конструкций

Эти перемещения удобно разделить на несколько видов:

1. Перемещения в плоскости свариваемых пластин, включающие в себя изгиб (рис. 14, *а*), поворот пластин относительно друг друга в плоскости, поступательные перемещения, продольное и поперечное укорочение.

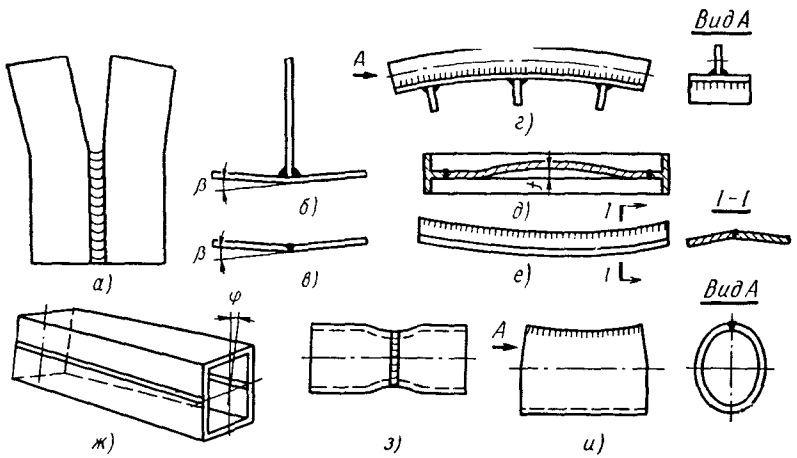


Рис. 14. Различные виды перемещений от сварки

2. Перемещения, вызванные угловым поворотом β в сварных соединениях. Например образование грибовидности при сварке втавр или внахлестку, изгиб листов при сварке встык (рис. 14, *б*, *в*).

3. Перемещения, вызванные изгибом балочных конструкций вследствие усадки металла сварных соединений в продольном и поперечном направлениях (рис. 14, *г*).

4. Скручивание относительно продольной оси в балках (рис. 14, *ж*) и пропеллерность в сварных элементах типа панелей и рам.

5. Потеря устойчивости листовых элементов под действием сжимающих напряжений (рис. 14, *д*, *е*). Формы коробления в результате потери устойчивости весьма разнообразны.

6. Перемещения в оболочках при сварке кольцевых (рис. 14, *з*), продольных (рис. 14, *и*), а также круговых и криволинейных швов.

В сложных конструкциях типа станин, блоков двигателей, одновременно может возникать несколько видов перемещений, создающих взаимное влияние и искажающих форму конструкции.

Различают перемещения временные в процессе сварки и остаточные после полного остывания конструкции. Определение остаточных перемещений в большинстве случаев проводят с использованием метода фиктивных сил, т. е. действие усадки металла заменяют системой фиктивных нагрузок, приложенных к конструкции. При этом используют важное допущение о постоянстве деформаций металла по длине сварных соединений, хотя, строго говоря, на концах

сварных соединений это допущение в отношении некоторых видов деформации не соблюдается.

Перемещения в плоскости пластин. Наибольший интерес представляют временные перемещения при электрошлаковой сварке встык, когда величина сварочного зазора непосредственно зависит от положения свариваемых элементов. Как указывалось выше [формула (2)], кромки пластин позади источника тепла перемещаются. Будучи сваренными между собой они

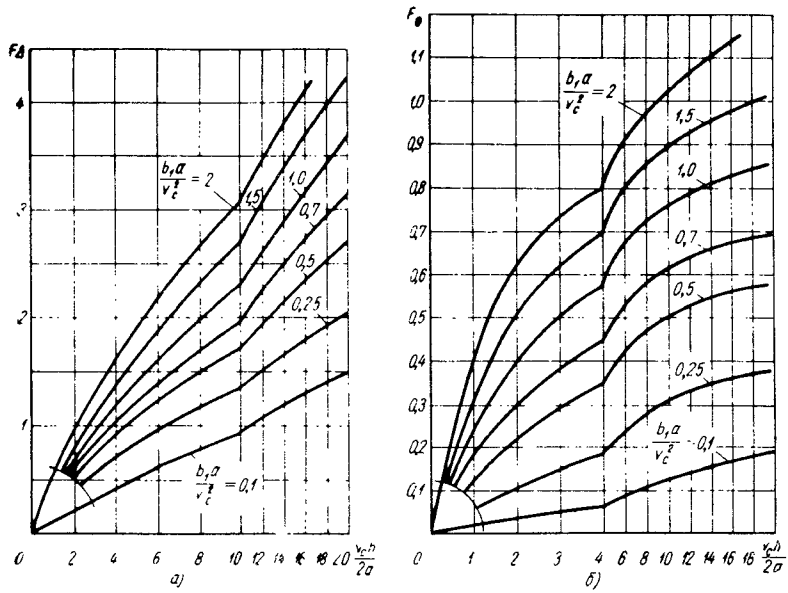


Рис. 15. Номограммы для определения функции F_Δ (*а* и F_θ (*б*) в зависимости от безразмерной теплоотдачи $\frac{b_1 a}{v_c^2}$ и длины заваренного шва $\frac{v_c h}{2a}$.

вызывают два вида перемещений деталей: поступательное сближение $\Delta_{пос}$ и угловой поворот θ, приводящий к закрыванию зазора в незаваренной части шва.

Поступательное сближение

$$\Delta_{пос} = \frac{\alpha' q}{\pi c \gamma \delta v_c} F_\Delta. \tag{16}$$

Угловой поворот

$$\theta = \frac{\alpha' q}{2\pi\lambda\delta} F_\theta, \tag{17}$$

где α' — коэффициент линейного расширения без учета структурных превращений; для низкоуглеродистых и низколегированных сталей $\alpha' = (16{,}5 \div 17) \cdot 10^{-6}$ 1/*град* (см. табл. 2).

Функции F_Δ и F_θ определяют по номограммам на рис. 15 в зависимости от безразмерной теплоотдачи $\frac{b_1 a}{v_c^2}$ и безразмерной длины заваренного шва $\frac{v_c h}{2a}$.

Безразмерная теплоотдача $\frac{b_1 a}{v_c^2}$ может быть определена либо по формуле (3), либо для низкоуглеродистых и низколегированных сталей по номограмме (рис. 16). Величина h — длина заваренного шва в *см*.

Поступательное сближение $\Delta_{пос}$ предотвратить путем закрепления деталей скобами или сухарями невозможно. Угловые перемещения θ до тех пор, пока длина заваренного шва невелика, в ряде случаев удается устранить закреплением скобами, сухарями, противодействующим моментом или балластом. Если на длине шва h_1 угловые перемещения устранялись, то для определения величины углового перемещения $\Delta\theta_2$, возникшего на участке шва от

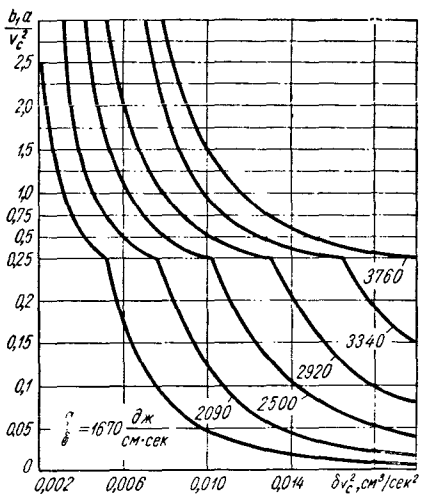


Рис. 16. Номограмма для определения безразмерной теплоотдачи $\frac{b_1 a}{v_c^2}$ в низкоуглеродистых и низколегированных сталях

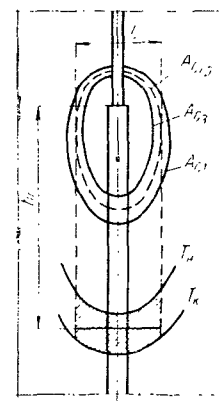


Рис. 17. Зоны структурных превращений при сварке

h_1 до h_2, необходимо из θ_2 вычесть θ_1. Центр поворота деталей относительно друг друга при любой длине шва h совпадает с серединой заваренного шва, т. е. находится от начала шва на расстоянии $\frac{h}{2}$.

При электрошлаковой сварке перлитных сталей в зоне шириной l (рис. 17) происходит структурное превращение. Ширина зоны определяется положением изотермы $A_{c_{ср}} = \frac{A_{c_1} + A_{c_3}}{2}$. При температуре $T_н$ начинается процесс превращения аустенита $\gamma \rightarrow \alpha$, а при температуре $T_к$ он завершается. В заштрихованной области, расположенной на расстоянии h_c от ванны, происходит расширение металла, которое вызывает поворот свариваемых деталей. При расположении зоны превращений ниже середины заваренного участка, зазор закрывается, а при расположении ее выше — открывается. В работе [4] приведены номограммы для определения углового поворота θ_c от структурных превращений в различных сталях.

Перемещения от неравномерной поперечной усадки. Угловой поворот при отсутствии свободного перемещения листов (рис. 18, *а*) способен вызвать их изгиб. Прогибы листа определяют методом фиктивных сил. Зону шва заме-

няют шарниром (рис. 18, *б*), к концам стержней прикладывают моменты M и силы P, величины которых находят из двух условий:

$$\varphi_1 + \varphi_2 = \beta;$$
$$f_1 = f_2, \tag{18}$$

где φ_1, φ_2 и f_1, f_2 — углы поворота и прогибы концов стержней l_1 и l_2 в шарнире O. Зная P и M, находят прогибы f по длине листов. Максимальный прогиб для рассматриваемого на рис. 18, *б* случая имеется в точке O и равен

$$f_{max} = \frac{Ml_1}{2EJ_1} \cdot \frac{Pl_1^3}{3EJ_1}. \tag{19}$$

В более сложных случаях, когда кроме угла β на стыке листов *1* и *2* (рис. 18, *в*) возникает поворот ребра *3* относительно листа *2* на угол ω, в шарнире

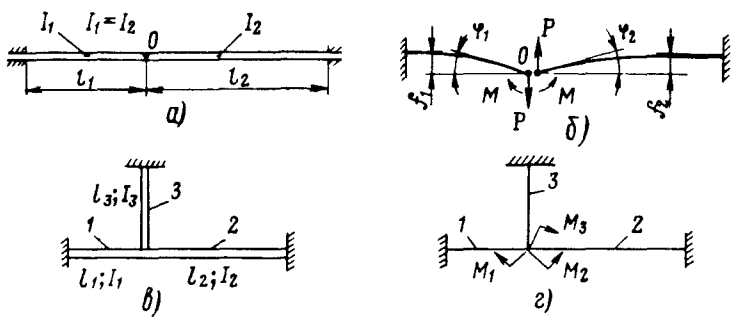


Рис. 18. Определение перемещений листов с использованием метода фиктивных сил

прикладывают три момента и силы, сумма которых равна нулю (рис. 18, *г*). Моменты и силы находят по известным углам β и ω с учетом равенства друг другу прогибов f в точке O, а также длин листов и их жесткостей на изгиб.

Перемещения при изгибе балок. В сварных балках возникает изгиб от усадки металла от продольных и поперечных сварных соединений. Перемещения от каждого соединения определяют отдельно. Если балку сваривают последовательно, т. е. вначале сваривают тавр (рис. 19, *б*), а затем двутавр (рис. 19, *а*), то после сварки шва *1* в тавре возникнет изгиб f, величину которого находят по формуле

$$f = \frac{ML^2}{8EJ}. \tag{20}$$

Угловой поворот концов

$$\varphi = \frac{ML}{EJ}; \tag{21}$$

продольное укорочение

$$\Delta_{пр} = \frac{P_{усл}L}{EF_1}, \tag{22}$$

где

$$M = P_{усл}e_1;$$

$P_{усл}$ — фиктивная сила в *кГ*, приложенная примерно на стыке стенки и пояса;
e_1 — эксцентрицитет силы $P_{усл}$ относительно продольной оси тавра, в *см*;
L — длина балки в *см*;

J — момент инерции сечения тавра относительно оси y_1 в $см^4$;

F_1 — площадь поперечного сечения тавра в $см^2$.

После сборки тавра с поясом *II* и сварки шва *2* возникнет изгиб в противоположном направлении, величину которого определяют по формуле (20) с подстановкой в нее момента инерции J всего сечения балки относительно оси y, проходящей через центр тяжести, и эксцентрицитета e_2. При определении продольного сокращения по формуле (22) в нее следует подставить площадь всего поперечного сечения балки F. Если балка сначала собрана на прихватках, а затем сваривают швы *1* и *2*, то изгиб от швов находят при эксцентрицитетах e_3 и e_2 (рис. 19, *а*) и моменте инерции всего сечения двутавра.

Поперечные швы, приваривающие ребра, если они смещены относительно центра тяжести сечения балки, также вызывают перемещения. Расчет состоит

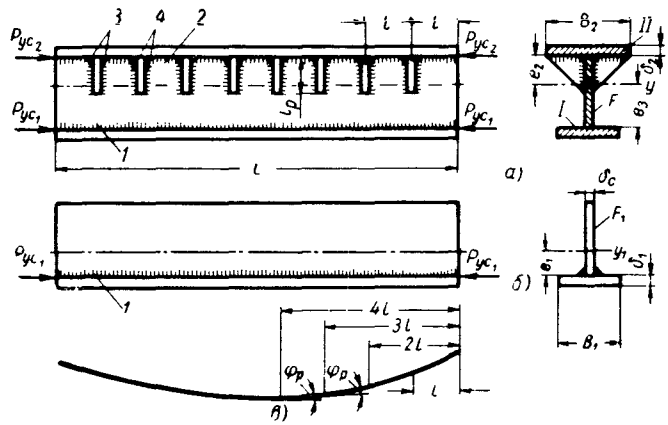


Рис. 19. Перемещения двутавровой балки от усадки продольных и поперечных швов

в определении углов поворота балки от отдельных поперечных швов с последующим вычислением возникающих прогибов и их суммы. Угол поворота, вызываемый сваркой отдельного поперечного шва, сосредоточен в сечении, где расположен шов, и определяется по формуле

$$\varphi = (\Delta_{non} - \Delta_{n.l}) \frac{S}{J}, \qquad (23)$$

где φ — угол поворота двух частей балки относительно друг друга в *рад*;

Δ_{non} — поперечная усадка сварного соединения, выполняемого в незакрепленном состоянии, т. е. вне балки; определяется по формуле (6) в *см*;

$\Delta_{n.l}$ — пластическое удлинение сварного соединения поперек шва, вызываемое сопротивлением поперечного сечения балки, в *см*;

S — статический момент части сечения, где расположено сварное соединение в $см^3$;

J — момент инерции всего сечения балки в $см^4$.

Оценить порядок величины максимально возможного угла поворота можно, полагая $\Delta_{n.l} = 0$. Экспериментальные данные, полученные на некоторых типах балок, дают $\Delta_{n.l} \approx (0{,}4 - 0{,}5)\Delta_{non}$. Это значение следует рассматривать как ориентировочное. Определим в качестве примера величины, необходимые для вычисления угла φ от сварки швов *3*, приваривающих ребро к поясу (рис.

19, *а*). Поперечная усадка пояса от двух швов составит $2\Delta_{non}$. Статический момент верхнего пояса относительно центра тяжести всего сечения

$$S_n = B_2\delta_2\left(l_2 + \frac{\delta_2}{2}\right).$$

При определении угла поворота от вертикальных швов *4*, приваривающих ребра к стенке, статический момент части сечения стенки, где расположены швы, выразится так:

$$S_{cp} = l_p\delta_c\left(e_2 - \frac{l_p}{2}\right).$$

Если суммарный угол поворота от приварки двух ребер в одном сечении φ_p, то прогиб балки от всех поперечных швов для случая, представленного на рис. 19, определится согласно схеме на рис. 19, *в*:

$$f_\Sigma = \varphi_p 4l + \varphi_p 3l + \varphi_p 2l + \varphi_p l. \qquad (24)$$

Продольное укорочение балки от поперечной усадки шва равно

$$\lambda_{np} = (\Delta_{non} - \Delta_{n.n})\frac{F_э}{F}, \qquad (25)$$

где $F_э$ — поперечное сечение части элемента, где расположено сварное соединение, в $см^2$;

F — площадь поперечного сечения балки в $см^2$.

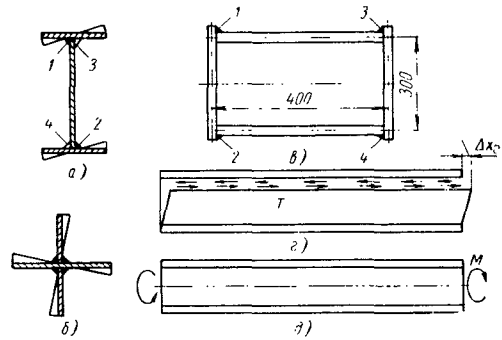


Рис. 20. Закручивание сварных балок

Скручивание балок. Причины закручивания балок изучены недостаточно. При сварке тонкостенных открытых профилей, таких как двутавровые, Н-образные, П-образные и другие балки, скручивание возникает вследствие неодновременной поперечной усадки углового шва по его длине (рис. 20, *а*). Например, шов *1* по мере его заварки и усадки закручивает верхний пояс, а шов *2* – нижний. Швы *3* и *4* не могут компенсировать перемещений ввиду жесткости швов *1* и *2*. Сборка на прихватках или сварка в кондукторах позволяют избежать закручивания данного вида.

Возможна крутильная форма потери устойчивости. Например, крестообразная балка на рис. 20, *б* вследствие действия усадочной силы и появления сжатия в листовых элементах закручивается в результате потери устойчивости.

Балки коробчатого профиля, собранные на прихватках (рис. 20, *в*), закручиваются после сварки вследствие продольного смещения Δ_x, при выполнении продольного шва (рис. 20, *г*). Такое смещение равносильно по своему действию приложению фиктивных крутящих моментов M (рис. 20, *д*). Угол закручивания балки

$$\varphi = \frac{\Delta_x L}{\omega_к}, \qquad (26)$$

где L — длина балки;

$\omega_к$ — удвоенная площадь, охватываемая средней линией тонкостенного сечения. Например, сечение, представленное на рис. 20, *в*, имеет $\omega_к = 2 \cdot 30 \cdot 40 = 2400$ $см^2$.

Если швы *1* и *4* сварены в одном направлении, а швы *2* и *3* — в противоположном (рис. 20, *в*), то закручивание суммируется от всех четырех швов. Значительному закручиванию могут подвергаться элементы, у которых мало $\omega_к$, а также конструкции с большой длиной L.

Потеря устойчивости листовых элементов. Для определения возможности потери устойчивости необходимо:

а) определить схему действия сил и условий закрепления элементов по контуру;

б) найти критические силы и сравнить их с действующими.

В табл. 4 приведено несколько примеров. Напряжения, действующие в листовых элементах, определяют в предположении, что потери устойчивости нет. В стенке двутавровой балки (1-я строка)

$$\sigma_{сж} = \frac{2P_{ус}}{F_б}, \tag{27}$$

где $2P_{ус}$ — усадочные силы от двух пар поясных швов;

$F_б$ — площадь всего поперечного сечения балки.

Критические напряжения в длинном листе с заделанными жестко продольными кромками

$$\sigma_{кр} = \frac{7\pi^2 E}{12(1-\mu^2)}\left(\frac{\delta_c}{h_c}\right)^2. \tag{28}$$

Если $\sigma_{сж} > \sigma_{кр}$, то наступит потеря устойчивости стенки. Во 2-й строке табл. 4 напряжения в полке тавра определены с учетом продольной усадочной силы и возникающего при этом изгиба. Полка принимается заделанной по одному краю. В листе крышки (строка 3 табл. 4) действует двухосное сжатие, края также, заделаны.

Распространенным случаем является вварка круглых элементов в плоский лист (строка 4 табл. 4). При сравнительно небольших радиусах швов ($r_ш$ примерно до 5 *см*) на границе зоны пластических деформаций при $r = r_п$ действуют растягивающие напряжения $\sigma_r \approx \frac{\sigma_т}{\sqrt{3}}$, которые создают в остальной части относительно большого листа сжимающие окружные напряжения σ_t, способные вызвать потерю устойчивости. Критические напряжения σ при $r \geq r_п$, вызывающие потерю устойчивости в бесконечно большой пластине, определяют по формуле

$$\sigma_{r_{кр}} = \frac{3E}{12(1-\mu^2)}\left(\frac{\delta}{r}\right)^2. \tag{29}$$

Потеря устойчивости наступает при $\sigma_{r_п} > \sigma_{r_{кр}}$. Структура формулы (29), где в знаменателе находится $r_п$, показывает, что потери устойчивости возможна и при $\sigma_{r_п} < \frac{\sigma_т}{\sqrt{3}}$, если $r_п$ велико.

При вварке плоских днищ в тонкостенные обечайки (строка 5 табл. 4) возможна потеря устойчивости днища. При условии жесткого опирания по контуру днища критические напряжения

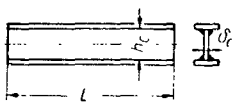
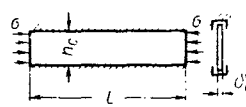
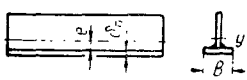
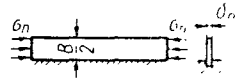
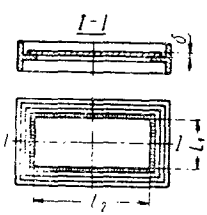
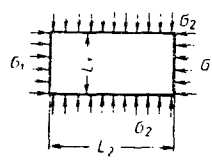
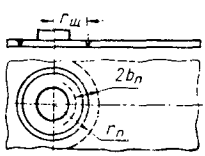
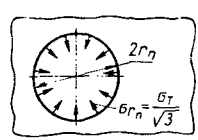
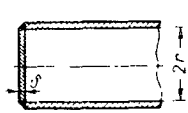
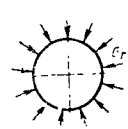
$$\sigma_{r_{кр}} = 1{,}49\frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)}\left(\frac{\delta}{r}\right)^2; \tag{30}$$

при условии шарнирного опирания по контуру

$$\sigma_{r_{кр}} = 0{,}425\frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)}\left(\frac{\delta}{r}\right)^2. \tag{31}$$

Определение величины перемещения листовых элементов после потери устойчивости представляет, как правило, сложную задачу [4]. Листы, сваренные встык, искривляются по дуге окружности, приобретая седлообразную форму (рис. 21). Потеря устойчивости возникает в большинстве протяженных сварных полотнищ, но наиболее заметна при толщине металла до 6—8 *мм*. На рис. 22

4. Схемы и формулы для определения возможной потери устойчивости сварных конструкций или элементов

Сварная конструкция или элемент	Расчетная схема	Действующие напряжения
		$\sigma = \frac{2P_{ис}}{F_{защ.ш}}$
		$\sigma_{и} = \frac{P_{ис}}{F_{защ.ш}} \cdot \frac{P_{ис} e}{J_{и}} \cdot \frac{\delta_{и}}{2}$
		$\sigma_1 = \frac{2P_{ис}}{F_1}$ $\sigma_2 = \frac{2P_{ис}}{F_{II}}$
		$\sigma_r = \sigma_t = \frac{\sigma_T}{\sqrt{3}} \cdot \frac{r_{ш}^2}{r^2}$
		$\sigma_t = \frac{P_{ис}}{r\delta}$

показаны зависимости кривизны сваренных встык пластин от толщины металла δ, их ширины $2B$, размеров средней расчетной зоны пластических деформаций $2b_{пр}$ и расчетного остаточного напряжения, определяемого как $\sigma = \frac{P_{ус}}{2b_{пр}}$, напряжения σ приняты равномерными по толщине; величина a на рис. 22 является радиусом кривизны пластин (рис. 21).

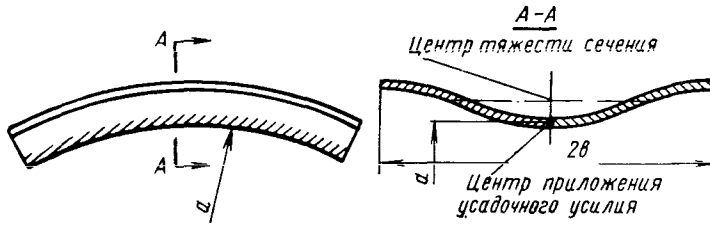


Рис. 21. Искривление сваренных встык пластин

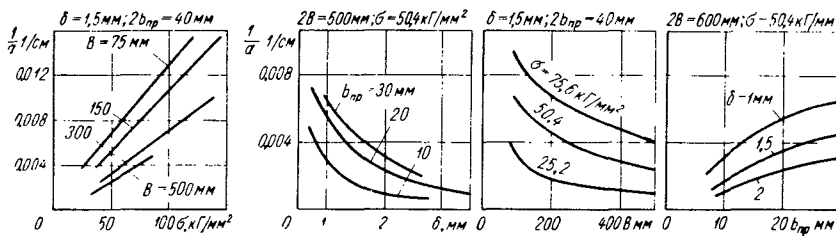


Рис. 22. Зависимость кривизны пластины от расчетных остаточных напряжений σ, ширины половины пластины B, толщины δ и половины расчетной зоны пластических деформаций $b_{пр}$ при $E = 2{,}1 \cdot 10^6$ кГ/см²; $\mu = 0{,}3$

Перемещения в элементах оболочек. Разнообразие конструктивных вариантов сварных соединений в цилиндрических и сферических оболочках значительно. Наиболее распространенными сварными соединениями являются

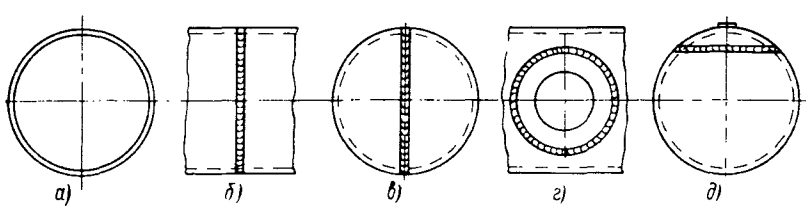


Рис. 23. Простейшие типы сварных стыковых соединений в элементах оболочек: *а*, *б* — продольный и кольцевой швы в цилиндрической оболочке; *в* — кольцевой шов в сферической оболочке; *г*, *д* — круговые швы в цилиндрической и сферической оболочках

продольные, кольцевые и круговые швы (рис. 23). При электрошлаковой сварке кольцевых швов оболочек возникает взаимный поворот осей вследствие неравномерной поперечной усадки по периметру шва [4]. Особенностью тонкостенных оболочек по сравнению с другими сварными конструкциями является пониженная жесткость отдельных листовых элементов.

В процессе сварки кольцевых швов вследствие нагрева металла происходит радиальное перемещение кромок (см. рис. 13). После полного остывания в оболочках из алюминиевых сплавов в зоне кольцевого шва, как правило, наблюдается увеличение периметра. В оболочках из сталей и титановых сплавов, наоборот,

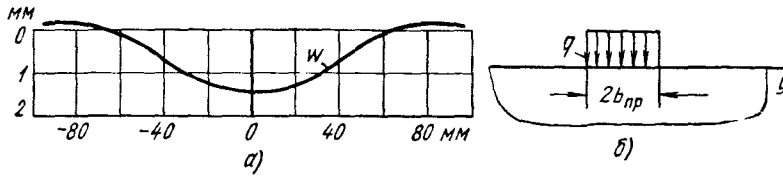


Рис. 24. Перемещения в зоне кольцевого шва цилиндрической оболочки: *а* — остаточный прогиб оболочки от сварного шва; *б* — схема приложения сил при определении перемещений

возникает сокращение периметра с образованием характерного прогиба, показанного на рис. 24, *а*. Например, в цилиндрических оболочках диаметром $2a = 145$ *см*, $\delta = 1{,}5$ *мм* из нержавеющей стали ЭИ654 после аргоно-дуговой однопроходной сварки обечаек встык на подкладном кольце сокращение периметра в среднем составило 9,2 *мм*.

О разбросе сокращений периметра при отлаженном процессе сварки можно судить по следующим результатам:

№ шва	1	2	3	4	5	6	7	Среднее
Сокращение периметра	9,2	9,0	9,0	8,6	9,5	8,1	10,1	9,2

В стальных и титановых оболочках средний по окружности радиальный прогиб шва $w_ш$ при условии сварки на жестком подкладном съемном кольце,

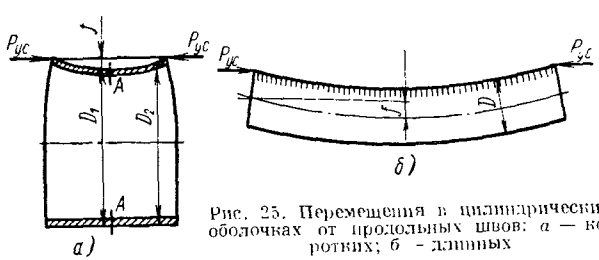


Рис. 25. Перемещения в цилиндрических оболочках от продольных швов: *а* — коротких; *б* — длинных

не создающем предварительный изгиб оболочки, можно приближенно определять, исходя из условной схемы нагрузки на рис. 24,*б*, по формуле

$$w_ш = \frac{\sigma_т r}{E}\left[1 - e^{-\frac{kP_{ус}}{2\sigma_т\delta}} \cdot \cos\frac{kP_{ус}}{2\sigma_т\delta}\right], \qquad (32)$$

где $\sigma_т$ — предел текучести металла в *кГ/см*^{2};
r — радиус оболочки в *см*;
$P_{ус}$ — фиктивная усадочная сила в *кГ*;

δ — толщина металла оболочки в *см*;

$$k = \sqrt[4]{3(1-\mu^2)/r^2\delta^2}. \qquad (33)$$

Продольные швы в коротких оболочках (рис. 25, *а*) вызывают искривление прямолинейной образующей в зоне шва с образованием прогиба f. Размер D_2 при этом становится больше диаметра оболочки D, а размер D_1 меньше диаметра D. Длинные оболочки типа тонкостенных труб (рис. 25, *б*) искривляются под действием усадочной силы P_{yc}. Прогиб f может быть определен по формуле (20).

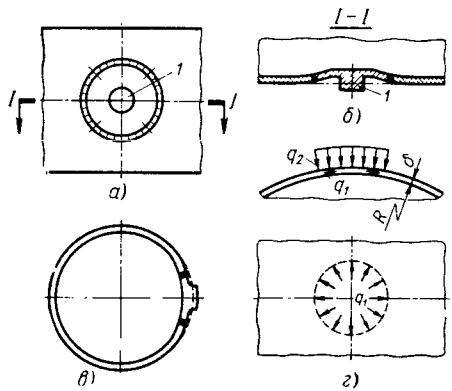


Рис. 26. Остаточные перемещения при сварке элемента круговым швом: *а*, *б* — в цилиндрической оболочке; *в* — в сферической оболочке; *г* — схема действия сил, вызывающих перемещения при усадке круглого пятна нагрева

Круговые швы на сферических и цилиндрических оболочках создают вследствие продольной и поперечной усадки сварного соединения такие перемещения, что привариваемый элемент перемещается к центру оболочки (рис. 26, *а*, *в*). Нагрев круглого пятна при точечной сварке или при приварке бобышки (рис. 26, *г*) также вызывает перемещение к центру оболочки, аналогичное перемещению от сил q_1 и q_2, показанных на рис. 26, *г*.

Формы перемещений в различных конструктивных элементах тонкостенных оболочек весьма многообразны, перемещения, как правило, значительны, — могут составлять в некоторых случаях десятки миллиметров.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОБСТВЕННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Экспериментальное определение собственных напряжений может быть выполнено физическими методами, основанными на явлениях фотоупругости, магнитной проницаемости, прохождения ультразвука, отражении рентгеновских лучей, и механическими, основанными на измерении перемещений с помощью датчиков электросопротивления, индуктивных, емкостных и деформометров механического типа.

Временные деформации и перемещения. Определение временных деформаций металла в околошовной зоне в процессе сварки производят дифференциальным методом. Прибор на базе длиной 10—25 *мм*, расположенной параллельно оси шва, регистрирует деформации формоизменения ε_ϕ во времени, которые слагаются из температурной деформации ε_α и деформации металла от внутренних сил ε:

$$\varepsilon_\phi = \varepsilon_\alpha + \varepsilon. \qquad (34)$$

Деформацию ε_ϕ откладывают на графике (кривая *1* на рис. 27). Одновременно записывают термический цикл металла посередине базы измерений и при таком термическом цикле отдельно определяют температурную деформацию ε_α — дилатограмму металла (кривая *2* на рис. 27, *а*). Вычитая из ε_ϕ величину ε_α получают ε (рис. 27, *в*). Зная зависимость деформации ε_T, соответствующей

пределу текучести σ_T, от температуры (рис. 27, *б*), можно определить упругие ε_y и пластические деформации металла при сварке.

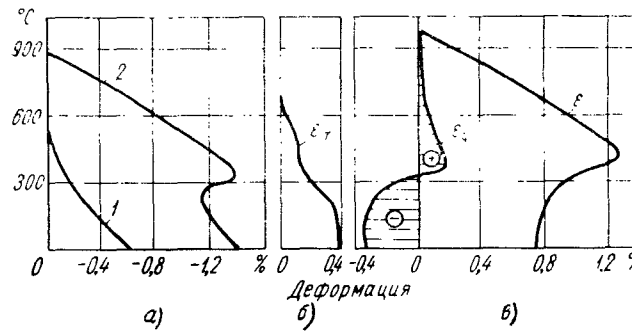


Рис. 27. Определение деформаций с помощью дифференциального метода

Временные перемещения определяют с помощью индикаторных головок, датчиков перемещений и других специальных приборов непрерывного действия

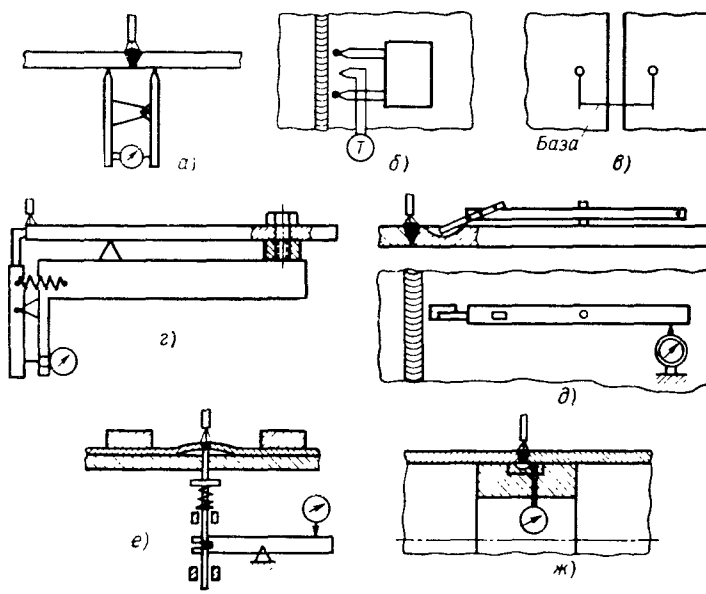


Рис. 28. Схемы измерений деформаций и перемещений в процессе сварки: *а* — поперечных при расположении прибора снизу; *б* — продольных деформаций; *в* — поперечных съемным прибором; *г* — поперечных перемещений края пластины; *д* — продольных в околошовной зоне; *е* — перемещений из плоскости листов; *ж* — радиальных перемещений цилиндрической оболочки

(рис. 28). Для уменьшения размеров образцов или для увеличения перемещений в лабораторных условиях используют метод моделирования [4]. Основное

требование при моделировании состоит в подобии температурных полей модели и натуры: для пластин

$$\left(\frac{q}{\lambda\delta}\right)_{н} = \left(\frac{q}{\lambda\delta}\right)_{м}; \quad \left(\frac{v_c x}{2a}\right)_{н} = \left(\frac{v_c x}{2a}\right)_{м}; \quad \left(\frac{ba}{v_c^2}\right)_{н} = \left(\frac{ba}{v_c^2}\right)_{м}, \tag{35}$$

где индекс $н$ относится к детали в натуральную величину, а индекс $м$ к модели; x — линейные размеры; b — коэффициент температуроотдачи; q и v_c — эффективная мощность и скорость источника тепла; λ и a — коэффициенты теплопроводности и температуропроводности.

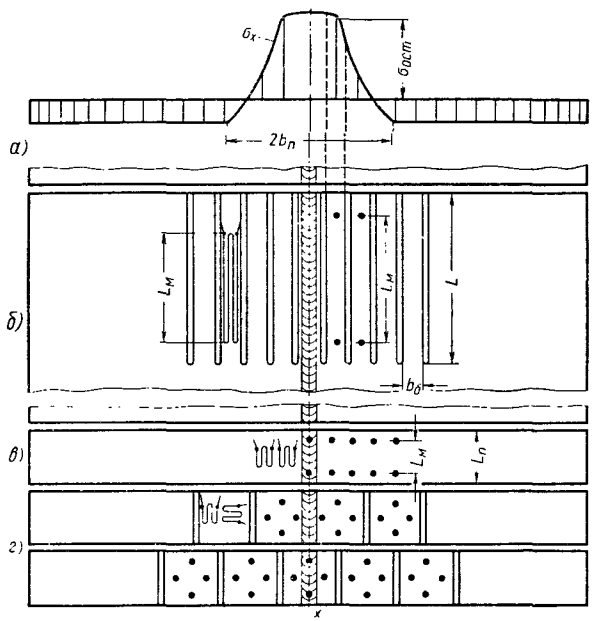


Рис. 29. Расположение мерительных баз и схемы разрезки пластины при определении остаточных напряжений: *а* — продольные напряжения σ_x в пластине; *б* — разрезка «гребенкой»; *в* — разрезка на поперечные полосы; *г* — разрезка на квадраты

Остаточные напряжения и перемещения. Наибольшее распространение при определении остаточных напряжений получили механические методы, основанные на разрезке металла и освобождении его от напряжений. При этом регистрируют возникающие деформации металла и по ним вычисляют остаточные напряжения. Измерение одноосных напряжений производят также неразрушающим методом, основанным на изменении магнитной проницаемости металла.

Так как одноосные напряжения (рис. 29, *а*) в пластинах незначительно изменяются по длине, то размер базы измерения (рис. 29, *б*) можно принимать большим, вплоть до 100 *мм*. После начальных отсчетов с датчиков или съемных механических тензометров, производимых с двух сторон пластины, выполняется разрезка пластины на полосы (рис. 29, *б*), ширина которых $b_б$ в зоне значительных градиентов должна быть по возможности меньше. После разрезки измерения повторяют и по разности отсчетов определяют возникшую в результате разрезки деформацию металла ε_x, затем вычисляют остаточные напряжения

$$\sigma_{x_{ост}} = -\varepsilon_x E, \tag{36}$$

где E — модуль упругости металла.

Возможна вырезка одной полосы, перпендикулярной к оси шва (рис. 29, *в*). Однако для достаточного снятия напряжений разрезкой в этом случае необходимо, чтобы $L_п > b_{п}$. Погрешность измерения напряжений в этом случае можно приближенно определить по формуле

$$\sigma_{x_{ост}} = \frac{\sigma_{x_{ост}}}{384}\left(\frac{\pi L_п}{2b_п}\right)^4, \tag{37}$$

где $\sigma_{x_{ост}}$ — остаточные напряжения посередине полоски;

$\sigma'_{x_{ост}}$ — остаточные напряжения посередине полоски, не снятые после разрезки.

Одноосные остаточные напряжения в балках определяют путем разрезки их на полосы или путем сострагивания слоев.

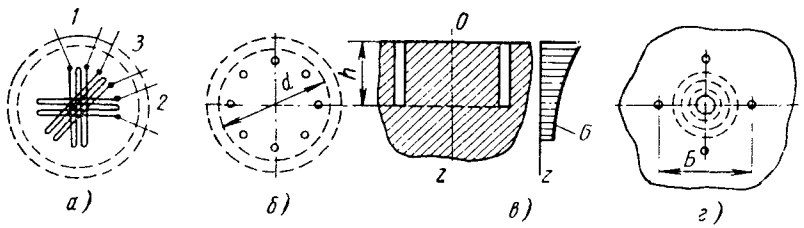


Рис. 30. Расположение мерительных баз и схема разрезки при определении двухосных остаточных напряжений: *а* — с помощью проволочных тензометров; *б* — с помощью механического деформометра; *в* — путем подрезки металла; *г* — методом рассверливания

Двухосные напряжения в пластинах находят по схемам на рис. 29, *б*, *г*. Измерение баз производят по двум направлениям главных осей. Остаточные напряжения вычисляют по формулам

$$\left.\begin{aligned}\sigma_{x_{ост}} &= -\frac{E(\varepsilon_x + \mu\varepsilon_y)}{1-\mu^2};\\ \sigma_{y_{ост}} &= -\frac{E(\varepsilon_y + \mu\varepsilon_x)}{1-\mu^2},\end{aligned}\right\} \qquad (38)$$

где ε_x и ε_y — относительные деформации металла в направлении Ox и Oy, возникшие в результате разрезки.

Когда направления главных осей не известны, измерения производят в трех направлениях, используя либо розетку датчиков (рис. 30, *а*), либо базы под механический деформометр (рис. 30, *б*). При определении двухосных остаточных напряжений на поверхности массивных тел металл подрезают на глубину не менее $h \approx 0{,}6d$ (рис. 30, *в*). *Двухосные осесимметричные напряжения* определяют путем последовательного рассверливания отверстий с измерением баз B (рис. 30, *г*). В качестве механического съемного деформометра получил распространение деформометр конструкции МВТУ им. Баумана (рис. 31) с использованием индикаторной головки. Измеряемые базы могут быть от 10 до 100 *мм*. Разброс показаний прибора при повторной установке не превышает 1 *мк*.

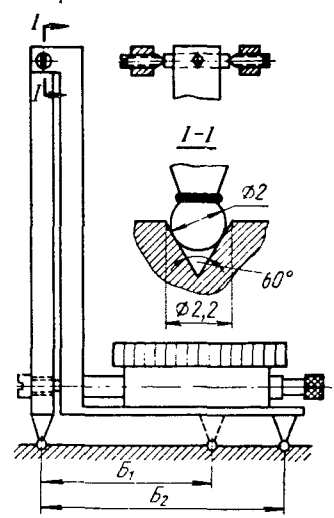


Рис. 31. Механический съемный деформометр конструкции МВТУ им. Баумана

Определение трехосных напряжений представляет некоторую сложность, так как требуется установка тензометров в глубине металла. Наиболее универсальным является метод, при котором в металле сверлятся глубокие отверстия диаметром 5—8 *мм*, заканчивающиеся в зоне предполагаемого измерения напряжений. В отверстия устанавливают проволочные тензометры

(приклеивают, заливают эпоксидной смолой или закрепляют на резьбовых вставках). После вырезки столбиков металла диаметром 30—40 *мм* с тензометрами посередине производят повторный отсчет и находят деформации. По ним вычисляют напряжения [4].

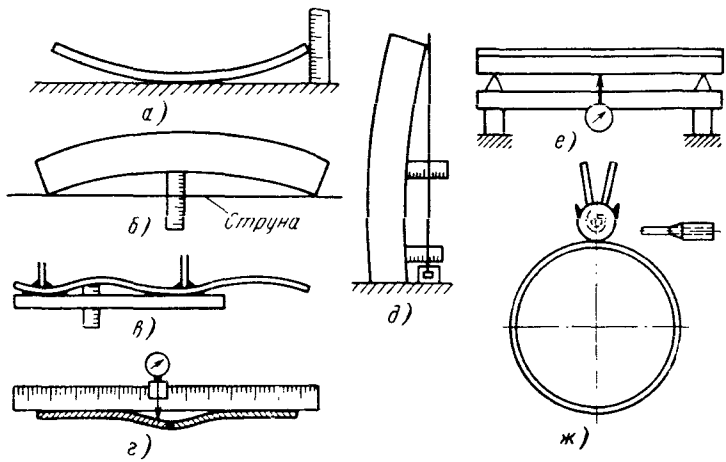


Рис. 32. Схемы измерения остаточных перемещений: *а* — на плите; *б* — струной и линейкой; *в* — двумя линейками; *г* - индикаторной головкой, перемещающейся вдоль линейки; *д* — вертикальной нитью; *е* - индикатором в специальном приспособлении; *ж* — периметромером путем обтяжки оболочки струной

Имеется ряд других методов определения одноосных и многоосных собственных напряжений в сварных конструкциях [1, 2, 4.]

Остаточные перемещения находят с применением обычных измерительных инструментов: линеек, измерительных лент и индикаторных головок (рис.32). Для этой цели снимают также профилограммы, измеряют прогибы с помощью отвеса или натянутой струны, периметры оболочек измеряют струнным периметромером и др.

ГЛАВА V

МЕТОДЫ УМЕНЬШЕНИЯ СВАРОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ, НАПРЯЖЕНИЙ И ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Методы уменьшения сварочных деформаций, напряжений и перемещений могут быть разделены на две группы в зависимости от того, предназначены ли они для уменьшения остаточных напряжений или для уменьшения перемещений при сварке. Деление это условно и зависит от основного назначения метода. Уменьшение остаточных напряжений влияет на изменение перемещений и наоборот.

ВЛИЯНИЕ СВАРОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ, НАПРЯЖЕНИЙ И ПЕРЕМЕЩЕНИЙ НА КАЧЕСТВО СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Пластические деформации металла в сочетании с термическим воздействием сварки вызывают главным образом изменение свойств металла. Влияние остаточных напряжений и перемещений элементов сварных конструкций многообразно и проявляется как при их изготовлении, так и в процессе эксплуатации.

Влияние пластических деформаций и остаточных напряжений обычно рассматривают совместно. Основные случаи их неблагоприятного проявления следующие:

1. Изменение геометрических размеров и нарушение точности в результате механической обработки деталей, имеющих остаточные напряжения.

Встречаются в основном два случая влияния механической обработки на точность деталей:

съем напряженного металла вызывает перераспределение остаточных напряжений, однако оно не обнаруживается в процессе обработки, так как перемещения детали невозможны ввиду ее закрепления. После освобождения обработанной детали и снятия ее со станка она деформируется и теряет точность, которая была достигнута при обработке. Например, деталь, показанная на рис. 1, *а*, при съеме с нее металла, испытывающего растягивающие напряжения, должна была бы изогнуться под действием появляющихся касательных сил $P_{\text{к}}$. Однако искривление обработанной плоскости *А* произойдет после освобождения детали от закреплений. Рассмотренный случай характерен для нежестких деталей при обработке их плоскостей;

съем напряженного металла вызывает деформирование детали непосредственно в процессе обработки. При этом теряется ранее достигнутая точность. Например, при расточке отверстия *I* (рис. 1, *б*) вследствие перераспределения остаточных напряжений нарушается точность отверстия *II*, обработанного ранее.

2. Суммирование остаточных напряжений с напряжениями от нагрузок, в результате чего протекают пластические деформации, жесткость детали оказывается меньше расчетной, после снятия нагрузки изменяются геометрические размеры и точность элементов конструкции.

Наиболее значительным по своему влиянию является первое нагружение конструкции. В тех зонах, где рабочие напряжения по своему знаку совпадают с остаточными, которые имеют после сварки величину предела текучести или достигают ее при суммировании с рабочими напряжениями, будут протекать пластические деформации. Участок *2*, где при первом нагружении протекают пластические деформации, как бы «выключается» из работы сечения (рис. 2, *в*), так как напряжения в нем, примерно равные пределу текучести, по мере роста

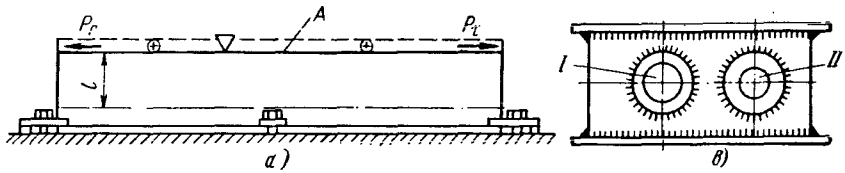


Рис. 1. Схемы обработки сварных деталей: *а* — обработка плоскости; *б* — обработка отверстий

нагрузки увеличиваются незначительно. Это уменьшает характеристики жесткости сечения EF и EJ. Перемещения — прогибы, углы поворота, удлинения, вызванные нагрузкой, превышают расчетные значения. Например, в балке на рис. 2, *а*, испытывающей изгиб, в работе участвует лишь сечение, показанное штриховкой на рис. 2, *в*.

После снятия нагрузки деталь, испытавшая пластические деформации, не возвращается в прежнее положение. В станках для механической обработки и приборах это может привести к снижению точности, в механизмах — к повышенным силам трения при работе их на холостом ходу и т. п.

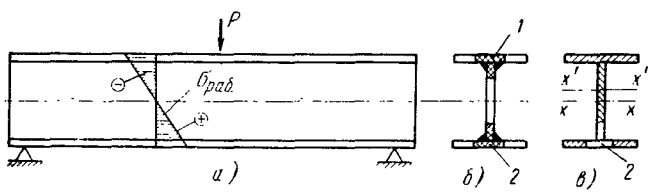


Рис. 2. Нагружение сварной балки с остаточными напряжениями: *а* — балка; *б* — зоны 1 и 2 с высокими остаточными растягивающими напряжениями; *в* — сечение балки, воспринимающее нагрузку при изгибе (показано штриховкой)

Имеются формулы для расчета остаточных прогибов в сварных балках [7]. Например, для случая, представленного на рис. 2, остаточный прогиб $f_{ост}$ можно вычислить по формуле

$$f_{ост} = f\left(\frac{J_x}{J'_x} - 1\right), \tag{1}$$

где f — прогиб балки под нагрузкой при отсутствии в ней остаточных напряжений;

J_x — полный момент инерции сечения балки относительно $x—x$ (рис. 2, *в*);

J'_x — момент инерции заштрихованного на рис. 2, *в* сечения относительно оси $x'—x'$.

При повторных нагружениях прирост пластических деформаций будет происходить в тех случаях, когда величины повторных нагрузок будут больше, чем при первом нагружении, а также при непродолжительном времени действия первого нагружения, когда пластические деформации не успевают произойти

в полной мере. Вибрационные нагрузки могут вызывать пластические деформации в зонах с высокими остаточными напряжениями в течение более продолжительного периода.

3. Пластические деформации металла, его старение и остаточные напряжения в концентраторах, что вызывает снижение деформационной способности элементов сварных конструкций при статическом нагружении.

Пластические деформации металла при сварке наиболее значительны в зонах концентрации напряжений в пересечениях непроваренных элементов, трещинах, в зонах резкого изменения сечений и т. п. Вследствие деформационного старения существенно возрастают предел текучести металла, величина «зуба текучести», склонность металла к локализации пластических деформаций, уменьшается полная деформация до разрушения. Понижается работа при ударном изгибе образцов. Особенно заметны эти изменения при испытаниях в условиях низких температур. При высокой начальной пластичности металла снижение ее в результате указанных причин, а также под влиянием низких температур, может оказаться в некотором интервале температур не столь значительным (рис. 3), чтобы вызвать понижение прочности сварного соединения при статической нагрузке. Однако при дальнейшем понижении температуры обнаруживается также и снижение прочности.

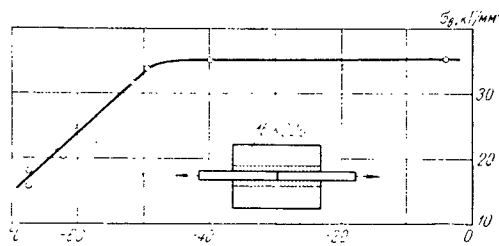


Рис. 3. Изменение предела прочности сварных крестовых образцов в зависимости от температуры

Отрицательное влияние сварочных напряжений на прочность соединений проявляется в том случае, когда материал находится в хрупком состоянии. При пластичном состоянии материала сварочные напряжения не являются опасными с точки зрения возникновения разрушения.

4. Жесткая схема трехосных растягивающих остаточных напряжений, способная вызвать разрушение металла без существенной пластической деформации. Объясняется это тем, что пластическая деформация в металле начинается, когда эквивалентное напряжение σ_i достигает $\sigma_т$:

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}. \qquad (2)$$

Если наибольший компонент главных напряжений σ_1 достигнет значения разрушающего напряжения до того, как σ_i станет равным $\sigma_т$, разрушение возникнет без пластической деформации.

5. Понижение прочности сварных конструкций при переменных нагрузках под влиянием остаточных растягивающих напряжений. Теоретические исследования Н. В. Кудрявцева [10] показали, что влияние остаточных напряжений на усталостную прочность может быть выражено специальной формулой.

В сварных соединениях в зависимости от свойств металла и концентрации напряжений степень влияния остаточных напряжений на усталостную прочность меняется в широких пределах и количественно окончательно не установлена. Проведены разнообразные исследования усталостной прочности сварных соединений с остаточными напряжениями [6, 7, 10]. Степень влияния остаточных напряжений на выносливость понижается с увеличением переменных напряжений и зависит также от формы сварных соединений.

6. Влияние остаточных напряжений на местную устойчивость тонкостенных элементов сварных конструкций. При действии сжимающих остаточных напряжений устойчивость понижается. В тонкостенных элементах, где сжимающие

остаточные напряжения распределены равномерно, они могут быть просуммированы с рабочими при определении критических напряжений и запаса устойчивости (см. гл. IV). Нередко потеря устойчивости тонколистовых элементов возникает только от остаточных напряжений. Остаточные сжимающие напряжения влияют на общую устойчивость сварных стержней двутаврового, таврового, коробчатого и других профилей. Степень влияния остаточных напряжений зависит от гибкости колонн и расположения зон с растягивающими и сжимающими напряжениями. Количество исследований, посвященных данному вопросу, мало; точки зрения отдельных авторов не совпадают.

7. Интенсификация процессов коррозии и коррозионного растрескивания в зонах с остаточными растягивающими напряжениями и пластическими деформациями. В ряде случаев преобладающее влияние оказывают пластические деформации. Имеет место воздействие напряжений как первого рода, так и более высоких родов. Исследования по количественному влиянию остаточных напряжений на процессы в коррозионных средах малочисленны.

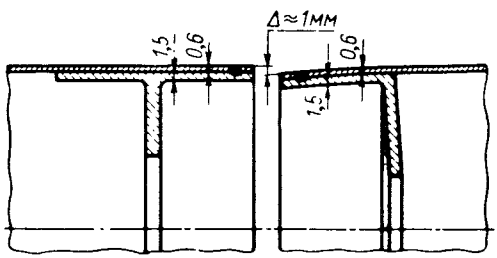


Рис. 4. Цилиндрические оболочки с приваренными шангоутами

8. Накопление значительной потенциальной энергии в сварных конструкциях вследствие наличия объемов металла с большими остаточными напряжениями. Развитие начавшихся по разным причинам разрушений может происходить только за счет накопленной потенциальной энергии. Известны случаи самопроизвольных развитых разрушений, когда рабочие напряжения отсутствовали. Основное количество потенциальной энергии сосредоточено в зонах пластических деформаций сварных соединений, где остаточные напряжения наиболее значительны и нередко близки к пределу текучести. В зоне сжимающих напряжений, которые обычно невелики, количество запасенной энергии незначительно.

Это следует из формулы, выражающей количество энергии в единице объема при одноосном напряжении, где величина напряжений входит в квадрате:

$$U_1 = \frac{\sigma^2}{2E}. \qquad (3)$$

9. Образование и развитие так называемых холодных трещин (см. гл. VI). Оно происходит в присутствии остаточных напряжений первого рода, которые в данном случае являются необходимым элементом действующего механизма разрушения. Так как замедленные разрушения возникают в период, непосредственно следующий за сваркой, когда рабочие напряжения отсутствуют, роль остаточных напряжений наряду с другими факторами структуры и состояния металла является решающей. Результаты испытаний на замедленные разрушения (см. гл. VI) позволяют судить о количественной стороне влияния остаточных напряжений.

Влияние перемещений, вызванных сваркой также многообразно и может проявляться в следующем:

1. Остаточные перемещения в значительном большинстве случаев затрудняют сборку элементов сварных конструкций, а в некоторых случаях делают ее даже невозможной. Например, после сварки тонких (менее 3–4 *мм*) листов в результате потери устойчивости коробление настолько значительно, что сваренные ранее пластины невозможно собрать между собой, не применив перед сваркой их правку. Отдельные элементы сложных балочных конструкций перед сборкой, как правило, должны подвергаться правке, так как они не могут быть

собраны ввиду наличия больших зазоров от изгиба. На рис. 4 показаны поперечные сечения концов тонкостенных оболочек с пиангоутами, в которых различное окружное сокращение после сварки роликовых швов не позволило собрать оболочки под сварку, ввиду наличия «ступеньки» величиной около 1—1,5 *мм*. Практика производства сварных конструкций располагает многочисленными примерами необходимости устранения перемещений перед сборкой.

2. Остаточные перемещения могут ухудшить процесс и качество сварки. На рис. 5, *а* показаны тонкие листы, которые вначале были собраны на прихватках, а затем был заварен шов *1*. Потеря устойчивости листов не позволяет произвести сварку шва *2*, так как при зажатии их в приспособлении в зоне шва *2*

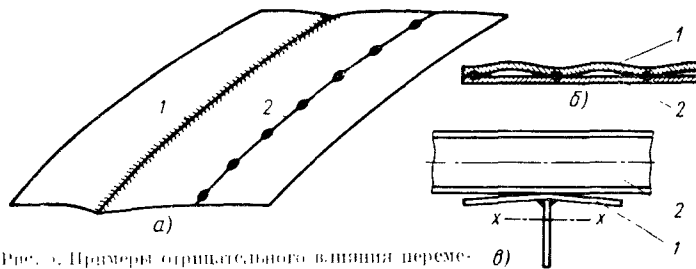


Рис. 5. Примеры отрицательного влияния перемещений на соединения, поступающие на сварку

появляются перемещения волнообразного характера, листы не прилегают к подкладке, ввиду чего сварка не может быть выполнена качественно. На рис. 5, *б* показан недостаточно хорошо выправленный лист *1*, который точками собран с листом *2* под роликовую сварку. В процессе сварки происходит смятие листа *1*, имеются смещения и вмятины.

Полка балки *1* на рис. 5, *а* имеет грибовидность; в сопряжении между балкой *1* и *2*, которое должно быть заварено, имеется зазор. Ввиду того, что угловой шов может оказаться неполноценным, необходимо устранение грибовидности.

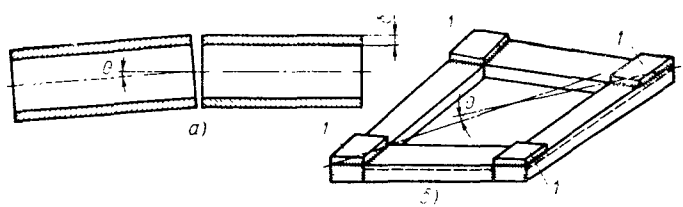


Рис. 6. Примеры влияния остаточных перемещений на величину припусков при механической обработке: *а* – сварной вал; *б* — рама, имеющая пропеллерность

3. Вследствие остаточных перемещений, вызванных сваркой, назначают завышенные припуски на механическую обработку деталей. Например, толщину стенок вала на рис. 6, *а*, который должен обрабатываться снаружи и внутри, необходимо перед сваркой назначать большей ввиду появления углового излома θ в зоне кольцевого шва, выполняемого электроприлаковой сваркой. Аналогичные случаи имеют место и в протяженных сварных деталях другого типа (рис. 6, *б*). Пластины *1*, поверхности которых обрабатываются, должны быть выполнены завышенной толщины.

4. Некоторые виды перемещений изменяют геометрические характеристики сечений, например уменьшают момент инерции J, что, в свою очередь, может

привести к неучтенному расчетом повышению рабочих напряжений. На рис. 5, *в* показано сечение сварной балки, полка которой имеет грибовидность. Приближение полки к центру тяжести балки вызывает уменьшение момента инерции J_x.

Сварочные перемещения могут привести к выключению из работы отдельных участков конструкции и к перегрузке за счет этого других участков, например при местной потере устойчивости листовых элементов.

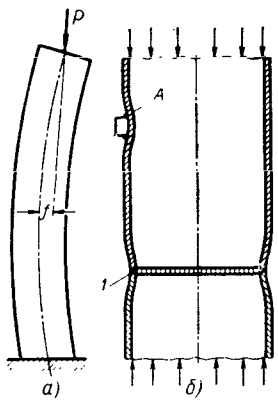


Рис. 7. Примеры отрицательного влияния перемещений на устойчивость элементов конструкций: *а* — колонна; *б* — цилиндрическая оболочка

5. Остаточные перемещения (изгиб, хлопуны) оказывают заметное влияние на устойчивость конструкций. Например, остаточные прогибы f в колоннах, работающих на сжатие, вызывают появление дополнительных изгибающих моментов (рис. 7, *а*). В тонкостенных оболочках, работающих на сжатие, устойчивость может быть понижена за счет корсетного сокращения от кольцевого шва *1* или за счет прогиба участка *А* оболочки в направлении к ее оси (рис. 7, *б*).

6. Остаточные перемещения, искажающие форму сварных конструкций, могут повлиять на эксплуатационные свойства изделий, например вызвать повышенные сопротивления потоку жидкости или газа. Сварные плоскости самолетов, выполненные с применением точечной сварки, могут иметь недостаточно ровную поверхность. Листовые элементы, испытывающие действие остаточных сжимающих напряжений, при движении в потоке газа или жидкости могут испытывать вибрацию. Отклонения сварных деталей от проектных размеров нередко вызывают в механизмах повышенные силы трения.

7. Вследствие значительных перемещений (сокращений, изгиба) размеры сварных деталей могут значительно отклоняться от проектных, не укладываясь в отведенное поле допуска. В таких случаях необходимо также устранять остаточные перемещения или учитывать их при заготовительных операциях.

8. В ряде изделий искажения формы от сварки приводят к неудовлетворительному внешнему виду, не отвечающему эстетическим требованиям (вагоны, автомобили, предметы бытового назначения и др.).

МЕТОДЫ УМЕНЬШЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ МЕТАЛЛА ПРИ СВАРКЕ

Имеются три принципиально возможных пути влияния на сварочные деформации и напряжения, которые используются в различных методах снижения остаточных напряжений, пластических деформаций и перемещений от сварки.

Первый путь заключается в уменьшении величины пластической деформации металла в стадии его нагрева, а также в уменьшении объема металла, участвующего в пластической деформации. Обычно на стадии нагрева стремятся уменьшить пластические деформации укорочения, так как они в основном являются причиной образования усадки после полного остывания детали.

Второй путь состоит в увеличении пластической деформации удлинения металла на стадии остывания или после полного охлаждения в тех зонах, где при нагреве возникли пластические деформации укорочения. Если удлинение по величине будет равно возникшему при нагреве укорочению, то остаточные деформации окажутся равными нулю.

Третий путь заключается в компенсации возникающих деформаций за счет симметричного расположения швов, предварительных обратных де-

формаций и т. п. В некоторых методах одновременно используют разные принципы.

Существует несколько методов уменьшения остаточных напряжений.

Предварительный и сопутствующий подогревы при сварке. Они уменьшают пластические деформации укорочения металла. В некоторых случаях, если вследствие подогрева сварка выполняется на пониженных погонных энергиях, уменьшается объем зоны пластически деформированного металла. С увеличением температуры подогрева эффект снижения остаточных напряжений усиливается. Подогрев до высоких температур, когда $\sigma_T \approx 0$, вообще исключает образование значительных остаточных напряжений. Подогрев оказывает заметное влияние на остаточные напряжения, вызванные структурными превращениями, и на величину предела текучести металла вследствие уменьшения скорости охлаждения. Замедление скорости охлаждения снижает остаточные напряжения. Одновременно с уменьшением величины максимальных напряжений подогрев в ряде случаев благоприятно влияет на структуру металла сварных соединений.

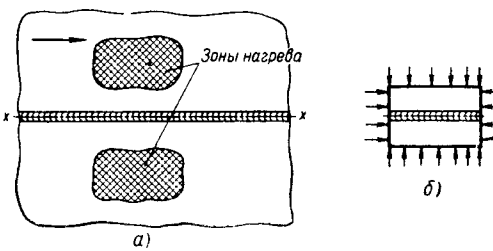


Рис. 8. Схема ведения процесса снижения остаточных напряжений термомеханическим методом

Проковка металла. Выполняется непосредственно после сварки по горячему металлу или после полного остывания. Благодаря осадке металла в направлении удара происходит его раздача в перпендикулярных направлениях, что снижает растягивающие напряжения или даже вызывает сжатие. Глубина распространения эффекта проковки обычно находится в пределах менее 10 *мм* и зависит от формы инструмента и мощности ударов. Известны случаи отрицательного влияния проковки в малопластичных металлах вследствие чрезмерного наклепа. Проковка имеет преимущество перед другими методами в отношении маневренности и простоты оборудования.

Прокатка зоны сварных соединений или обкатка поверхностей роликами. Уменьшает растягивающие напряжения, а при значительных давлениях может создавать сжимающие напряжения вплоть до величины, близкой к пределу текучести металла. Имеет преимущество перед проковкой благодаря большей равномерности деформации, статическому характеру приложения давления и возможности плавного регулирования усилия. Более подробные данные о прокатке швов приведены ниже.

Приложение нагрузок к элементам сварных конструкций. Возможно приложение нагрузок в процессе выполнения сварки или после полного остывания. Первый прием применяют крайне редко. Методы статического нагружения используют растяжение или изгиб с образованием растягивающих напряжений в зонах, где остаточные напряжения максимальны. При сложении напряжений и достижении σ_T возникают пластические деформации. Полное снятие остаточных напряжений может быть достигнуто, если нагрузка при растяжении вызовет текучесть всего сечения элемента, однако такие условия практически трудно обеспечить.

Частным случаем является динамическое приложение нагрузок путем вибрации сварных конструкций. Заметное снижение напряжений происходит при напряжениях, превышающих предел выносливости металла. Возможно введение ультразвуковых колебаний для снижения напряжений, однако этот метод мало исследован.

Термомеханический метод снижения остаточных напряжений. Движущимися горелками или индукторами создаются два пятна нагрева до 150—200° С

(рис. 8, *а*). Расширение нагретых зон металла в направлении вдоль шва (вдоль оси x — x) создает дополнительное растяжение в зоне остаточных растягивающих напряжений и сжатие в перпендикулярном направлении y — y. Такая схема действия сил (рис. 8, *б*) благоприятна в отношении развития пластических деформаций. Непосредственно за нагретыми пятнами движутся душевые водяные охладители.

Данный метод позволяет понизить напряжения в зонах, где они максимальны. Полного снятия напряжений не достигается.

Перераспределение напряжений местным нагревом. В центральной части зоны нагрева после остывания образуются остаточные напряжения растяжения. Вблизи зоны нагрева действуют уравновешивающие напряжения сжатия, которые могут быть использованы как средство повышения вибрационной прочности, если сжимающие напряжения действуют в зоне опасного концентратора.

ОТПУСК СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Отпуск сварных конструкций применяют для изменения структуры и свойств металла и снижения остаточных напряжений. Применение отпуска для снижения остаточных напряжений целесообразно, если предъявляются повышенные требования в отношении точности сварных конструкций, а также, когда необходимо повысить сопротивляемость хрупким разрушениям при низких температурах. В ряде случаев применение отпуска не оправдано.

Основное преимущество общего отпуска в том, что снижение напряжений происходит во всей сварной конструкции независимо от ее сложности. Степень снятия напряжений при высоких температурах отпуска достигает 80—90% от исходного уровня и более. Одновременно с напряжениями первого рода снижаются напряжения второго и третьего рода. Отпуск сварных конструкций по объему своего применения значительно превосходит все остальные методы снижения напряжений.

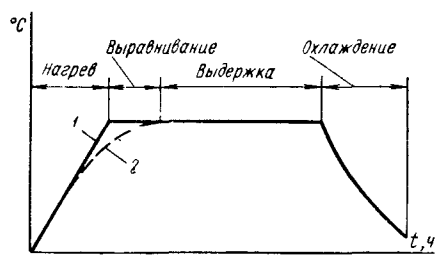


Рис. 9. Стадии отпуска сварных конструкций и изменение температуры во времени: *1* — поверхность изделия; *2* — внутренние зоны

Различают общий отпуск, когда изделие нагревают полностью и равномерно, местный — нагревают лишь часть конструкции в зоне сварного соединения, и поэлементный — термической обработке подвергают узлы сварной конструкции, а затем сваривают их между собой. Более распространен высокий отпуск при 550—680° С.

Отпуск заметно повышает стоимость изготовления сварных конструкций, поэтому режимы его должны быть наиболее экономичными. Операция отпуска состоит из четырех стадий (рис. 9): нагрева, выравнивания температур по длине и сечению детали, выдержки и охлаждения. Продолжительность нагрева зависит от мощности печи и допустимой скорости подъема температуры. Для пластичных металлов, в которых практически исключено появление разрушений при нагреве, скорость его может достигать нескольких сотен градусов в 1 *ч*. Продолжительность выравнивания температур зависит от размеров сечения деталей, продолжительность выдержки — как от необходимой степени полноты протекания структурных превращений, так и от необходимой степени снижения остаточных напряжений. При температуре отпуска 650—680° С пластичность низкоуглеродистых и низколегированных конструкционных сталей, утраченная в результате деформационного старения, восстанавливается через 2—3 *ч*. Снижение остаточных напряжений при температурах отпуска 550—680° С в основном происходит в процессе нагрева (см. табл. 1). В большинстве конструк-

ционных сталей наблюдается линейная зависимость снижения одноосных напряжений в процессе нагрева

$$\sigma_{нач} = K\sigma_0, \tag{4}$$

где $\sigma_{нач}$ — напряжение в момент окончания нагрева до температуры отпуска;
σ_0 — начальное напряжение;
K — коэффициент пропорциональности, выражающий степень снижения напряжений и зависящий от достигнутой температуры и марки стали (табл. 1).

1. Значения коэффициента K

Марка стали	Достигнутая температура в °С			
	500	550	600	650
1Г2СМФ	—	0,58	0,38	0,27
15ГНМ	—	0,33	0,19	0,13
30Х2ГМТ	—	0,5	0,36	—
МСт.3 закалка	0,32	—	—	—
МСт.3 нормализация	0,21	—	—	

Закономерность (4) не соблюдается при напряжениях σ_0, близких к пределу текучести $\sigma_т$ или малых значениях, порядка 0,1 $\sigma_т$. Напряжения, равные $\sigma_т$, снижаются в большей степени, а близкие к нулю — в меньшей.

Степень снижения напряжений при нагреве не зависит от скорости нагрева (исследован диапазон от 120 до 300 *град/ч*), а полностью определяется маркой стали и достигнутой температурой.

В процессе выдержки напряжения снижаются медленно. Этот процесс описывается формулой

$$\sigma_t = \sigma_{нач}\left(\frac{t}{t_0}\right)^{-B}, \tag{5}$$

где σ_t — напряжение через время t после начала выдержки;
t — время выдержки в *мин*;
t_0 = 10 *мин*.

Значения коэффициента B для некоторых случаев приведены в табл. 2.

2. Значения коэффициента B

Марка стали	Температура отпуска в °С			
	500	550	600	650
1Г2СМФ	—	−0,073	−0,08	−0,12
15ГНМ	—	−0,16	−0,185	−0,082
30Х2ГМТ	—	−0,062	−0,081	—
МСт.3 закалка	−0,175	—	—	—
МСт.3 нормализация	−0,16	—	—	—

Добиваться значительного снижения напряжений путем увеличения продолжительности выдержки нецелесообразно. Больший эффект достигается при повышении температуры отпуска на несколько десятков градусов.

Снижение одноосных напряжений в процессе отпуска весьма близко к снижению напряжений при простой релаксации (рис. 10). Трехосные растягивающие напряжения снижаются в меньшей степени, чем одноосные и двухосные, но

закономерность снижения остается примерно такой же, как и одноосных напряжений (рис. 10).

Точное определение величины трехосных и двухосных напряжений в процессе отпуска может быть выполнено расчетно-экспериментальным путем [4]. Заводская практика выработала нормативы назначения продолжительности выдержки при отпуске, исходя из толщины металла, например 1 *ч* на 25—50 *мм* толщины. Такой подход приводит к неоправданно завышенной продолжительности периода выдержки и стоимости отпуска. Независимо от толщины металла достаточно после выравнивания температур по всему сечению дать выдержку около 3 *ч*, после чего начать охлаждение.

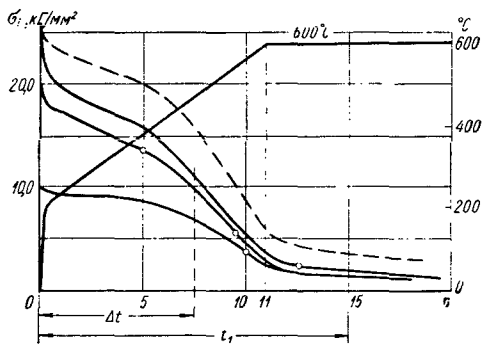


Рис. 10. Снижение эквивалентных напряжений в процессе простой релаксации (сплошные кривые) и трехосных напряжений в сварном соединении большой толщины (пунктирная кривая)

При местном отпуске необходимо добиваться более плавного изменения температур на участке перехода от ненагретой к нагретой части детали. Это создает меньшие остаточные напряжения после полного остывания. После поэлементного отпуска сварные узлы целесообразно соединять стыковыми швами при высоком качестве технологического процесса.

При остывании в сварных соединениях из металлов с различными коэффициентами линейного расширения вновь образуются остаточные напряжения, величина которых зависит от разности температурной деформации.

Прочие методы. Некоторое распространение получили различные приемы регулирования остаточных напряжений путем изменения погонной энергии сварки, порядка наложения швов, выбора присадочного металла, предварительной термообработки основного металла и др.

МЕТОДЫ УМЕНЬШЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ОТ СВАРКИ

Мероприятия, используемые до сварки

1. Рациональное конструирование:

а) назначение минимальных получающихся по расчету сечений швов; это приводит к уменьшению количества наплавленного и расплавленного металла, тепловложения и почти всех видов деформаций и перемещений. Особенно целесообразно уменьшение катетов швов K, так как при этом площадь поперечного сечения шва и погонная энергия сварки сокращаются пропорционально K^2;

б) использование сварных соединений и тех видов сварки, которые осуществляются с малыми погонными энергиями, например контактных взамен электродуговых;

в) конструирование элементов балочного типа с таким поперечным сечением балки и расположением продольных сварных швов, чтобы сумма моментов усадочных сил относительно центра тяжести площади поперечного сечения была близка к нулю. При этом изгиб балочных элементов уменьшается или устраняется вовсе. Не рекомендуется одностороннее расположение поперечных швов в балках, так как это приводит к значительным изгибам, к искривлению оси x — x (рис. 11);

г) возможность компенсации возникающих сокращений за счет беспрепятственного перемещения свариваемых элементов, например использование нахлесточных соединений, допускающих такие перемещения;

д) при наличии в конструкции тонколистовых элементов, подверженных потере устойчивости, назначение мест расположения швов на жестких каркасах с целью уменьшения напряжений сжатия в тонких листах.

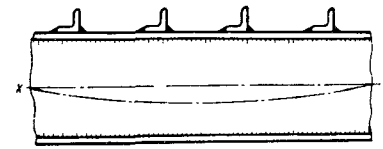


Рис. 11. Сварная балка с несимметричным расположением поперечных швов

Приемы рационального конструирования многообразны и не исчерпываются перечисленными основными способами.

2. Сборка заготовок и назначение их размеров с учетом последующих деформаций и перемещений. Например, использование углового излома (рис. 12, *а*) или сборка с переменным зазором по длине (рис. 12, *б*) для компенсации угловых перемещений; назначение увеличенной длины труб для компенсации поперечной усадки от кольцевых швов, раскрой стенки тавра с начальной кривизной

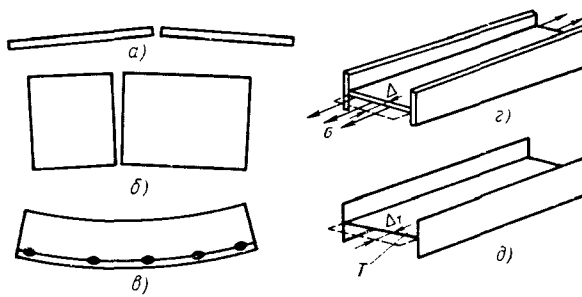


Рис. 12. Создание перемещений, противоположных сварочным, путем соответствующей сборки (*а*, *б*), раскроя (*в*), натяжением (*г*) и предварительным подогревом (*д*)

(рис. 12, *в*). Сюда же относятся натяжение листов перед сваркой, которые могут потерять устойчивость вследствие деформаций укорочения, вызываемых усадкой (рис. 12, *г*), или подогрев листов с целью их удлинения перед сборкой на прихватках (рис. 12, *д*).

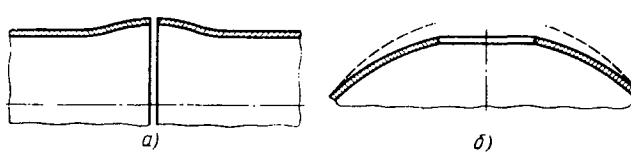


Рис. 13. Создание перемещений, противоположных сварочным, путем предварительной пластической деформации

3. Создание деформаций и перемещений, обратных сварочным, путем пластического деформирования заготовок. Например, раскатка края цилиндрической обечайки (рис. 13, *а*), выштамповка сферической оболочки перед вваркой штуцера (рис. 13, *б*), предварительный пластический изгиб балки перед сваркой и т. п.

4. Создание напряжений растяжения в зоне сварного соединения путем изгиба или растяжения детали в приспособлении (рис. 14, *а*). При сварке по напряженному металлу возникает меньшая усадочная сила $P_{ус}$. При начальных напряжениях в зоне сварки, примерно равных пределу текучести металла, усадочная сила будет близка к нулю. На тонком металле можно ограничиться растяжением лишь в зоне сварки, упруго изгибая лист в двух направлениях, как показано на рис. 14, *б*. Сварка по кромке, отрезанной газом, также приводит к образованию меньших деформаций, так как наличие растягивающих напряжений в металле после резки способствует уменьшению остаточной усадочной силы, вызываемой сваркой.

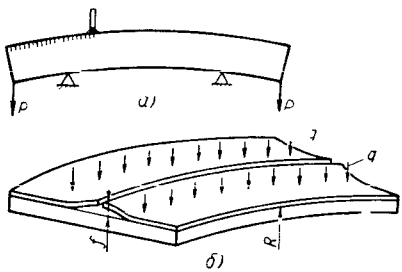


Рис. 14. Создание растягивающих напряжений в зоне сварки с целью уменьшения усадочной силы: *а* — в балке путем изгиба; *б* — в тонких листах путем изгиба в двух направлениях

Мероприятия, используемые в процессе сварки

1. Рациональная последовательность выполнения сборочно-сварочных операций [11]. На рис. 15 дан пример последовательности сварки двутавровой несимметричной балки, когда вначале собирают и сваривают тавр швами *1* и *2*, ближе расположенными к центру тяжести сечения, а затем выполняют швы *3* и *4*. При изготовлении балок с продольными швами положительный эффект достигается за счет использования различных моментов инерции J частей балки, различных расстояний e от центра тяжести сечения до швов, т. е. различных $M_{ус} = P_{ус}e$, и за счет компенсации противоположно направленных изгибов. В простейших случаях рациональная последовательность устанавливается путем расчета сварочных перемещений. Если существенны перемещения от поперечной усадки, то обычно стремятся к тому, чтобы выбрать последовательность сборки и сварки, обеспечивающую беспрепятственное сокращение отдельных частей конструкции. Например, в балке на рис. 11 целесообразно вначале приварить уголки к полосе, идущей на верхний пояс, а затем уже собрать балку и заварить продольные швы. Рациональная последовательность нередко является единственным способом избежать значительных перемещений при сварке.

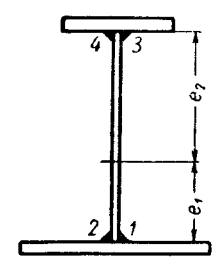


Рис. 15. Рациональная последовательность сварки несимметричной двутавровой балки

2. Снижение погонной энергии сварки за счет применения более экономичных режимов или способов сварки, например автоматической сварки тонколистового металла взамен ручной. В некоторых случаях, если необходимо увеличение деформаций с целью компенсации деформаций противоположного знака, погонную энергию сварки увеличивают. Например, в балке на рис. 15, если ее вначале собирают на прихватках, швы *1* и *2* целесообразно варить на бо́льших погонных энергиях, чем швы *3* и *4*.

3. Уменьшение площади зоны пластических деформаций путем искусственного охлаждения металла в процессе сварки. При контактной сварке может применяться дутирование, при дуговой — охлаждаемые прижимы.

4. Закрепление изделий в приспособлениях. Эффективно лишь в отношении временных перемещений, возникающих во время постановки прихваток, когда связь между деталями незначительна, а также при сварке без прихваток. Положительный результат достигается за счет использования жесткости приспособления. Частными случаями являются: а) скрепление деталей скобами или суха

рями при электрошлаковой сварке для уменьшения временных и частично остаточных перемещений; б) прижатие кромок оболочек при сварке кольцевых швов с целью уменьшения их перемещений в радиальном направлении. Остаточные перемещения изгиба в балках при закреплении их в приспособлениях уменьшаются незначительно.

5. Создание непосредственно вслед за сваркой пластических деформаций удлинения металла путем его проковки. При электродуговых способах сварки применяют проковку молотком вручную, при точечной сварке прикладывают ковочное усилие. Этим достигается уменьшение усадочной силы.

6. Создание в процессе точечной или роликовой сварки направленного смещения свариваемых элементов для компенсации возникающих при остывании перемещений. Например, потеря устойчивости тонкого листа (рис. 16) может быть предотвращена путем его сдвига относительно каркаса непосредственно в процессе точечной сварки.

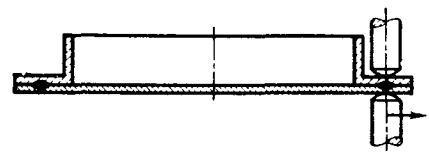


Рис. 16. Использование сдвига электродов при сварке для создания растягивающих напряжений в тонком листе

7. Регулирование величины фиктивной усадочной силы в материалах, испытывающих структурные превращения:

а) изменением погонной энергии сварки, влияющей на соотношение площадей зон с растягивающими и сжимающими остаточными напряжениями;

б) введением различных присадочных проволок и изменением величины остаточных напряжений в шве (рис. 6, гл. IV);

в) предварительной термической обработкой основного металла (или только свариваемой кромки) для изменения предела текучести металла. Предел текучести влияет на ширину зоны пластических деформаций и, следовательно, на фиктивную усадочную силу.

В ряде случаев удается получить фиктивную усадочную силу, близкую к нулю, и предотвратить перемещения от сварки.

Мероприятия, используемые после сварки

1. Создание пластических деформаций удлинения в зоне сварного соединения с целью получения перемещений, противоположных по знаку сварочным. Так как фиктивная усадочная сила $P_{ус}$ выражается интегралом от остаточных пластических деформаций, которые в большинстве случаев являются деформациями

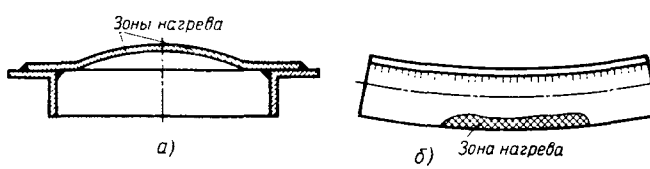


Рис. 17. Зоны нагрева для создания усадки металла: *а* — в листовых элементах, потерявших устойчивость; *б* — в изогнутых балках

укорочения [гл. IV, формула (1)], то удлинение металла приводит к уменьшению силы $P_{ус}$. Пластические деформации удлинения создают путем изгиба детали, ее растяжения, проковки, прокатки роликами, осадки металла по толщине под прессом и т. п. Перечисленными приемами остаточные деформации и перемещения можно устранить полностью.

2. Создание пластических деформаций укорочения путем местного нагрева тех зон, усадка которых приводит к устранению нежелательных остаточных перемещений, вызванных сваркой. Данный метод получил название термической правки

Зонами нагрева могут быть:

1) участки, испытывающие остаточные напряжения сжатия и потерявшие устойчивость (рис. 17, *а*). Необходимо получить укорочение, по величине равное усадке сварных швов;

2) участки, сокращение которых вызывает изгиб противоположного знака (рис. 17, *б*) по сравнению со знаком сварочных перемещений. Используется прием компенсации деформаций.

Эффективность и применение данного метода в производстве весьма значительны.

3. Устранение деформаций и перемещений путем высокого отпуска деталей в зажимных приспособлениях, где им придается необходимая форма. В процессе отпуска упругие деформации переходят в пластические и деталь после отпуска сохраняет ту форму, которую имела в приспособлении.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НЕКОТОРЫХ МЕТОДОВ УМЕНЬШЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ОТ СВАРКИ

Деформирование и закрепление свариваемых деталей. Как указывалось выше, имеется несколько способов уменьшения перемещений, которые применяют до сварки и в процессе сварки и которые основаны на механическом принципе изменения или сохранения формы изделия.

Следует различать три группы приемов:

а) закрепление изделий в приспособлениях, которые являются дополнительной жесткостью. Приспособления не используются для деформирования деталей, например для растяжения, изгиба и т. п.;

б) предварительная деформация изделия, вызывающая в зоне сварки напряжения, которые способствуют уменьшению фиктивной усадочной силы и поперечной усадки. Такая деформация воздействует на процессы, происходящие в зоне пластических деформаций во время сварки;

в) пластическое деформирование деталей или сборка, при которых еще до сварки создаются перемещения, противоположные тем, которые возникнут после полного остывания детали.

Группа а. Пассивные зажимные приспособления временно увеличивают жесткость изделия. Основное назначение таких приспособлений — зафиксировать проектное положение деталей и сохранить его во время постановки прихваток. В процессе сварки жесткие приспособления устраняют чрезмерные временные перемещения и не позволяют отдельным элементам изделия смещаться относительно друг друга. Зажимные приспособления эффективны при сварке встык листов толщиной до 6—8 *мм*, когда приспособление не позволяет изделиям перемещаться в плоскости, предотвращает значительные угловые деформации и не дает возможности листам в процессе сварки терять устойчивость. Последнее достигается на листах толщиной 1—3 *мм*, если усилие прижима одной кромки составляет 15—30 *кГ* на 1 *см* длины.

Неэффективно применение зажимных приспособлений для уменьшения остаточного прогиба балок или остаточных деформаций потери устойчивости листов, когда изделие с этой целью остывает в приспособлении. Ниже приведены прогибы листов из нержавеющей стали толщиной 1,5 *мм*, длиной 1000 *мм* и шириной 250 *мм* после автоматической сварки с CO_2:

Прогиб в *мм* после остывания в свободном состоянии	104	111,5	107	112	112
Прогиб в *мм* после зажатия этих образцов в приспособлении	77,5	86,5	84	88	9

Хотя среднее уменьшение прогиба составляет 22%, однако практически является недостаточным.

Кривизна балок $C_{пр}$, сваренных продольными швами в абсолютно жестком зажимном приспособлении ($J_{пр}=\infty$), связана с кривизной балок C, сваренных без приспособления, формулой

$$C_{пр}\approx\frac{J_б - J_п}{J_б}C, \tag{6}$$

где $J_б$ — момент инерции поперечного сечения балки относительно оси изгиба;

$J_п$ — момент инерции площади зоны пластических деформаций относительно центра тяжести поперечного сечения балки.

Так как обычно в балках $J_б$ значительно больше $J_п$, то коэффициент при C близок к единице. Следовательно, уменьшение прогиба будет незначительным.

Группа б. Приспособлениями могут быть созданы в зоне сварки растягивающие напряжения, например распорным кольцом в зоне кольцевого шва оболочки, путем изгиба балки перед сваркой продольных швов и т. п. В этом случае фиктивная усадочная сила $P'_{ус}$ уменьшается пропорционально растягивающим напряжениям. Для изделий с развитым поперечным сечением, когда площадь зоны пластических деформаций в несколько раз меньше площади поперечного сечения, эта зависимость приближенно выражена формулой (10) в главе IV.

Если изгиб балок вызывается поперечными швами, то растягивающие напряжения, действующие поперек швов, также способствуют значительному уменьшению прогибов.

Группа в. Детали перед сваркой занимают положение, обеспечивающее компенсацию перемещений, которые должны возникнуть в процессе сварки и остывания (рис. 12). Пластический изгиб детали перед сваркой, когда ей придается форма с учетом последующей усадки, выполняет ту же роль, что и сборка с припуском на деформации от сварки, например, пластический изгиб оболочек перед вваркой фланцев (рис. 13, *б*), раскатка края оболочки в зоне кольцевого шва (рис. 13, *а*), изгиб листа для уменьшения грибовидности. Возможно упругое деформирование некоторых элементов, например пояса тавровой балки перед сборкой его со стенкой, имеющей кривизну, равную кривизне от сварки (рис. 12 *в*), но с обратным знаком. Напряжения изгиба в поясе существенного влияния на изменение фиктивной усадочной силы не оказывают. Величина предварительно созданных перемещений в рассматриваемых случаях должна быть примерно равна перемещениям от сварки, но иметь противоположный знак.

Прокатка зоны сварных соединений, проковка, растяжение. В процессе сварки в зоне соединений образуются остаточные деформации укорочения. Путем прокатки, проковки, растяжения создают пластические деформации удлинения. Так как остаточные перемещения элементов сварных конструкций обусловлены наличием деформаций укорочения, образованных только в шве и прилегающих участках основного металла, то деформации удлинения также необходимо создавать только в этих зонах.

При прокатке цилиндрическими роликами создается пластическая деформация металла по толщине, которая приводит к удлинению металла в зоне прокатки в продольном и поперечном направлениях. Прокатка в основном устраняет деформации, вызванные продольной усадкой, удлинение металла в поперечном направлении невелико и не компенсирует поперечную усадку от сварки. Остаточные продольные растягивающие напряжения могут понизиться, оказаться близкими к нулю или даже перейти в напряжения сжатия. На величину остаточных напряжений $\sigma_{ост}$ в прокатанной зоне влияют следующие факторы:

1) давление при прокатке на ролики P в *кГ*;

2) диаметры роликов и ширина рабочего цилиндрического пояска роликов d и s в *см*;

3) толщина металла в зоне проката δ в *см*;

4) предел текучести $\sigma_т$ и модуль упругости E в *кГ*/*см*^{2};

5) начальные остаточные напряжения в металле перед прокаткой $\sigma_{нач}$ в $кГ/см^2$;

6) жесткость прокатываемого изделия или узла:

$$P^2 = \frac{6{,}7d\delta\sigma_T(\sigma_{кон} - \sigma_1)^2(\sigma_{нач} - 1{,}5\sigma_{кон} + 0{,}5\sigma_1)}{E(0{,}7\sigma_T - 0{,}3\sigma_{нач})}. \quad (7)$$

Существует определенное давление на ролики P_0, при котором остаточные напряжения снижаются после прокатки до нуля. Для случая, когда $\sigma_{нач} \approx \sigma_T$, из формулы (7) имеем

$$P_0 = s\sqrt{\frac{10{,}1d\delta\sigma_T^3}{E}}. \quad (8)$$

Вычисленное по формуле (8) давление на ролики P_0 должно уточняться при исправлении конкретного изделия.

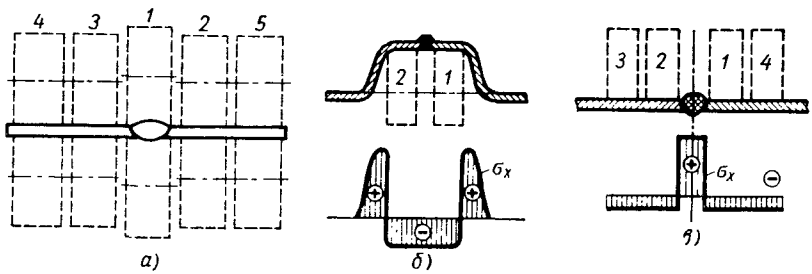


Рис. 18. Различные схемы прокатки роликами: *а* — прокатка всей зоны пластических деформаций; *б* — в средней части зоны создан перекат; *в* — шов не прокатан

Если имеются данные по оптимальным режимам прокатки конкретных сварных соединений из определенного материала, то при переходе на ролики другого диаметра с d_1 на d_2 или изменении толщины металла можно определять давления по следующим формулам:

$$P_{02} = P_{01}\sqrt{\frac{d_2}{d_1}}; \quad (9)$$

$$P_{02} = P_{01}\sqrt{\frac{\delta_2}{\delta_1}}, \quad (10)$$

где P_{01} — оптимальное давление прокатки по известному режиму.

Прокатка швов и околошовных зон производится стальными роликами шириной 5—15 *мм*. Если ширина зоны пластических деформаций от сварки больше ширины роликов, то околошовную зону необходимо прокатывать последовательно (рис. 18, *а*). В случае невозможности прокатать всю зону пластических деформаций, необходимо создать перекат в зоне, доступной для прокатки, назначая $P > P_0$ с тем, чтобы собственные напряжения были уравновешены в пределах зоны термического влияния и не передавали сжимающие усилия на остальную часть конструкции (рис. 18, *б*).

Если в шве нежелательно снижать пластические свойства металла, то прокатывают при повышенных давлениях только околошовную зону (рис. 18, *в*). Прокатка может применяться на нахлесточных роликовых и точечных соединениях, тогда $\delta_{расч} = 2\delta$. Повторная прокатка при неизменном давлении вызывает пластическую деформацию, составляющую не более 10—15% от деформации первого пропуска.

Устранение деформаций прокаткой производилось на соединениях толщиной металла до 12 *мм*.

Процесс может применяться и на больших толщинах, при этом отношение $\frac{d}{\delta}$ не следует принимать менее 15—20.

Основные требования к оборудованию для прокатки швов:

1) давление на ролики должно быть неизменным в процессе прокатки, например создаваться пневматическим или гидравлическим способом;

2) привод движения в случае прокатки дуговых швов, имеющих неровности, должен осуществляться на оба ролика;

3) поверхность роликов должна иметь прямолинейную образующую с закруглением на краях и достаточную твердость. Оси роликов должны быть параллельны.

Проковку (обжатие) сварных точек применяют с целью устранения усадки, вызванной сваркой. Обжатие может осуществляться либо непосредственно в контактной сварочной машине вслед за сваркой в период остывания точки,

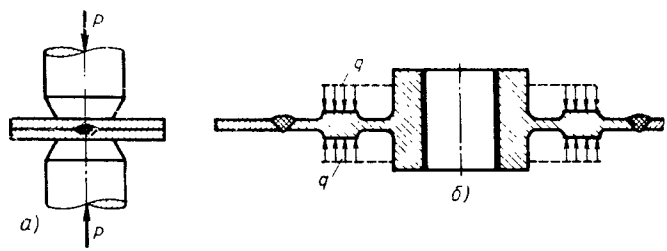


Рис. 19. Устранение радиальной усадки в сварных соединениях:
а — обжатием сварных точек; *б* — утолщением на фланце

либо отдельно на специальной установке (прессе) после остывания изделия (рис. 19, *а*). Некоторое утонение металла по толщине порядка 1—2% устраняет усадку в плоскости листов.

В круговых швах перемещения вызваны главным образом поперечной усадкой. Эффективным приемом устранения сварочных деформаций в пластичных металлах является осадка на прессе пояска, специально предусмотренного при изготовлении фланца (рис. 19, *б*). Удлинение металла при этом идет в основном в радиальном направлении и устраняет поперечную усадку.

Термическая правка [6]. Благодаря простоте, универсальности и маневренности термическая правка нашла в производстве широкое применение. Она основана на создании усадки металла путем его нагрева. Процессы образования усадки аналогичны процессам, происходящим при сварке. Углеродистые стали обычно нагревают газовым пламенем до 600—800° С. Нагреву подвергают такие места в конструкции, усадка которых устраняет нежелательные перемещения, возникшие при сварке.

По типу нагреваемых зон конструкции, подвергаемые термической правке, могут быть условно разделены на две группы:

1) конструкции, в которых необходимо править листовые элементы, потерявшие устойчивость от напряжений сжатия;

2) прочие конструкции, главным образом, балочного и рамного типа, в которых после сварки появился изгиб.

Избыток площади в листах, потерявших устойчивость, устраняют путем местного нагрева листа пятнами, расположенными в различных местах и имеющими форму кругов или полос (рис. 20, *а*). В процессе правки необходимо стремиться к энергичному и концентрированному нагреву, чтобы окружающий металл

был по возможности менее нагрет и оказывал сопротивление расширению нагреваемой зоны. Тогда в ней возникнут пластические деформации, а после остывания — усадка металла.

Оптимальные режимы нагрева листовых элементов газовыми горелками при термической правке, по данным Г. А. Бельчука, следующие:

Толщина металла в *мм*	2	3	4	5	6
№ наконечника	3	4	5	6	6
Расход ацетилена в *л/ч*	500	750	1200	1700	1700
Расход кислорода в *л/ч*	550	820	1300	1850	1850
Скорость нагрева в *см/мин*	42	36	27	24	18

Нагрев очередных пятен можно производить, не ожидая остывания ранее нагретых. О результатах правки можно судить лишь после полного остывания листа. Если исправление недостаточно, правку можно продолжить, нагревая соседние участки.

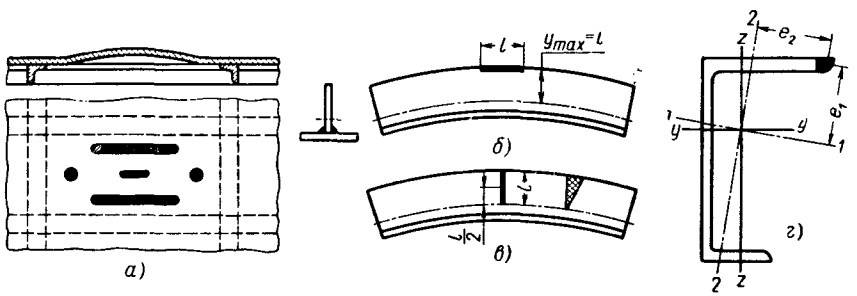


Рис. 20. Расположение зон нагрева при термической правке различных конструктивных элементов: *а* — листовых; *б*, *в*, *г* — балочного типа

Для повышения производительности термическую правку сочетают с механическим (силовым) воздействием, осаживая ударами молотка нагретый лист в плоскость, из которой он переместился, потеряв устойчивость.

Для устранения изгиба балочных и рамных конструкций изогнутый элемент нагревают с выпуклой стороны. Зона нагрева может располагаться как вдоль элемента, так и поперек его (рис. 20, *б*, *в*), а также иметь клиновидную форму. Поперечные зоны нагрева располагают в нескольких местах по длине балки. Определение мест нагрева должно производиться с учетом расположения их относительно главных центральных осей *1—1* и *2—2* (рис. 20, *г*). Структура формулы для определения изгиба относительно осей *1—1* и *2—2* следующая:

$$\left.\begin{aligned} f_1 &= \frac{P_{yc} e_1 l^2}{8EJ_1}; \\ f_2 &= \frac{P_{yc} e_2 l^2}{8EJ_2}, \end{aligned}\right\} \qquad (11)$$

где P_{yc} — фиктивная усадочная сила, действующая на длине зоны нагрева l;

e_1 и e_2 — расстояния от центра тяжести зоны нагрева, показанной на рис. 20, *г* темным пятном, до осей *1—1* и *2—2*;

J_1 и J_2 — моменты инерции относительно осей *1—1* и *2—2*.

Для определения плоскости изгиба необходимо найти $\frac{e_1}{J_1}$ и $\frac{e_2}{J_2}$, а затем построить векторную диаграмму. Положение суммарного вектора определит положение плоскости изгиба.

Применяют правку балок, сочетая местный или общий нагрев балки с изгибом ее на прессе.

ЛИТЕРАТУРА К ГЛАВАМ IV и V

1. Биргер И. А. Остаточные напряжения. Машгиз, 1963.
2. Гликман Л. А. Методы определения остаточных напряжений. Сб. «Чистовая обработка и состояние обработанной поверхности». Труды ЛИЭИ. Вып. 30. Л., 1960.
3. Головченко В. С. Исследование деформаций при кислородной резке малоуглеродистых сталей. Труды ЦНИИТС. Вып. 22. 1959.
4. Винокуров В. А. Сварочные деформации и напряжения. М., «Машиностроение». 1968.
5. Винокуров В. А., Григорьянц А. Г. «Сварочное производство». 1968, № 5.
6. Николаев Г. А. Расчет сварных соединений и прочность сварных конструкций. М., «Высшая школа». 1965.
7. Окерблом Н. О. и др. Проектирование технологии изготовления сварных конструкций. Судпромгиз. 1963.
8. Рыкалин Н. Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. М., Машгиз. 1951.
9. Руководящий технический материал РС-707-67. Корпуса металлических судов. Методика определения сварочных деформаций и мероприятия по борьбе с ними.
10. Кудрявцев И. И. Остаточные сварочные напряжения и прочность соединений. М., «Машиностроение». 1964.
11. Куркин С. А. Технология изготовления сварных конструкций. Атлас чертежей. М., Машгиз. 1961.
12. Газопламенная обработка металлов. Учебное пособие под ред. Д. Л. Глизманенко. М., Профтехиздат. 1962.

ГЛАВА VI

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ МЕТАЛЛОВ ПРИ СВАРКЕ

В соответствии с видами трещин, встречающихся в сварных соединениях, различают технологическую прочность металлов в процессе кристаллизации (горячие трещины) и в процессе фазовых превращений в твердом состоянии (холодные трещины). В справочнике вопросы образования холодных трещин изложены только применительно к стали. По вопросу холодных трещин в титановых сплавах авторы отсылают читателей к книге М. Х. Шоршорова [44].

Сопротивляемость металла образованию трещин при сварке характеризует его технологические свойства в различных зонах сварного соединения. Ее определяют испытанием сварных образцов внешне приложенными нагрузками и оценивают количественным показателем.

Стойкость сварных соединений против образования трещин характеризует способность составляющих его материалов образовывать соединение без трещин и является комплексной характеристикой, зависящей как от технологических свойств металлов, так и от интенсивности и величины сварочных деформаций или напряжений. Ее определяют путем сварки образцов технологических проб отраслевого назначения, включающих основной и сварочный материалы, тип и жесткость сварного соединения, термические и климатические условия сварки, применительно к определенному виду сварных конструкций. Степень (или группа) стойкости оценивается указанным выше комплексом условий сварки образца пробы, при которых еще не образуется трещин.

Склонность сварных соединений к образованию трещин определяют путем сварки проб лабораторного назначения, предусматривающих интенсивное развитие одного или нескольких факторов, обусловливающих образование трещин. Ее оценивают показателем склонности при обязательном образовании трещин. Она характеризует технологические свойства материалов при сварке безотносительно к какому-либо виду сварных конструкций.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ В ПРОЦЕССЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ (ГОРЯЧИЕ ТРЕЩИНЫ)

Основы теории

Под термином «горячие трещины» понимают хрупкое межкристаллическое разрушение в процессе кристаллизации металла. Они являются одним из распространенных дефектов сварки и наиболее часто возникают в сплавах, затвердевание которых заканчивается однофазным крупнокристаллическим строением с высокой концентрацией легкоплавких фаз и других дефектов кристаллического строения по границам кристаллитов.

В металле шва столбчатого строения и в околошовной зоне различают две траектории первичных границ кристаллитов и соответственно горячих трещин:

продольные, траектория которых параллельна оси шва (рис. 1 и 3), и поперечные, траектория которых пересекает ось шва (рис. 2). Кроме первичных границ кристаллитов, сформированных при затвердевании сварного шва, ряд однофазных сплавов на основе Fe, Ni, Nb, Ta и Al в твердом состоянии образует «новую» сетку границ кристаллитов, по которым также могут возникать горячие трещины (рис. 4). Степень несоответствия траектории первичных и «новых» границ кристаллитов обычно невелика и уменьшается при снижении диффузионной подвижности атомов и увеличении скорости охлаждения. Механизм образования «новых» границ кристаллитов является в настоящее время предметом дискуссии.

В работе [17] выдвинуто предположение о вторичном характере этих границ, возникающих при высоких температурах в результате скопления несовершенств кристаллической решетки.

В работе [40] предполагают, что «новые» границы кристаллитов возникают в результате термически активируемой миграции первичных границ в положения с меньшей граничной энергией.

Согласно общепринятым теоретическим представлениям [2, 24, 25] для анализа причин возникновения горячих трещин необходимо сопоставить интенсивность нарастания деформаций, возникающих в металле при сварке, с изменением его деформационной способности.

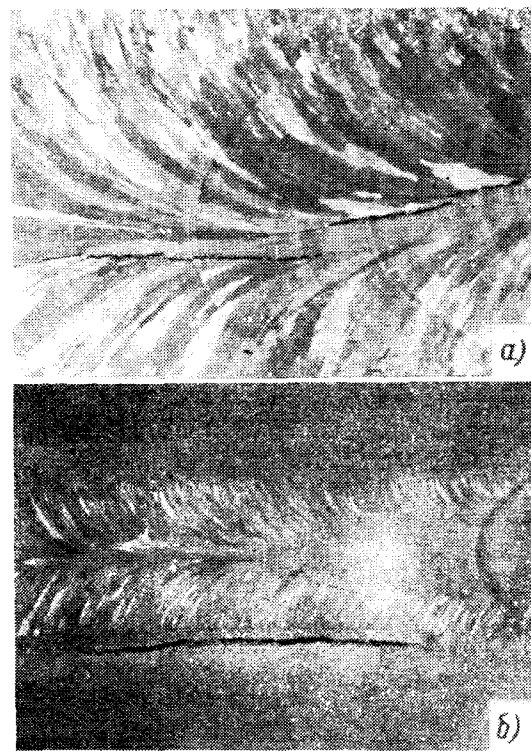


Рис. 1. Продольные горячие трещины при однопроходной сварке листов толщиной 3 мм из алюминиевых сплавов: *а* — в металле шва; *б* — в металле околошовной зоны

При исследовании деформаций в процессе сварки установлено [23, 24], что в большинстве зон сварного соединения затвердевающий металл шва испытывает растяжение. Величина внутренней деформации $e_{вн}$ состоит из деформации формоизменения $e_{ф}$, измеряемой по относительному перемещению точек шва, и из деформации $e_{св}$, создаваемой усадкой металла в свободном состоянии.

На стадии охлаждения

$$e_{вн} = e_{ф} + e_{св}. \qquad (1)$$

В формуле (1) деформации удлинения $e_{ф}$ имеют знак «+», укорочения — знак «−». Установлено, что в интервале температур кристаллизации шва деформация нарастает при изменении температуры по закону, близкому к линейному. Это позволяет приравнять интенсивность нарастания деформации, выражаемую

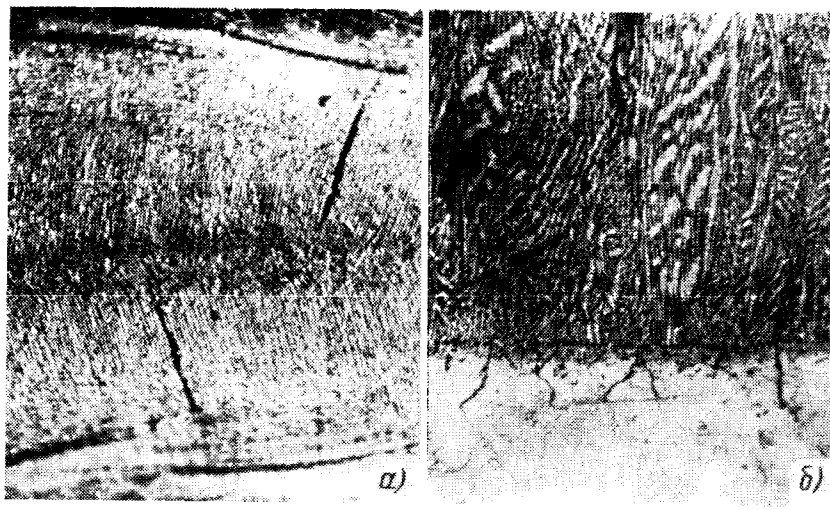


Рис. 2. Поперечные горячие трещины при однопроходной сварке листов толщиной 3 мм: *а* — в металле шва (сплав Х20Н50); *б* — в металле околошовной зоны (сплав ЭП-202)

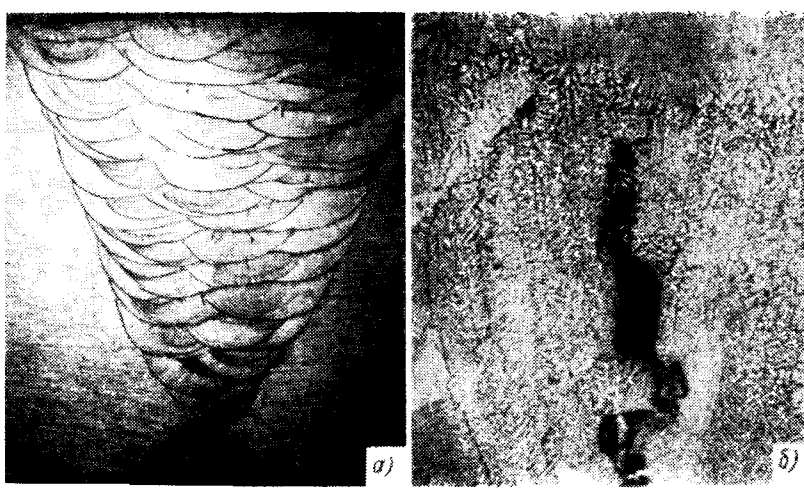


Рис. 3. Горячие трещины в металле шва при многопроходной сварке сплава АМг6: *а* — натуральная величина; *б* — увеличение в 70 раз

первой производной деформации по температуре, постоянной величине $\alpha_{вн}$:

$$\frac{de_{вн}}{dT} = \alpha_{вн},$$

где $\alpha_{вн}$ — темп внутренней деформации.

Исследования деформационной способности сплавов показали [23, 19], что в интервале кристаллизации имеет место температурный интервал хрупкости (ТИХ), прилегающий к температуре неравновесного солидуса (рис. 5), в котором

Рис. 4. Горячая трещина в сплаве Al — 0,13% Si, проходящая по новым границам, не совпадающим с первичными границами кристаллитов. × 70

пластичность металлов измеряется долями процента, прочность близка к нулю, а разрушение имеет хрупкий межкристаллитный характер. Верхняя граница ТИХ соответствует этапу кристаллизации, когда пластичность жидко-твердого металла резко падает, так как при его деформации появляется заклинивание кристаллов, устраняющее возможность циркуляции вокруг них жидкой фазы. Выше верхней границы заклинивания кристаллитов не происходит. Нижняя граница ТИХ может быть определена по резкому росту пластичности, прочности и переходу от хрупкого разрушения к вязкому; она определяется температурой, при которой сопротивление металла деформированию по границам зерен больше, чем сопротивление пластической деформации объемов кристаллитов.

В неравновесных условиях значение нижней границы ТИХ ниже солидуса [19]. Для большинства случаев это связано с выделением легкоплавких неравновесных эвтектик по границам зерен, а для однофазных сплавов — с образованием высокого уровня химической и физической микронеоднородности по «новым» границам кристаллитов. Предполагается, что в условиях развития вышеупомянутого процесса горячие трещины возникают в металле твердого состояния. Механизм их образования аналогичен высокотемпературной ползучести.

Эксперименты показали [19], что в этих условиях металл имеет второй интервал пониженной пластичности, представленный на рис. 5 штриховой линией. У ряда сплавов имеет место слияние температурных областей малой пластичности [42], и восстановление прочности происходит при более высоких температурах, чем пластичности (штрих-пунктирная линия на рис. 5).

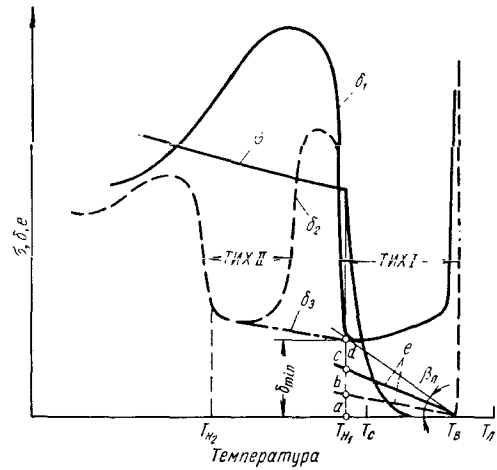


Рис. 5. Схема нарастания деформации сварного шва e, изменения его прочности σ и пластичности δ в процессе охлаждения при сварке (случай, когда трещины не образуются): $T_л$ и T_c — температура ликвидуса и солидуса; δ_1, δ_2, δ_3 — варианты изменения пластичности затвердевающего металла; $T_в$, $T_{н_1}$, $T_{н_2}$ — верхняя и нижние границы ТИХI и ТИХII; ab — накопленная в шве за период нахождения в ТИХ деформация формоизменения $\Delta e_{фб}$; bc — накопленная деформация от усадки $\Delta e_{св}$; cd — запас технологической прочности $\Delta e_з$; $\beta_д$ — угол между осью ординат и касательной к кривой δ_1 в ТИХI

Так как сплавы обладают *малой прочностью и провалом* пластичности в ТИХ (рис. 5), предполагают [25], что исчерпание пластичности, т. е. образование трещин, будет иметь место лишь в ТИХ; на схеме случай образования трещины условно обозначается пересечением кривой деформации e с кривой пластичности δ. Вероятность образования горячих трещин, согласно теории технологической прочности Н. Н. Прохорова [24], зависит от соотношения следующих факторов: 1) темпа деформации металла в ТИХ; 2) пластичности металла в ТИХ; 3) величины ТИХ (ΔT_x).

Чем меньше темп деформации, больше пластичность металла в ТИХ и меньше величина ТИХ, тем меньше вероятность образования горячих трещин.

Если за период нахождения металла в ТИХ накопленная деформация не исчерпывает его пластичности δ_{min}, имеет место запас технологической прочности, абсолютная величина которого может быть представлена по аналогии с работой [25] в следующем виде (рис. 5):

$$\Delta e_з = \delta_{min} - e_{вн} = \delta_{min} - \Delta e_{фб} - \Delta e_{св} = \delta_{min} - ab - bc \qquad (2)$$

(согласно рис. 5, $e_{фб}$ имеет знак «+»).

Если ввести обозначения

$$\Delta e_{св} = \alpha_{св}\Delta T_x; \quad \Delta e_{фб} = \alpha_{фб}\Delta T_x; \quad \Delta e_з = \alpha_з \Delta T_x; \quad \delta_{min} = \alpha_п \Delta T_x, \qquad (3)$$

то из выражения (2) получим

$$\alpha_з = \alpha_п - \alpha_{св} - \alpha_{фб}. \qquad (4)$$

В этих выражениях $\alpha_{св} = \frac{\partial e_{св}}{\partial T}$ и $\alpha_{фб} = \frac{\partial e_{фб}}{\partial T}$ — темпы деформации, обусловленные температурной усадкой и формоизменением изделия, а $\alpha_п$ — предельный темп деформации сплава. Более точно $\alpha_п = \operatorname{tg}\beta_д$ (рис. 5).

Разность $\alpha_п - \alpha_{св}$ является показателем технологической прочности сплава, так как она определяет максимальную величину темпа деформации, которую данный сплав может выдержать без разрушения. Величина показателя зависит

от пластичности сплава, его ТИХ и от коэффициента линейной усадки сплава. Сплав с наибольшим значением этого показателя имеет минимальную вероятность образования горячих трещин и может применяться в сварных узлах с наибольшим уровнем развития деформаций при сварке.

Величина α_ϕ, измеряемая темпом деформации, определяет абсолютную величину показателя запаса технологической прочности для сварного соединения, а точнее, для зоны, где определено значение α_ϕ. Удобнее использовать относительный показатель запаса технологической прочности K_T, подсчитываемый по формуле

$$K_T = \frac{\alpha_n - \alpha_{cв} - \alpha_\phi}{\alpha_\phi}.$$

Если $\alpha_n - \alpha_{cв} \leqslant \alpha_\phi$, то $K_T \leqslant 0$, т. е. возникают горячие трещины в металле шва или в околошовной зоне.

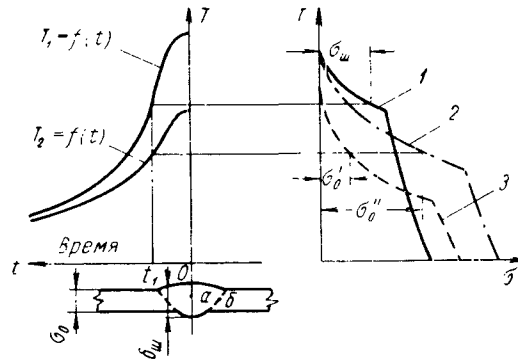


Рис. 6. Схемы возможного изменения температуры по времени в центре шва (точка *а*) и околошовной зоне (точка *б*) и сопротивления деформированию металла при затвердевании сварного соединения: *1* — шва; *2* и *3* — околошовной зоны

Вероятность образования продольных трещин, примеры которых представлены на рис. 1, в той или иной зоне описывается схемой (рис. 6), на которой даны термические циклы на этапе охлаждения в точке *а* (центр шва) и в точке *б* (околошовная зона), а также изменение прочности в этих зонах [23, 45]. Кривая *1* относится к металлу шва, а кривые *2* и *3* — для двух составов основного металла в околошовной зоне.

Из сопоставления значений $\sigma_ш$, σ_0' и σ_0'' ясно, что в момент t_1, когда металл шва вышел из ТИХ, $\sigma_ш < \sigma_0''$, т. е. для основного металла с индексом 2 преимущественная концентрация деформаций и образование горячих трещин имеют место в металле шва, а для металла с индексом 3 — в околошовной зоне. Образование поперечных горячих трещин в околошовной зоне (рис. 2) также вероятнее для металла с индексом 3, имеющего наибольшее значение ТИХ.

Классификация и анализ методов определения технологической прочности металлов в процессе кристализации при сварке

Возможность появления горячих трещин в сварных соединениях конструкционных сплавов вынуждает оценивать качество сплавов и сварочных материалов в отношении образования горячих трещин, т. е. их технологическую прочность в процессе кристализации при сварке. Создано много методов оценки технологической прочности, существенно различающихся по своей эффективности.

По назначению их разделяют на две категории:

1. Методы для оценки сопротивляемости сплавов образованию горячих трещин при сварке безотносительно к типу и размерам свариваемых соединений.

2. Методы для оценки стойкости или склонности сварных соединений против образования горячих трещин при заданном составе сплава и режиме сварки.

По характеру оценки они могут быть прямыми, предусматривающими проведение испытаний, и косвенными, оценивающими технологическую прочность сплавов по химическому составу, когда определяют: эквивалент углерода и количество равновесной эвтектики или δ-феррита (для аустенитных сталей).

Для большинства свариваемых сплавов не рекомендуется использовать косвенные методы, так как в ряде работ установлено, что технологическая прочность металла шва зависит не только от содержания основных легирующих элементов, но и от количества обычно не определяемых вредных примесей (мышьяк в стали и т. д.), а также от способа выплавки сплава, исходного размера зерна, степени наклепа и режима сварки [26, 47].

Прямые методы предусматривают использование проб. Под пробой понимают методику испытания, т. е. сварку и исследование образцов в заданной последовательности и при определенных условиях.

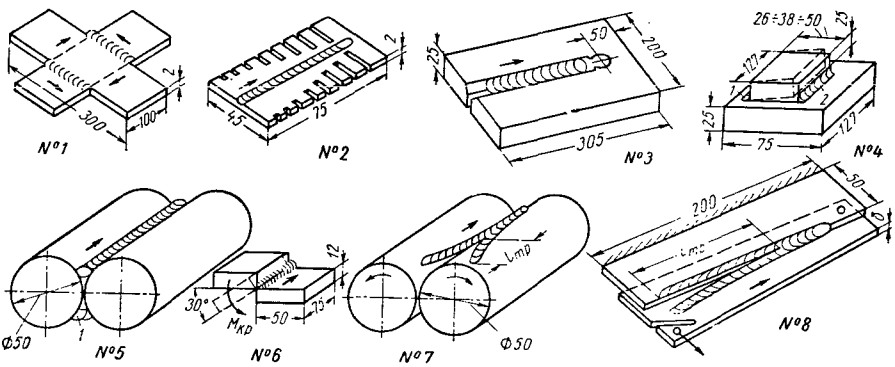


Рис. 7. Образцы для оценки склонности сплавов к образованию горячих трещин по длине: № 1 — крестовой нахлесточной пробы; № 2 — пробы «рыбий скелет»; № 3 — пробы HRL; № 4 — пробы Winterton; № 5 — пробы Kautz; № 6 — пробы Mürex; № 7 — пробы ЖдМИ (Ждановского металлургического ин-та); № 8 — пробы ЛТП

Прямые методы определения технологической прочности металлов в процессе кристаллизации при сварке можно разделить на ряд групп по способу испытания и критериям количественной оценки. (При количественной оценке предусматривается получение показателя, выраженного численным критерием.)

1. **Оценка по длине трещины.** Этот способ предусматривает сварку образца (рис. 7) в условиях переменных значений темпа деформации по длине свариваемого шва при его затвердевании с целью определения длины возникающей трещины. Описание ряда проб имеется в работах [9, 22, 48].

Образцы проб № 1—3 сваривают в незакрепленном состоянии, начиная сварку на кромке. Образцы проб № 4, 8 сваривают в условиях раздвигания с уменьшающейся скоростью свариваемых кромок образцов за счет термического сокращения вспомогательного шва *1*, наложенного на несколько секунд раньше контрольного *2*, или под действием внешней силы. Условия испытания образцов данных проб можно представить схемой, изображенной на рис. 8, *а*. Линия *3* определяет величину α_{ϕ} металла шва в зависимости от его удаленности от начала образца, а линии *1* и *2* указывают на величину $\alpha_n - \alpha_c$, для двух сплавов *1* и *2*. Горячая трещина не возникает на участках шва, где $\alpha_n - \alpha_{cr} > \alpha_{\phi}$. Чем ниже показатель $\alpha_n - \alpha_{cr}$, тем больше длина образовавшейся трещины. Однако длина трещины не может быть принята за показатель сопротивляемости сплавов образованию горячих трещин, так как в процессе дальнейшего охлаждения под действием сварочных напряжений она может увеличиваться на различную величину, создавая погрешность испытания. Вторая погрешность создается при определении длины трещин, особенно при переходе конца макротрещины к разветвленной сетке скрытых микротрещин, аналогичных представленным на рис. 1. Эти погрешности являются причиной большого разброса экспериментальных данных проб

№ 1— № 4. Они не позволяют оценить влияние режима на показатель, поскольку при изменении режима сварки изменяется не только показатель $\alpha_n - \alpha_{св}$, но и α_{ϕ}.

Перечисленные недостатки способа испытания и проб этой группы позволяют рекомендовать их лишь для оценки склонности сплавов к возникновению и развитию горячих трещин.

2. **Оценка по критическому темпу деформации.** К таким способам относится метод МВТУ [1] или метод ЛТПП [2]. Он предусматривает растяжение с различными скоростями затвердевающего металла шва внешними силами с целью определения критического темпа растяжения, достаточного для возникновения горячих трещин. Испытанию подлежит серия образцов, при сварке которых темп деформации последовательно увеличивается. Схема испытания приведена на рис. 8, *б*, где ступенчатая линия показывает нарастание темпа машинной деформации при испытании серии образцов до появления горячих трещин.

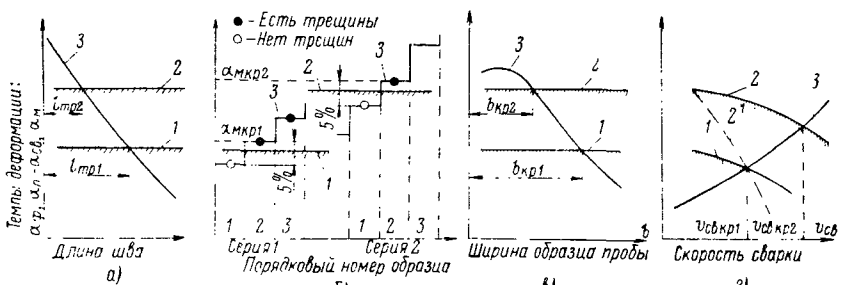


Рис. 8. Схема изменения α_{ϕ} или $\alpha_м$ и показателя $\alpha_n - \alpha_{св}$ при испытаниях: *а* — по длине шва для проб № 1—8 (рис. 7); *б* — для отдельных образцов двух серий по методу ЛТПП; *в* — в зависимости от ширины образца проб (рис. 16); *г* — в зависимости от скорости однопроходной сварки образцов: *1* и *2* — величина показателя $\alpha_n - \alpha_{св}$ двух сплавов; *3* — изменение темпа α_{ϕ} или $\alpha_м$ при испытаниях

При появлении горячих трещин запас технологической прочности образца равен нулю. По аналогии с равенством (4) имеет место следующее равенство:

$$\alpha_n - \alpha_{св} = \alpha_{мкр} + \alpha_{\phi o}, \qquad (5)$$

где α_n и $\alpha_{св}$ — имеют тот же смысл, что и в формуле (4);

$\alpha_{\phi o}$ — темп деформаций формоизменения свариваемого образца;

$\alpha_{м\ кр}$ — критический темп машинной деформации, т. е. темп деформации, создаваемый машиной, когда скорость растяжения достигает значения, вызывающего горячую трещину.

Выше было показано, что разность $\alpha_n - \alpha_{св}$, а следовательно, и численно равная ей сумма $\alpha_{м\ кр} + \alpha_{\phi o}$ является показателем технологической прочности сплавов. Следовательно, определяя значения $\alpha_{м\ кр}$, получают значения показателя технологической прочности с учетом погрешности $\alpha_{\phi o}$. Такой способ можно рекомендовать как сравнительный для количественной оценки запаса технологической прочности. При сравнении сплавов одной основы на образцах одних размеров, сваренных на постоянных режимах, $\alpha_{\phi o}$ исключается.

В условиях сварки, вследствие нелинейности изменения температуры по времени практически легче задавать при испытаниях с помощью машины

[1] Авторское свидетельство № 86053 с приоритетом от 4/I — 1949 г. на имя Н. Н. Прохорова.

[2] ЛТП — лаборатория технологической прочности металлов при сварке МВТУ им. Баумана.

определенную скорость деформации, а не теми деформации. Связь между темпом и скоростью деформации выражается следующим образом:

$$\frac{\frac{\partial \varepsilon}{\partial T}}{\frac{\partial \varepsilon}{\partial t}} = \frac{1}{\frac{\partial T}{\partial t}}. \qquad (6)$$

Следовательно, при заданном термическом цикле сварки $T = f(t)$ отношение численных значений темпа и скорости деформации при определенной температуре $T = T_1$ есть величина постоянная.

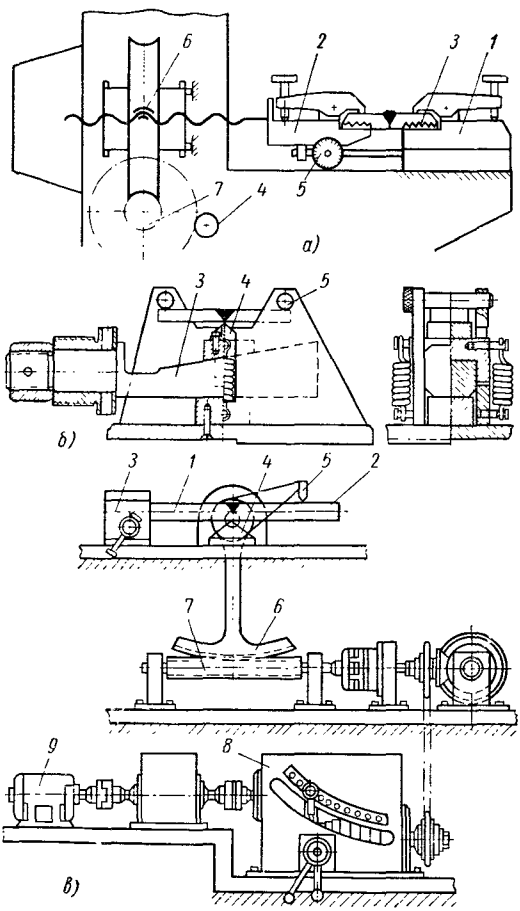
Основываясь на этом, при изучении влияния состава сплава в условиях неизменного термического цикла сварки предложено оценивать стойкость сплавов против образования горячих трещин относительным сравнительным показателем — критической скоростью растяжения [23—25]. Этот показатель обозначается индексом A и имеет размерность *мм/мин*, его величина зависит от минимальной пластичности в ТИХ, величины ТИХ, а также от скорости охлаждения металла в ТИХ. В связи с этим не допускается сравнение качества металлов по показателю A, найденному на образцах различных размеров или при различных термических циклах сварки, так как при этом изменяется соотношение между критическим значением темпа машинной деформации и соответствующим значением критической скорости растяжения.

Для проведения испытаний по этому способу используют специальные испытательные машины, разработанные в МВТУ, а также в ИМЕТ совместно с ЦНИИЧМ. В них совмещены механизм деформации с устройством для сварки, что позволяет деформировать металл сварного соединения в процессе его затвердевания. Общий вид и схема механизма деформации машины ЛТИ1-6 представлены на рис. 9. Машина ЛТИ1-6 приводится в движение электродвигателем мощностью 1,7 *квт*, который через коробку передач, червячную пару *7* и винтовую пару *6* сообщает поступательные перемещения с 72 скоростями ходовому винту. Машина предназначена для деформирования сварных соединений путем растяжения и изгиба. В первом варианте (рис. 9, *а*) к ходовому винту крепится подвижный захват *2*, а к корпусу машины — неподвижный захват *1*. В захватах закрепляются составные образцы типа № 1—3, эскизы которых приведены на рис. 10. Действительная скорость растяжения регистрируется самопишущим тахометром *4* и индикатором *5*. Во втором варианте (рис. 9, *б*) к ходовому винту прикрепляют приспособление для изгиба, состоящее из клина *3*, пуансона *4* и упоров *5*. При испытаниях на изгиб используют образцы типа №1 и №2 (рис. 10). Этот вариант целесообразно использовать для испытания сварных образцов большого сечения, когда для их растяжения недостаточна мощность или жесткость испытательной машины. Действительная скорость растяжения при этом определяется расчетным путем. Сварка образцов выполняется навесной самоходной головкой, к механизму подачи которой присоединяется мундштук для сварки плавящимся электродом, горелка для сварки неплавящимся электродом с подачей присадки или промежуточный редуктор с рейкой для автоматической сварки штучными электродами. Вращением направляющих каретки изменяют угол между осью шва и линией растяжения в пределах от 0 до 90°, что позволяет определять склонность металла к поперечным и продольным трещинам. Скорость подачи электрода может быть постоянной или зависящей от напряжения на дуге. Машина имеет пульт управления, самопишущие амперметр и вольтметр, реле времени и концевые выключатели, обеспечивающие проведение испытаний по полуавтоматическому циклу.

Схема машины ИМЕТ—ЦНИИЧМ представлена на рис. 9, *в*. Машина позволяет проводить испытания путем изгиба. Составные части *1* и *2* образца, соединенные прихваткой, закрепляют в захвате *3* так, чтобы стык находился над гранью неподвижной призмы *4*. Рычаг *5* изгибающего устройства может поворачиваться с различными скоростями сектором *6*, приводимым в движение через червячное зацепление *7* и коробку скоростей *8*, электродвигателем *9* мощностью 50 *вт*.

Машина имеет два механизма изгиба для испытания сварных швов с целью получения продольных и поперечных трещин. В первом случае применяют образцы № 1 (рис. 10) толщиной 5—25 *мм*, длиной 100 *мм*. Ширина образца при этом должна быть равна длине сварочной ванны. Во втором случае применяют образцы № 2, ширина образца № 2 (рис. 10) изменяется в пределах 20—60 *мм*, остальные размеры одинаковы.

Из работы [39] известна машина, также испытывающая по схеме изгиба сварные образцы типа 1, размером 60 × 120 *мм*, толщиной более 6 *мм*, причем длина



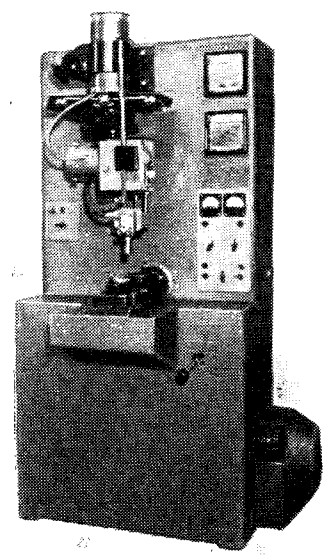


Рис. 9. Схема нагружения сварного соединения при кристаллизации шва по методу МВТУ: *а* — путем растяжения; *б* — путем изгиба; *в* — схема машины ИМЕТ - ЦНИИЧМ; *г* — общий вид машины ЛТИ-6

испытуемого шва составляет 120 *мм*, растягивающие напряжения создаются в усилении шва.

В работе [36] подобные испытания предложено проводить на образце 3 × 15 × 100 с шейкой 3 × 5 *мм*, полностью расплавляемой неподвижной дугой и являющейся испытуемым сечением. Это позволяет одновременно определить δ_{min} и ТИХ металла шва, но лишает возможности исследовать влияние режима сварки на $\alpha_n - \alpha_{св}$.

Известны также машины, где растяжение шва создается путем относительного вращения с различной скоростью стержней, свариваемых по образующей (метод Fredriks [50]) или плоских образцов, составляющих угловое соединение (модифицированный метод Мюрекс RBS [51]) (рис. 10).

Использование различных машин и форм образцов приводит к накоплению несопоставимых данных. Рекомендуется применять универсальные машины с растяжением в плоскости сварки и изгибом. Они позволяют испытывать образцы малой (1—2 *мм*) и средней толщины. Воспроизводимость результатов выше при растяжении образцов. При этом рекомендуется использовать образцы № 1 (рис. 10), свариваемые встык с полным проплавлением с формированием корня шва на весу с поддувом газа или на флюсовой подушке. Это позволяет воспроизводить разрушения как в металле шва, так и в околошовной зоне,

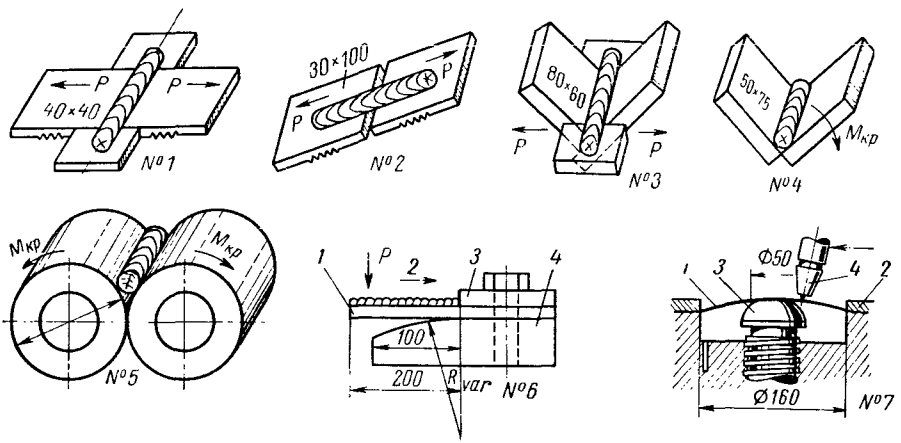


Рис. 10. Форма, размеры образцов и схема нагружения сварного шва, используемые при нахождении критической скорости деформации: № 1 — № 3 — образцы МВТУ и ИМЕТ; № 4 — образец Mürex RBS; № 5 — образцы Fredriks [50]; № 6 — образец и схема испытания по Varestreint [54]: *1* — образец, проплавляемый дугой по стрелке *2*; *3* — прижим; *4* — сменная оправка; № 7 — образец и схема испытания по Blanchet [49]; *1* — образец из листового материала ⌀ 200 *мм*; *2* — зажим; *3* — пуансон для создания прогиба в образце; *4* — сварочная горелка, вращающаяся вокруг оси пуансона

в зависимости от состава основного и присадочного металла, а также от режима сварки. Ширина образцов 40 *мм*: начинают и заканчивают сварку на приставных планках. Скорость автоматической сварки при определении влияния состава сплавов на их стойкость против образования горячих трещин рекомендуется поддерживать постоянной порядка 18—20 *м/ч*. При сварке штучными электродами скорость сварки составляет 7—7,5 *м/ч*. При испытании стыковых и угловых соединений включение механизма деформации следует производить, когда ось дуги выйдет с приставной планки на кромку или в центр образца. При этом металл шва у кромки образца не имеет горячей трещины (рис. 11), что позволяет исключить влияние дефектов в начале шва на результаты испытаний. Эта же цель достигается при использовании образцов с косым надрезом (показан штриховой линией на рис. 11), которые рекомендуется применять для металла высокой жаропрочности при толщине 3—5 *мм*. Окончание деформирования должно соответствовать моменту охлаждения шва в центре образца ниже температурного интервала хрупкости. Для стали рекомендуется заканчивать процесс деформации при 1000° С. Сплавы с неизвестным значением нижней границы ТИХ следует испытывать с различным временем деформации, и получив зависимость, аналогичную представленной на рис. 12, найти

необходимое время растяжения, дальнейшее увеличение которого не влияет на критическую скорость растяжения. Для режимов, указанных выше, t_A составляет 10—15 *сек* в зависимости от погонной энергии дуги.

Образец №2, представленный на рис. 10, предназначен для растяжения затвердевающего металла шва вдоль его оси и позволяет воспроизводить поперечные

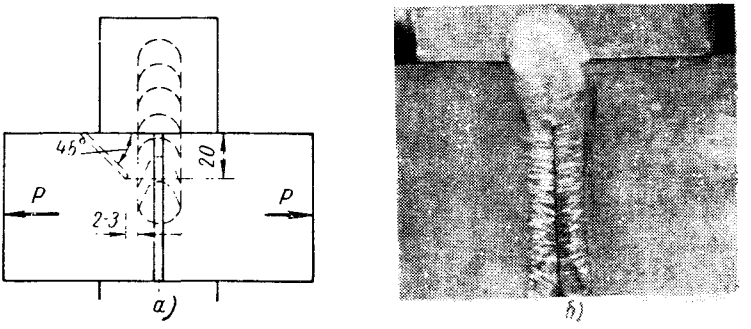


Рис. 11. Размеры шва в момент начала растяжения образца при испытаниях (*а*) и характер разрушения металла шва (*б*)

горячие трещины в металле шва или при использовании целого образца с надрезом — в околошовной зоне, примеры которых приведены на рис. 2. Момент включения механизма растяжения при использовании таких образцов соответствует прохождению оси электрода или дуги через стык образцов или через ось надреза.

Для обнаружения трещин в образцах их осматривают со стороны корня и со стороны усиления шва при небольшом увеличении. При отсутствии видимых трещин швы образца изгибают попеременно на 30° так, чтобы в растянутой зоне последовательно оказались усиление, а затем корень шва. Образцы, сваренные с неполным проплавлением, разрушают по шву. Наличие трещин в центре шва после изгиба или окисление в изломе являются признаком возникновения горячих трещин при испытаниях. Образцы, испытанные со скоростью, близкой к критической, следует подвергнуть более тщательному контролю, чтобы убедиться в отсутствии скрытых трещин.

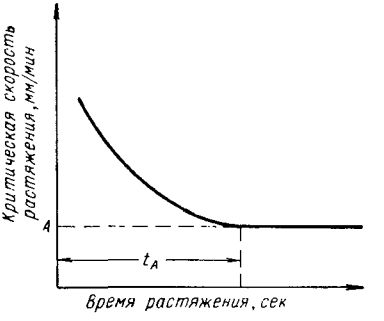


Рис. 12. Схема изменения критической скорости растяжения при увеличении времени растяжения

Для определения критической скорости растяжения испытывают 15—20 образцов при неизменном режиме сварки, но с постепенным увеличением скорости растяжения до возникновения горячих трещин (рис. 8, *б*). Минимальная скорость растяжения, вызывающая образование горячих трещин, считается критической, если при ее увеличении на 5% в большинстве образцов возникают трещины, а при таком же уменьшении — не возникают ни в одном из четырех испытанных образцов. Эта скорость принимается за относительный сравнительный показатель стойкости сплавов против образования горячих трещин при заданном режиме сварки.

На рис. 13—15 приведены результаты испытаний ряда опытных и промышленных сплавов, полученные по методу ЛТИП. Из анализа результатов следует, что указанный способ дает четкие воспроизводимые данные и позволяет выявлять не только влияние химического состава на технологическую прочность, но и исходной структуры металлов (величина зерна), а также режима сварки [47].

Показатель A можно определить не только для металла шва, но и для околошовной зоны. Для этого используют при сварке стыковых образцов присадочный

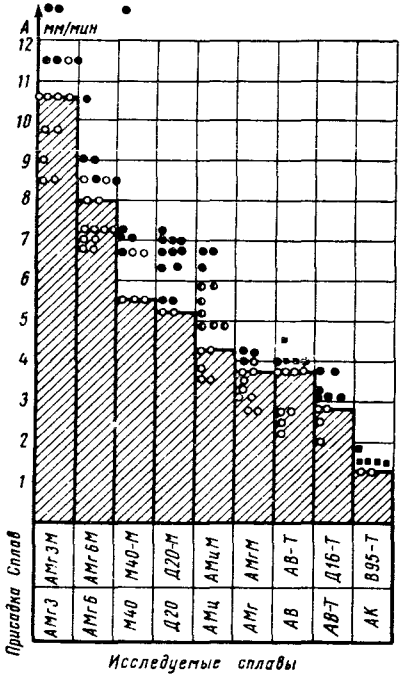


Рис. 13. Результаты сравнительных испытаний по определению сопротивляемости образованию горячих трещин при сварке промышленных алюминиевых сплавов. Образец № 1 (рис. 10) толщиной 2 мм; ○— трещин нет; ● — трещины в шве; ■ — трещины в околошовной зоне

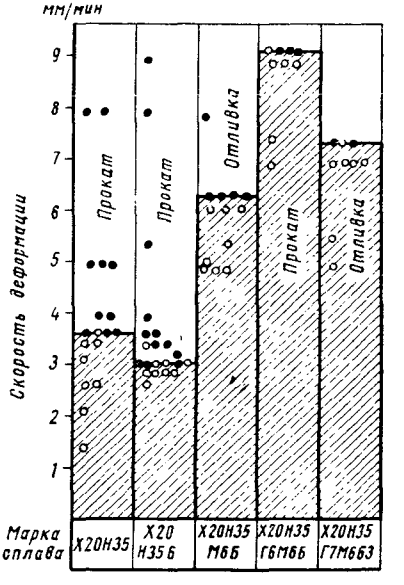


Рис. 14. Результаты сравнительных испытаний по определению стойкости против образования горячих трещин при сварке хромоникелевых сталей [3]. Образец № 1 толщиной 3 мм (рис. 10). Время растяжения 5 сек. Скорость сварки 7 м/ч. Сварочный ток 180—190 а. Опережение 25 мм; ○ — трещин нет; ● — трещины в шве

металл с высокой прочностью в ТИХ, обеспечивающий разрушение при испытаниях по околошовной зоне [23, 45]. Если испытывают основной металл вне сварного соединения, то можно применить способ, заключающийся в нагреве стержневых образцов проходящим током по термическому циклу сварки [35]. В момент достижения максимальной температуры цикла T_{max} образец закрепляется в захватах испытательной машины и деформируется с различными скоростями. Сложность способа — в выборе T_{max}, величина которой влияет на показатель $\alpha_n - \alpha_{св}$.

Для изучения влияния режима сварки на сопротивляемость сплавов образованию горячих трещин при сварке предложен сравнительный метод [25], предусматривающий определение показателя A и ω — средней скорости охлаждения металла в ТИХ для каждого режима. Как правило, при уменьшении погонной энергии сварки показатель A возрастает. Получаемые изменения показателя

A обусловлены уменьшением времени пребывания сплава в ТИХ, изменением его первичной структуры, а также темпа деформации формоизменения образца.

Первый фактор можно учесть, введя коэффициент перехода от одного режима к другому:

$$A_2 = A_1 \frac{\omega_2}{\omega_1};$$

здесь $\frac{\omega_2}{\omega_1}$ — коэффициент пересчета показателя A при переходе от режима 1 к режиму 2. Он равен отношению скоростей охлаждения в ТИХ. При машинном испытании на режиме 2 будет найдено действительное значение показателя A_{20}. Пренебрегая третьим фактором, можно считать, что разность $A_2 - A_{20}$ определяет изменение показателя стойкости сплава против образования горячих трещин при изменении режима сварки, т. е. при переходе от режима 1 к режиму 2. В работе [47] обработку значений A и ω проводили другим способом, позволяющим подсчитать критический темп машинной деформации для каждого режима сварки при температуре нижней границы ТИХ.

Способ оценки технологической прочности путем определения критической скорости деформации имеет теоретическое обоснование, хорошую воспроизводимость результатов и достаточную оперативность. Он может быть рекомендован для определения показателя технологической прочности сплавов при изменении химического состава или режимов сварки.

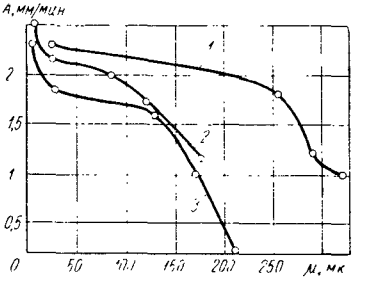


Рис. 15. Влияние размера зерна на изменение стойкости сплавов против образования горячих трещин при сварке, образец № 1 толщиной 2 мм; на рис. 10: *1* — сплав Х20Н80ТБ; *2* — сплав Х20Н80; *3* — сталь 1Х18Н9

Необходимо отличать способ, рассмотренный выше, от следующих двух способов определения технологической прочности, при которых напряжения в сварном соединении также создаются внешними силами. К первому относится способ определения сопротивляемости сварного шва образованию горячих трещин путем его принудительного деформирования при затвердевании с определенной скоростью, при котором находят интервал времени хрупкого разрушения или величину деформации, вызывающую образование трещины. Его схема (по Varestreint) представлена на рис. 10 [54]. Такие методы не следует рекомендовать для определения $\alpha_n - \alpha_{cв}$, поскольку при неизменной скорости деформирования температура окончания деформации может не достигать нижней границы ТИХ. Вторым является способ, заключающийся в определении критического напряжения в образце или прогиба образца перед сваркой, вызывающего при сварке образование горячих трещин. Схема испытания по Blanchet [49] приведена на рис. 10. Этот способ также не следует рекомендовать для сопоставления сплавов, отличающихся между собой пределом текучести или жаропрочности.

3. **Оценка по критическому размеру образца пробы.** При сварке в камерах, малом объеме или эпизодичности испытаний технологической прочности рекомендуется применять способ, не требующий использования испытательных машин.

Этот способ испытания предусматривает сварку серии образцов пробы различных размеров и заключается в определении критического размера образца, при сварке которого возникают горячие трещины. К этому способу относятся пробы МВТУ им. Баумана [27] *, Лихайская проба [9], проба ИМЕТ им. Байкова [40]. Эскизы образцов проб представлены на рис. 16. Сущность этих проб

* Авторское свидетельство на имя Н. Н. Прохорова, Б. Ф. Якушина и Н. Никол. Прохорова № 244685.

состоит в создании в затвердевающем металле шва переменных значений темпа деформации формоизменения, величина которого пропорциональна изменяемому размеру образца. Образцы проб сваривают в незакрепленном состоянии. В пробах МВТУ для тонколистового (1—5 *мм*) металла переменной величиной является ширина проплавляемого дугой листового или трубного образца. В пробе МВТУ для листового металла средней толщины (5—15 *мм*) используется образец с прорезью. Сварка производится по прорези от начала образца. Переменным размером является ширина последнего. В некоторых случаях для расширения диапазона испытаний рекомендуется изменять и глубину прорези. Во время испытаний используют серию образцов, при сварке которых темп деформации уменьшается от образца к образцу за счет увеличения его ширины или уменьшения длины. Показателем стойкости сплавов против образования горячих трещин служит критическая ширина образца, при которой уже не возникают трещины. Чем

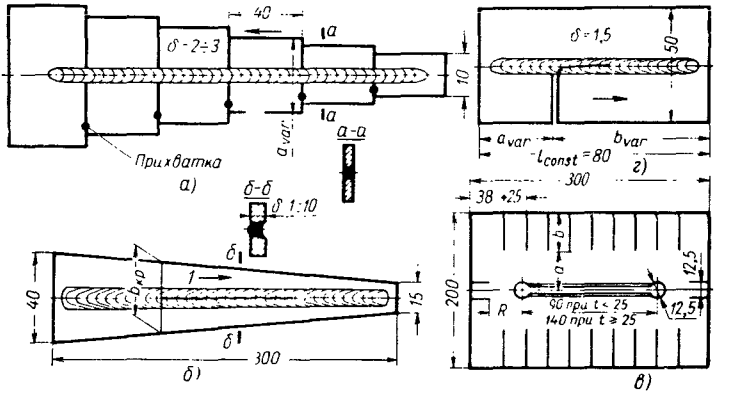


Рис. 16. Образцы проб для количественного определения стойкости сплавов против образования горячих трещин при сварке: *а* и *б* — пробы МВТУ (для испытания металла $\delta > 3$ *мм* проба имеет канавку, обеспечивающую полное проплавление листа); *в* — Лихайская проба; *г* — проба ИМЕТ

меньше ширина образца, при сварке которого не возникают горячие трещины, тем выше стойкость металла против их образования.

В Лихайской пробе общая ширина образца постоянна, но изменяется глубина прорезей, перпендикулярных к оси шва. Показателем стойкости металла против образования горячих трещин является критическая глубина прорезей, при которой еще не образуются горячие трещины.

В пробе ИМЕТ изменяется длина рабочей части образца (размер b при неизменной ширине). Показателем стойкости сплавов против образования трещин при l_{const} является величина $a_{кр}$ обратная критическому размеру b, при котором в образце при сварке не возникают горячие трещины: $a_{кр} = c - b_{кр}$.

При разработке сварочных материалов следует иметь в виду возможность на этапе выплавки предварительно оценивать их технологическую прочность по склонности к горячим трещинам при отливке. Методика и устройства для количественной оценки технологической прочности при отливке изложены в работе [19].

4. Оценка по критическому режиму сварки. Помимо рассмотренных способов, известны также примеры использования качественных технологических проб для количественной оценки технологической прочности сплавов. С этой целью сваривают пробы с изменяющейся погонной энергией дуги или скоростью сварки с целью нахождения их критических значений. При увеличении скорости сварки в пределах 10—50 *м/ч* возрастает вероятность горячих тре-

щин, так как уменьшается пластичность металла шва в ТИХ за счет неблагоприятного изменения схемы кристаллизации. Сущность испытания представлена схемой на рис. 8, *г*, где кривые *1* и *2* означают изменение $\alpha_{\text{п}} - \alpha_{\text{с.в}}$ сплавов *1* и *2*, а кривая *3* — изменение темпа деформаций в металле шва в зависимости от скорости сварки. Используя рассматриваемый способ, находят $v_{кр1}$ и $v_{кр2}$, превышение которых вызывает трещины. Этот способ не следует рекомендовать для количественной оценки сплавов, так как он не позволяет определить показатель $\alpha_{\text{п}} - \alpha_{\text{с.в}}$ на режимах, отличающихся от критических, и дает погрешности при неэквидистантном изменении $\alpha_{\text{д}} - \alpha_{\text{с.в}}$ двух сплавов (*1* и *2* [1]).

Рассмотренные выше способы относятся к прямым методам количественной оценки технологической прочности сплавов при сварке.

Прямые методы определения стойкости сварных соединений против образования горячих трещин также могут быть разделены по критерию оценки.

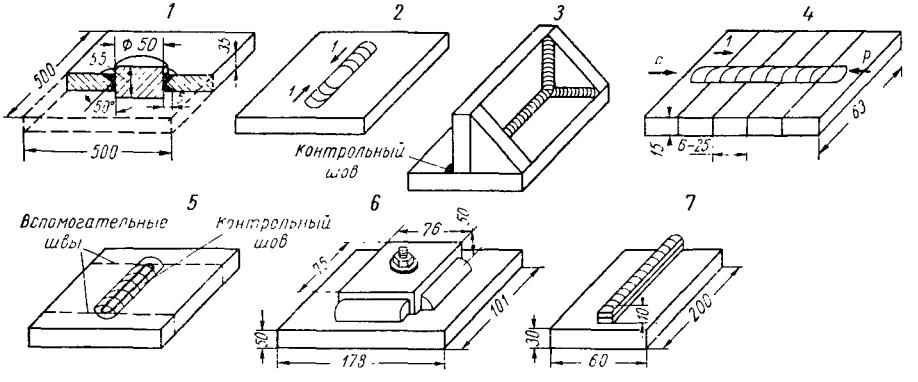


Рис. 17. Образцы качественных проб для оценки стойкости сплавов и сварных соединений против образования горячих трещин при сварке: *1* — проба типа «вварыш»; *2* — проба «двойной кратер» (Московский опытно-сварочный завод); *3* — тавровая проба; *4* — проба Пеллини; *5* — проба с заваркой щели (Н-образная проба); *6* — проба BRWA; *7* — проба с наплавкой

1. Оценка по наличию трещин. Испытания заключаются в сварке натурных или макетных сварных соединений и установлении факта отсутствия или наличия трещин. Этот способ объединяет пробы, описанные в работах [9, 23], эскизы ряда проб даны на рис. 17. Они предназначены для качественной оценки технологической прочности сплавов и сварных соединений. В связи с этим пробы не предусматривают получение максимальных значений темпа деформации в металле шва, при котором во всех сплавах могли бы возникнуть трещины.

Чем ближе темп деформации при сварке образцов к максимальному темпу деформации металла при сварке натурных конструкций этого типа, тем больше достоверность испытаний.

Недостаток качественных проб состоит в том, что с их помощью можно разделить испытуемые материалы лишь на склонные к горячим трещинам при испытании по данной пробе и несклонные; хотя сплавы, отнесенные к одной категории, могут отличаться по запасу технологической прочности. Вторым недостатком проб, воспроизводящих реальные условия сварки изделия, является необходимость сварки образцов больших размеров, что приводит к большой трудоемкости и длительности испытаний. Эти недостатки препятствуют использованию качественных проб для отработки составов свариваемых сплавов. В то же время применение качественных проб целесообразно при проведении завершающих экспертизных испытаний.

2. **Оценка с помощью эталонного ряда.** Технологические пробы могут быть использованы для количественной оценки влияния конструктивных факторов сварного узла на технологическую прочность металла шва, если при их сварке используют сварочные материалы с известными значениями показателя A. Серию таких материалов называют эталонным рядом [24]. С помощью эталонного ряда можно оценить влияние типа сварного соединения на склонность к образованию горячих трещин, а также определить показатель запаса технологической прочности сплавов или сварных соединений.

Сварив модель исследуемого узла рядом электродов с возрастающим значением показателя A, находят $A_{кр}$, т. е. электрод, при сварке которым образуются горячие трещины. Разность между показателями $A - A_{кр}$, где A — показатель электрода, принятого для сварки изделия, определит количественно запас технологической прочности при сварке данного соединения.

Способы определения пластичности и температурного интервала хрупкости металлов в условиях сварки

Для разработки методов повышения технологической прочности необходимо знать не только показатель сплава $\alpha_{\text{п}} - \alpha_{св}$, но и величину факторов, влияющих на этот показатель: $\delta_{\min}$, ТИХ и $\alpha_{св}$.

Для измерения пластичности и ΔT_x затвердевающего сварного шва предложен ряд методик [4, 36, 42, 46], отличающихся формой и размерами образцов. В частности методика [46] предусматривает растяжение серии свариваемых образцов с большой скоростью на различную заранее заданную величину Δe в процессе сварки и нахождение $\Delta e_{кр}$, при которой появляются горячие трещины. При этом

$$\Delta e_{кр} = \delta_{\min} - \alpha_{св}\Delta T_x. \qquad (7)$$

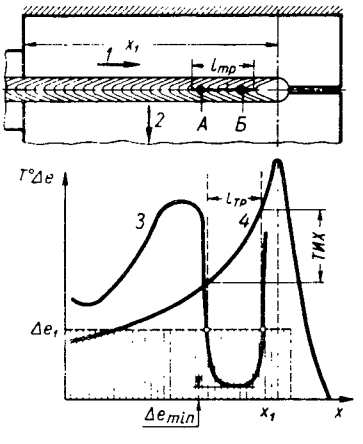


Рис. 18. Схема испытания для определения минимальной пластичности и ΔT_x металла шва: *1* — направление сварки; *2* — направление деформации; *А* и *Б* — точки, где измеряется температура в момент разрыва; *3* и *4* — распределение температуры и пластичности металла в центре шва по его длине

При определении ΔT_x задают деформацию, существенно большую, чем $\Delta e_{кр}$, и получают трещину, длина которой пропорциональна ΔT_x. Для нахождения его границ следует определить температуру по концам трещины в момент деформации (рис. 18). Метод применим для сплавов, имеющих повышенную пластичность за пределами ТИХ. Он позволяет оценить пластичность и ΔT_x металла шва при изменении состава сплава и режима сварки. Конструкция машины ЛТИ-6 предусматривает возможность испытания по этому методу.

Применительно к металлу околошовной зоны определение границ ТИХ и времени пребывания в ТИХ производится по методу ЛТИЗ и ИМЕТ II путем разрыва при различных температурах на этапе охлаждения серии стержневых образцов, предварительно нагретых электрическим током выше температуры солидуса [28, 35]. Скорость относительного движения захватов машины при этом составляет 50—100 *мм/сек*.

Для определения минимальной пластичности согласно работы [36] требуется, кроме того:

определить показатель A путем деформирования с различными скоростями образцов, нагретых электрическим током;

замерить свободную деформацию образцов при охлаждении в интервале ТИХ.

Зная указанные величины, подсчитывают $\delta_{\text{ш1п}} = \frac{A}{t_{\text{ТИХ}}} + \alpha_{cв}\Delta T_{\text{х}}$. Для проведения испытаний этого вида МВТУ, ИМЕТ и ЦНИИЧМ разработаны машины

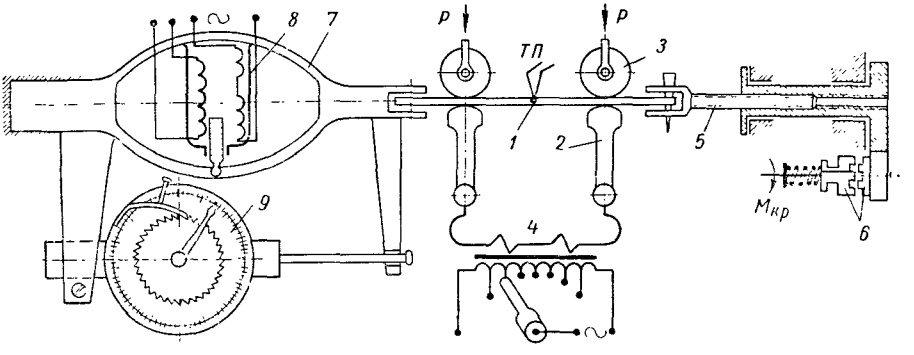


Рис. 19. Схема (*а*) машины ЛТИЗ-5 для определения $\delta_{\text{ш1п}}$ и $\Delta T_{\text{х}}$ металла при воздействии имитированного сварочного термического цикла: *1* — образец; *2* — токоподводы; *3* — прижимные ролики; *4* — трансформатор; *5* — ходовой винт; *6* — муфта; *7* — динамометр с электрическим *8* и механическим датчиком *9*; ТП — термопара

ЛТИЗ-5, ИМЕТ-ЦНИИЧМ, обеспечивающие: 1) нагрев образца в незакрепленном состоянии по заданному термическому циклу сварки с регистрацией последнего; 2) закрепление образца в захватах в момент начала растяжения; 3) растяжение образца со скоростями, плавно или ступенчато изменяющимися в диапазоне 50 0,01 *мм/сек* с регистрацией усилия разрыва и диаграммы усилие — время. Схема машины ЛТИЗ-5 представлена на рис. 19.

Способы повышения технологической прочности сварных соединений в процессе кристаллизации

Для увеличения запаса технологической прочности сварной конструкции следует:

1) уменьшить значения α_{ϕ}; 2) разработать или выбрать сплавы, присадочный металл и режимы сварки, которые, помимо удовлетворения эксплуатационным требованиям, имеют наивысшее значение показателя $\alpha_{n} - \alpha_{cв}$.

Из практики известен ряд мер по уменьшению α_{ϕ}. При сварке листов встык наиболее опасными зонами являются начало и конец шва. Наложение связи путем приварки технологических планок, жесткого закрепления или заварки концевых участков шва в направлении от центра к краю свариваемых листов позволяет избежать интенсификации поперечной составляющей α_{ϕ} на этих участках [6]. Существенно возрастает поперечная составляющая α_{β} также в тех зонах шва, где происходит расплавление или интенсивный нагрев связей, испытывающих растягивающие усилия. В частности, это имеет место в случае расплавления прихваток, установленных с большим шагом, при наплавке перекрещивающихся швов (если в первом не сняты остаточные напряжения), а также в конце стыкового шва при двухпроходной сварке, когда проваривается последний участок первого слоя, испытывающий растягивающие напряжения. В последнем случае рекомендуется производить сварку второго слоя с малой погонной энергией

или заваривать конец шва в направлении от края к середине листа. Существенно снижаются значения α_{β} при сопутствующем подогреве газовой горелкой или дугой с неплавящимся электродом участков металла, параллельных оси шва. Продольная составляющая α_{ε} также уменьшается при увеличении жесткости закрепления свариваемых деталей и при уменьшении погонной энергии дуги.

Для уменьшения α_{β} целесообразно выполнять сварку такими методами, которые обладают наибольшей проплавляющей способностью при наименьшей погонной энергии (электронный и плазменный луч, импульсная дуга и т. д.). Кроме того, существенно снижаются значения α_{β} при устранении концентраторов, вызванных формой шва и подготовкой кромок под сварку [21]. Некоторые примеры концентраторов даны на рис. 20.

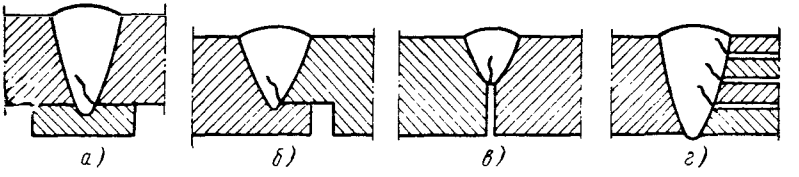


Рис. 20. Примеры сварных соединений с повышенной концентрацией деформации в металле шва при его затвердевании: *а* – с остающейся подкладкой; *б* — замкового соединения; *в* — с непроваром; *г* — многослойного пакета

Повышение показателя $\alpha_{n} - \alpha_{cв}$ для швов однофазного строения достигают следующим образом:

1) измельчением зерна за счет модифицирования и связыванием вредных легкоплавких примесей в более тугоплавкие соединения с помощью малых технологических добавок. Например, для нейтрализации серы в стали вводят марганец, а в аустенитные стали и сплавы — ферроцерий в количестве до 1%. В сплавы алюминия вводят Ti и Zr, а также B. В аустенитные марганцевые стали вводят 1,5—2% Al.

2) легированием аустенитных хромоникелевых сталей и сплавов вольфрамом и молибденом, препятствующими развитию химической и физической микронеоднородности за счет подавления диффузии [17].

Для сплавов, в которых допускается некоторое количество второй фазы, используют другой способ повышения $\alpha_{n} - \alpha_{cв}$: за счет введения элементов, стабилизирующих появление второй фазы (эвтектики или перитектики) у фронта кристаллизации, в результате чего резко измельчается зерно в металле шва [43]. В частности, вводя в хромоникелевые аустенитные стали элементы-ферритизаторы (Cr, Ti, Si и др.) получают вторую фазу — первичный δ-феррит в процессе кристаллизации. Для марганцевых аустенитных сталей ферритизатором является алюминий, вводимый в количестве до 7%.

В сталях, где из-за охрупчивания при высоких температурах в условиях длительной эксплуатации δ-феррит недопустим, для повышения $\alpha_{n} - \alpha_{cв}$ применяют легирование бором в количестве 0,3—0,4%, вызывающем появление достаточного количества боридной эвтектики, или углеродом с ниобием и титаном, вызывающим появление карбидной эвтектики. Показатель $\alpha_{n} - \alpha_{cв}$ может быть существенно увеличен при переходе к более благоприятной схеме кристаллизации, внешним признаком которой является округлое очертание изотерм [47], при прерывистой кристаллизации металла в случае вибрации различного рода и импульсной сварке, а также при рафинировании сплавов путем электрошлакового, плазменно-дугового или вакуумно-лучевого переплава [20].

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ СТАЛИ В ПРОЦЕССЕ ПРЕВРАЩЕНИЙ АУСТЕНИТА (ХОЛОДНЫЕ ТРЕЩИНЫ)

Закономерности процесса образования холодных трещин в сталях при сварке

Холодные трещины в сталях при сварке являются хрупким разрушением металла сварного соединения. Трещины могут образовываться непосредственно после окончания процесса сварки, начиная с момента охлаждения ниже 200 –100°С, а также во время вылеживания сварных конструкций в течение последующих нескольких суток после сварки.

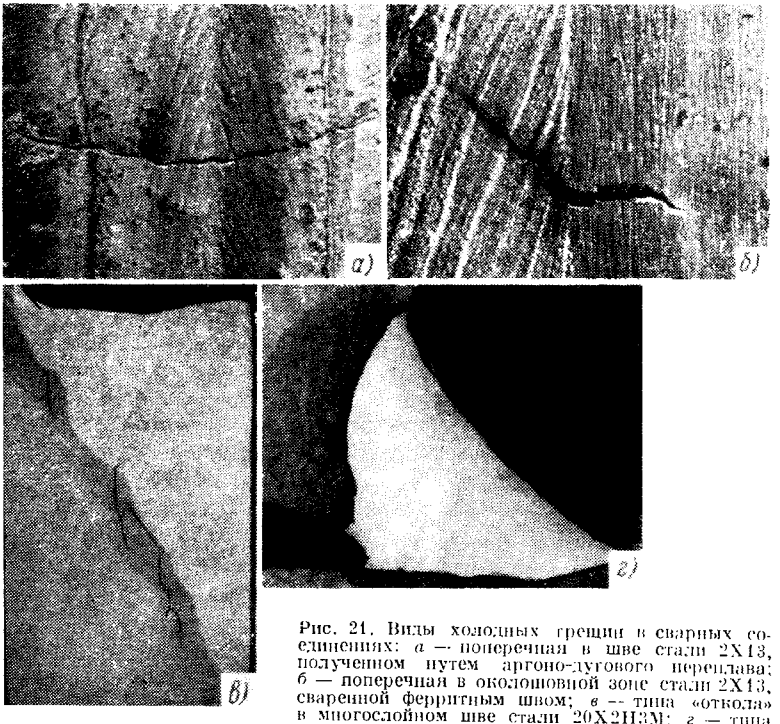


Рис. 21. Виды холодных трещин в сварных соединениях: *а* — поперечная в шве стали 2Х13, полученном путем аргоно-дугового переплава; *б* — поперечная в околошовной зоне стали 2Х13, сваренной ферритным швом; *в* — типа «отколa» в многослойном шве стали 20Х2Н3М; *г* — типа «отрыва» по линии сплавления стали 20Х2Н3М, сваренной аустенитным швом

Холодные трещины в сталях при сварке возникают, если сталь в силу химического состава и термического воздействия при сварке претерпевает полную или частичную закалку. Имеются ориентировочные сведения, что минимальная доля мартенсита в структуре перлитных сталей, при которой появляется вероятность образования холодных трещин, составляет приблизительно 25—30%. Условия образования холодных трещин при сварке позволяют рассматривать их как один из случаев замедленного разрушения закаленной стали под действием остаточных сварочных напряжений [31, 13, 43].

Согласно результатам макроскопических исследований холодные трещины могут возникать во всех зонах сварного соединения: в шве, на участке сплавления и в зоне термического влияния (рис. 21). Расположение трещин зависит,

в первую очередь, от составов основного металла и металла шва, а также от состояния основного металла, первичной структуры металла шва, геометрических параметров сварного соединения, наличия макро- и микродефектов и других факторов. Микроскопическими методами исследования установлено, что холодные трещины состоят из двух участков: очага разрушения и участка развития трещины (рис. 22 и 23).

Протяженность очага разрушения не превышает одного или нескольких диаметров зерен. Разрушение на участке очага проходит полностью по границам зерен и наблюдается как практически хрупкое (по крайней мере, при наблюдении с помощью металлографического микроскопа при увеличении в 1500 раз не отмечено следов пластической деформации в окружающем очаг металле). Участок развития трещины по длине во много раз больше, чем очаг разрушения и часто имеет смешанный характер разрушения, т. е. трещина проходит как по границам, так и по телу зерен. При этом развитие трещины сопровождается пластической деформацией окружающего металла.

Многолетний опыт и многочисленные исследования процесса образования холодных трещин в сталях при сварке выявили основные факторы, оказывающие влияние на возникновение трещин. Такими факторами являются:

1) структурное состояние металла, определяемое его химическим составом, типом структурных составляющих, плотностью несовершенств кристаллической решетки, величиной и распределением напряжений II и III рода;

2) уровень напряжений I рода, который зависит от жесткости сварной конструкции, режима сварки, типа металла шва и других причин;

3) содержание водорода в металле сварного соединения после сварки, зависящее от концентрации водорода в защитной среде, исходного содержания водорода в основном и электродном металле и других условий.

Знание факторов, влияющих на процесс возникновения трещин, послужило основанием для формирования ряда гипотез образования холодных трещин при сварке.

Основными гипотезами являются закалочная [11, 12, 53] и водородная [52]. Закалочная гипотеза обусловливает образование холодных трещин обязательным развитием закалочных явлений в металле сварного соединения, т. е. низкотемпературных превращений аустенита бейнито мартенситного и мартенситного типа. Водородная гипотеза доминирующую роль в этом процессе отводит водороду. Поскольку на процесс образования трещин оказывают влияние оба указанных фактора, отдать предпочтение какой-либо гипотезе затруднительно. Очевидна необходимость обобщенной гипотезы, учитывающей все факторы. В развитии последней установлена способность металла, претерпевшего закалку при сварке, к замедленному разрушению, а для объяснения этого процесса привлечены представления о вязком течении границ зерен [32] и вакансионном механизме зарождения и роста микротрещин [44]. Действие водорода рассматривается, наряду с другими процессами, как фактор, повышающий концентрацию несовершенств кристаллической решетки и увеличивающий напряжения II и III рода.

К основным особенностям процесса образования холодных трещин при сварке как замедленного разрушения закаленной стали относятся следующие: 1) замедленное разрушение проявляется только при деформировании с малыми скоростями (ниже 0,01 1 *сек*) или нагружении постоянными нагрузками, при этом сопротивляемость разрушению много ниже кратковременной прочности и зависит от времени действия нагрузки [32]; 2) минимальное значение сопротивляемости замедленному разрушению соответствует периоду времени непосредственно после термического воздействия, обусловливающего закалку; причем с течением времени (от 2 до 25 суток) этот показатель повышается в результате так называемого процесса «отдыха» [32, 37, 44]; 3) способность к замедленному разрушению полностью подавляется при охлаждении до отрицательных температур (ниже —70° С) и заметно ослабляется при нагреве (до 120—130° С) [13, 44].

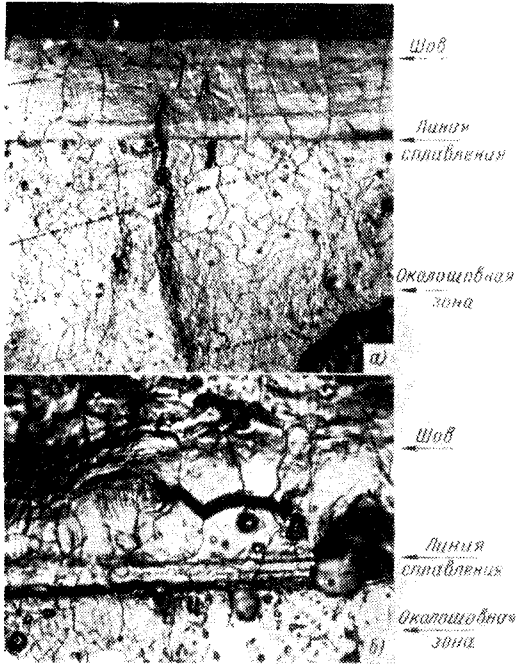


Рис. 22. Очаги трещин, наблюдаемые на свободной поверхности сварного соединения стали 42Х2ГСНМ, сваренной ферритным швом: *а* — поперечной; *б* — продольной. х450

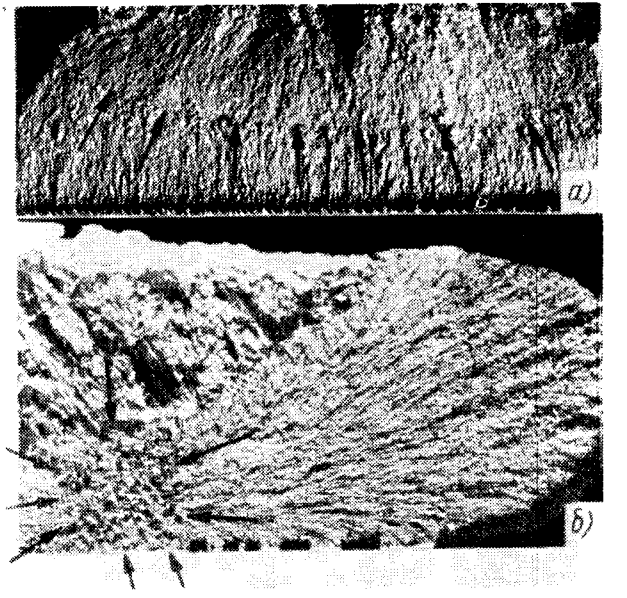


Рис. 23. Фотографии изломов, проходящих по холодным трещинам: *а* — продольная трещина в околошовной зоне; *б* — поперечная трещина в шве, стрелками указаны очаги разрушения

Методы оценки технологической прочности сталей в процессе превращений аустенита

Применяемые в настоящее время методы оценки технологической прочности стали в процессе превращений аустенита при сварке можно классифицировать по следующим признакам: по способу регулирования факторов, обусловливающих образование трещин, по характеру оценки полученных результатов и по назначению. По первому признаку они делятся на технологические пробы и методы, основанные на механическом испытании сварных образцов или образцов, подвергнутых термической обработке, сходной с термическим воздействием при сварке, по второму — на качественные и количественные (стр. 196 и 205), а по третьему — на лабораторные и отраслевые.

В технологических пробах используют сварные образцы определенных размеров, сварка которых выполняется в соответствии с установленной технологией. Пробы лабораторного назначения предусматривают интенсивное развитие

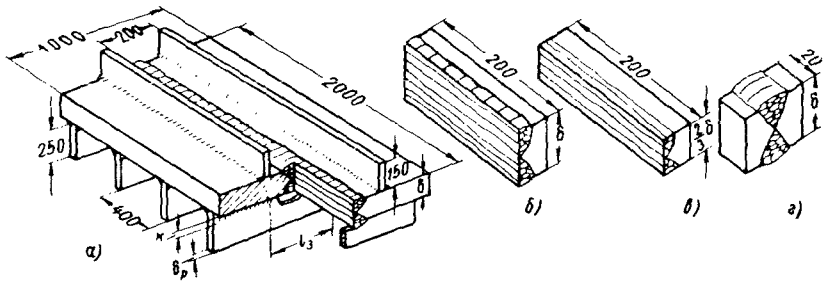


Рис. 24. Проба ЦНИИТС: *а* — общий вид и основные размеры образца *б*, *в*, *г* — вид и размеры шлифов

одного или нескольких факторов, обусловливающих образование холодных трещин (высокую степень закалки шва и околошовной зоны, высокий уровень напряжений I рода, повышенное насыщение водородом и т. д.).

Большинство проб по замыслу их авторов должны давать количественную оценку склонности материалов к образованию холодных трещин при сварке. Количественная оценка с помощью проб возможна, если при испытании удается изменять только оценивающий фактор, оставляя другие факторы, влияющие на образование трещин, неизменными. Однако регулирование одного из факторов при сварке образцов проб, как правило, приводит к изменению других факторов, что значительно снижает четкость количественной оценки склонности металла к образованию трещин. Технологические пробы лабораторного назначения служат для сравнительной оценки технологических свойств основного металла и сварочных материалов. В технологических пробах отраслевого назначения воспроизводятся основные условия сварки конструкций, применительно к которым разработаны пробы. С помощью таких проб определяется степень (или группа) стойкости сварных соединений против образования трещин по признаку отсутствия в них трещин. Пробы отраслевого назначения служат для окончательных приемочных испытаний материалов после отработки составов и технологии сварки и сдачи их в производство. На основе опыта применения проб и анализа их достоинств и недостатков можно выделить как более эффективные следующие технологические пробы: отраслевого назначения — ЦНИИТС и крестовую, лабораторного назначения — Лихайскую[1] и с круглым «вварышем»[1].

[1] Пробы с круглым «вварышем» и Лихайская описаны выше (см. рис. 16—17).

Проба ЦНИИТС [18]. Образец пробы состоит из двух пластин общим размером $\delta \times 1000 \times 2000$, которые собираются встык на ребрах жесткости (рис. 24 и табл. 1).

1. Размеры (в *мм*) элементов в образце пробы ЦНИИТС

Толщина листа δ	Толщина ребра $\delta_р$	Катет шва K (минимальный)
До 20	10–20, продольные и поперечные	6 с одной стороны
20–30	14–16, только поперечные	8. » »
30	20–24, то же	10 с двух сторон

Сварку производят по технологии, принятой для сварки конструкций из металла соответствующих толщин. Для определения стойкости сварных соединений против образования трещин предусматриваются четыре группы условий сварки проб (табл. 2). Чтобы воспроизвести условия конденсации влаги на свариваемых кромках при сварке на открытом воздухе, образцы охлаждают до отрицательных температур твердой углекислотой, куски которой по 1—2 *кг* укладывают на поверхность образца по обе стороны от шва на расстоянии 100—150 *мм* от кромок.

Через сутки после сварки образец около сварного шва простукивают кувалдой весом 4—5 *кг* с целью раскрытия трещин. После внешнего осмотра вырезают газовой или анодно-механической резкой заготовки для продольных и поперечных шлифов (рис. 24, *б*, *в*, *г*). В зависимости от наличия или отсутствия трещин при тех или иных условиях сварки сварные соединения относят к одной из четырех групп стойкости против образования трещин (табл. 2).

2. Классификация по группам стойкости в пробе ЦНИИТС

Условия сварки				Группа стойкости сварных соединений против образования трещин (по признаку отсутствия трещин в указанных условиях)
Способ сварки	Температура в °С		Состояние кромок	
	начальная	перед последующим слоем		
Блоками	20	Не ниже 80—100	—	IV
Напроход	20	20	—	III
»	—25	—25	Нагрев до 40° С горелкой	II
»	—25	—25	Протирка ветошью	I

Испытания с помощью пробы ЦНИИТС являются обязательными в судостроении для установления пригодности стали и присадочных материалов для судовых корпусных конструкций.

Крестовая проба [10]. Размеры образца (рис. 25) приведены в табл. 3. Торцовые поверхности узких элементов, прилегающих к широкой пластине, обрабатывают механическим путем для обеспечения контакта между ними. Образцы собирают без зазора с помощью прихваток по торцам. Швы укладывают в последовательности, указанной номерами на рис. 25. Мерой стойкости сварных соединений против образования трещин служит начальная температура образца,

при которой холодные трещины в нем не образуются. Охлаждение до отрицательных температур производится в смеси бензина и твердой углекислоты, подогрев — в печи. После сварки каждого валика образец охлаждают до комнатной температуры на спокойном воздухе, а затем снова охлаждают или нагревают до исходной температуры. Через четверо суток после сварки из центральной части образца вырезают три поперечных темплета шириной по 25 *мм*, из которых изготовляют шлифы. После травления шлифы исследуют при 5—10-кратном увеличении с целью выявления трещин в шве или околошовной зоне. Как показывает практика, наиболее вероятным местом образования трещин является третий сварной шов, а затем первый, второй и четвертый. В некоторых случаях оценивается степень склонности сварных соединений к образованию холодных трещин, путем фиксирования максимальной длины трещины на шлифах, номера соответствующего сварного шва и начальной температуры образца, обеспечивающей образование трещин. Крестовую пробу применяют для оценки основного металла и электродных материалов, в том числе аустенитных и низководородных после высокотемпературной прокалки.

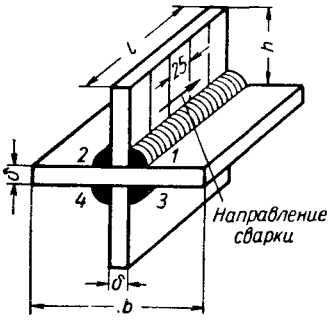


Рис. 25. Образец крестовой пробы

Способы количественной оценки технологической прочности материалов при сварке должны удовлетворять следующим требованиям: 1) обладать способностью оценивать все материалы, при сварке которых возможно образование трещин; 2) давать четкую количественную оценку; 3) затрачивать на испытание малые количества материалов и 4) быть оперативной и сравнительно дешевой. Поэтому для оценки технологической прочности материалов применяют методы, основанные на механическом испытании сварных образцов или образцов основного металла, обработанных термическим циклом, подобным сварочному.

Метод ЛТП2 [30, 31, 33]. Испытания по методу ЛТП2 проводят нагружением сварных образцов ограниченных размеров непосредственно после сварки постоянными длительно действующими внешними нагрузками. За количественный показатель сопротивляемости сгали образованию холодных трещин при сварке принимают минимальные растягивающие напряжения от внешней нагрузки, вызывающие разрушение образцов или образование в них трещин.

3. Размеры (в *мм*) элементов образца (рис. 25) и начальные температуры в крестовой пробе

δ	l	b	h	Катет шва в *мм*, не более	Рекомендуемая начальная температура образца пробы в °С
10—20	200	150	70—65	8—15	−40; −20; 0; +20; 75; 125; 150; 200; 250
Св. 20 до 30	250—300	150	65—60	15—20	

Принципиальные особенности метода заключаются в характере нагрузок, прикладываемых к образцу, а также в выборе размеров и формы образцов для испытаний.

Применение постоянных нагрузок определяется условиями образования холодных трещин как одного из видов замедленного разрушения. Образцы испытывают в течение 20 *ч*, более длительное испытание не вносит существенных изменений в результаты испытаний.

Размеры образцов выбирают достаточно большими, чтобы в них при сварке воспроизводились термические и металлургические процессы, характерные для сварки конструкций из металла данной толщины, а также получила существенное развитие пластическая составляющая сварочных деформаций, отражающая особенности применяемых основного металла и металла шва, влияющих на характер и температуру превращений аустенита. В то же время размеры образцов должны быть по возможности минимальными, чтобы свести к минимуму упругую реакцию основного металла на активную зону, сократить расход металла и иметь возможность проводить испытания на машинах небольшой мощности. Реакция со стороны основного металла, создающая в сварных конструкциях большие остаточные напряжения, заменяется при испытаниях действием внешней постоянной нагрузки, приложенной к сварному образцу. Такой подход к выбору образцов позволяет нагружать их на завершающем этапе охлаждения после сварки к моменту окончания формирования в сварных соединениях поля пластических деформаций. В методе ЛТП2 образцы начинают нагружать при 50° С.

4. Условия проведения испытаний по методу ЛТП2

Схема нагружения	Тип образцов	Вид сварного образца	Рекомендуется для толщины в *мм*	Испытательное оборудование
I. Растяжение	1	Прямоугольный с поперечным швом	1—3	Разрывные машины мощностью 5—15 *т*, обеспечивающие постоянство нагружающего усилия во времени. Машина ЛТП2-4
	2	То же с продольным		
II. Консольный изгиб	3	Прямоугольный с поперечным стыковым швом	3—20	Рычажное устройство для нагружения образцов грузом, обеспечивающее изгибающий момент 10—50 *кГ·м*
	4	То же с продольным		
	5	Тавровый	6—14	Машина ЛТП2-3
III. Изгиб распределенной нагрузкой	6	Круглый (или восьмигранный) со стыковым швом, жестко закрепленный по контуру	1—3	Нагружающее устройство ЛТП2-5, развивающее давление до 120 *кГ/см²*
IV. Изгиб сосредоточенной силой	7	Прямоугольный с поперечным стыковым швом, помещенный на двух опорах	3—20	Прессы или разрывные машины, снабженные устройствами для сжатия, мощностью 1,5—25 *т* в совокупности с жесткими скобами для выдержки нагруженных образцов. Машина ЛТП2-4
	8	То же с продольным		
	9	Круглый (или восьмигранный) с круговым швом, помещенный на кольцевую опору	1—3	Винтовое нагружающее устройство с ручным приводом в совокупности с жесткими скобами для выдержки нагруженных образцов. Установка ЛТП2-6

Схема приложения нагрузки и тип сварного соединения, применяемые в образцах, выбираются в соответствии с толщиной металла, мощностью имеющихся испытательных машин или техническими условиями, в которых оговорен тип сварного соединения и характер образующихся трещин (табл. 4). Исходя из необходимости применения простого оборудования и возможности испытаний серий образцов, можно рекомендовать следующие схемы нагружения и типы образцов (табл. 4):

1) для толщины 1—3 *мм* — изгиб распределенной нагрузкой (схема III) круглого образца (тип 6);

2) для толщины 3—6 *мм* — консольный изгиб (схема II) прямоугольного образца (тип 3 и 4);

3) для толщины 6—14 *мм* — консольный изгиб (схема II) таврового образца (тип 5);

4) для толщин 3—20 *мм* — изгиб сосредоточенной нагрузкой (схема IV) прямоугольного образца (тип 7 и 8).

Рис. 26. Чертеж и схема нагружения круглого сварного образца: *p* — давление; *f* — прогиб

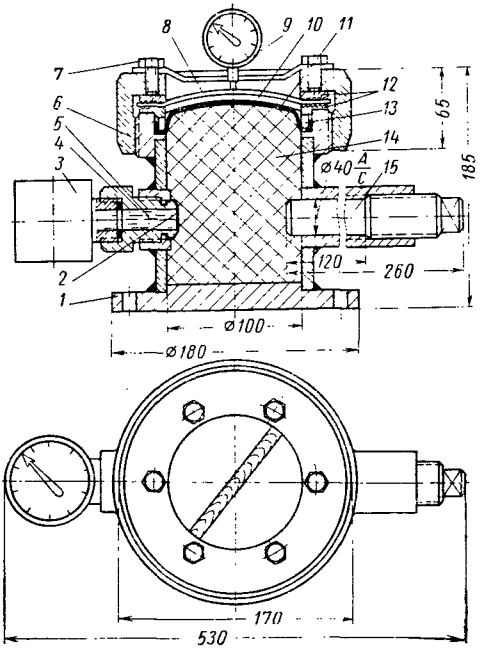


Рис. 27. Нагружающее устройство ЛТП2-5: *1* — корпус; *2* — резиновая мембрана; *3* — монометр; *4* — переходная втулка; *5* — глицерин; *6* — запорное кольцо; *7* — болт; *8* — образец; *9* — индикатор; *10* — резиновая прокладка; *11* — резиновый обтюратор; *12* — закаленные нарезные кольца; *13* — кольцо; *14* — гидропластмасса; *15* — плунжерная пара

Испытания путем изгиба круглого образца распределенной нагрузкой. Образец испытывают по схеме нагружения круглой пластинки, жестко закрепленной по контуру, равномерно распределенной нагрузкой (рис. 26). Испытания производят с помощью нагружающего устройства ЛТП2-5 (рис. 27). Устройство состоит из цилиндрического корпуса *1*, заполненного гидропластмассой *14*. В верхней части корпуса закрепляют круглый (или восьмигранный) образец *8*. Устройство снабжено плунжерной парой *15*, при помощи которой создается давление до 120 *кГ/см*^{2}.

Гидропластмасса марки СМ обладает высокой вязкостью, что обеспечивает практически постоянную во времени нагрузку образцов, падение давления имеет место лишь в первый час после нагружения и не превышает 10% от номинального при зазоре в плунжерной паре 0,02 *мм*. Падение давления можно снизить до 2—3%, если восстановить давление в первый час работы нагружающего устройства.

При испытании поверхность образца в центральной части подвергается равноосному двухосному растяжению. Сопротивляемость сварного соединения образованию холодных трещин оценивают либо по критическому давлению, либо

по критическим напряжениям, рассчитанным с помощью методов теории упругости.

Испытание путем консольного изгиба стыковых и тавровых образцов. Форма и размеры образцов приведены на рис. 28 и в табл. 5. Варианты закрепления об-

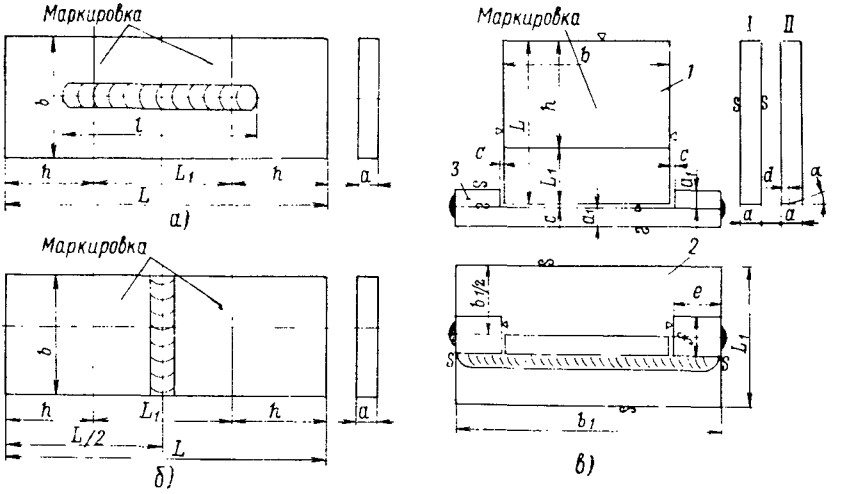


Рис. 28. Формы и размеры образцов. *а* — стыковой с продольным швом; *б* — стыковой с поперечным швом; *в* — тавровый; *1* — стенка; *2* — полка; *3* — выводная планка; *I* — для испытания околошовной зоны; *II* — для испытания шва

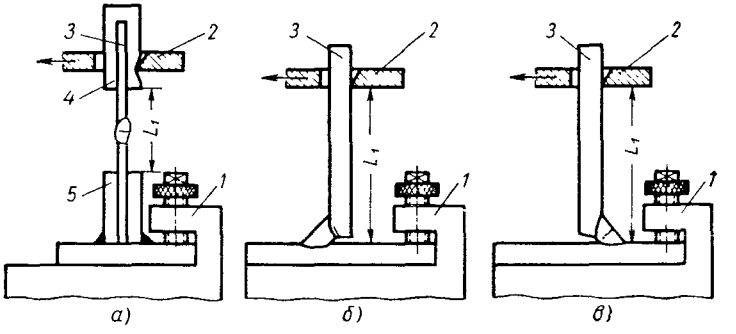
разцов в испытательной машине и их нагружения при испытании даны на рис. 29. Изгиб таврового образца (рис. 29, *б*), обеспечивающий растяжение в корне шва, применяют для оценки сопротивляемости околошовной зоны образованию холодных трещин при сварке. В этом случае вертикальную стенку *1* (рис. 28)

5. Размеры (в *мм*) образцов при испытаниях путем консольного изгиба

a	b	L	L_1	a'	d	a_1	b_1	l	$c \times s$	c	Максимальный $M_{изг}$ в *кГм*
Стыковой образец											
3	70	120	Не более 25	—	—	—	—	100	30×30	—	10
5—6	80	140	Не более 40	—	—	—	—	120	30×40	—	25—30
Тавровый образец											
6	75	75	Не более 40	15	3	6	100	125	20×20	1	50
10—14	100	100	30—80	15	4	10—14	100—110	150	25×25	1.5	150—200

Примечание. При сборке тавровых образцов необходимо строго выдерживать зазор *c* для обеспечения постоянства формы поверхности сплавления в корне шва.

образца изготовляют из исследуемой стали, нижнюю полку 2 — из малоуглеродистой, что позволяет локализовать процесс образования трещин в зоне термического влияния или по линии сплавления стенки со швом, где имеет место плавный переход от шва к основному металлу и нет острых концентратов напряжений (рис. 29, *г*). Изгиб таврового образца (рис. 29, *в*), при котором растяжению подвергается поверхность шва, применяют для оценки сопротивляемости металла шва образованию трещин. Образец изготовляют из низколегированной стали, а шов сваривают исследуемыми сварочными материалами.



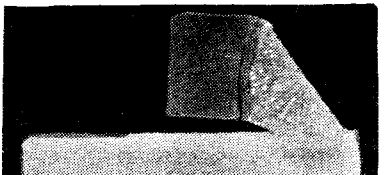


Рис. 29. Схема закрепления и нагружения образцов при испытании: *а* — стыковых; *б* и *в* — тавровых; *1* — стол машины; *2* — тяга; *3* — образец; *4*, *5* — верхняя и нижняя обоймы; *г* — характер разрушения

Испытание производят на машине ЛТИ2-3 (рис. 30). Машина состоит из пяти одинаковых секций, собранных на общей станине. Нагружают образцы изгибающим моментом с помощью рычага *7* и набора грузов *20*. Регулируют изгибающий момент путем изменения числа навесок в наборе грузов и положения груза на рычаге. Максимальный вес грузов составляет 150 *кГ*, а максимальный изгибающий момент — 165 *кГ·м*.

Разрушающие напряжения определяют условно по формулам сопротивления материалов:

$$\sigma_u = \frac{M_{изг}}{W_{изг}} = \frac{6M_{изг}}{bh^2}\ кГ/мм^2, \qquad (8)$$

где $M_{изг}$ — постоянный изгибающий момент в *кГ·мм*;

$W_{изг}$ — момент сопротивления изгибу сечения излома или сечения, проходящего через трещины в образце, в $мм^3$;

b — ширина образца в *мм*;

h — средняя высота сечения излома (по результатам 3—5 замеров) в *мм*.

Испытания путем изгиба стыковых образцов сосредоточенной нагрузкой. Форма и размеры образцов приведены на рис. 28, *а* и *б* и в табл. 6. Испытания

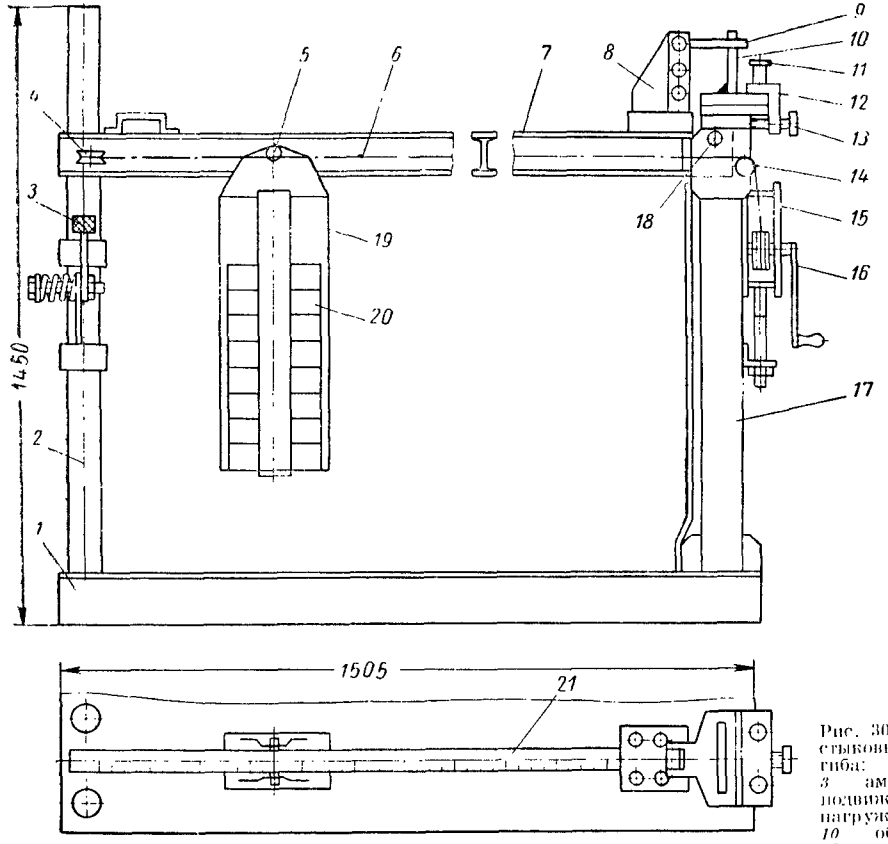


Рис. 30. Машина ЭТН2-3 для испытания стыковых и тавровых образцов путем изгиба: *1* — станина; *2* — задняя опора; *3* — амортизатор; *4* — задний блок; *5* — подвижная каретка; *6* — трос; *7* — рычаг нагружения; *8* — кронштейн; *9* — тяга; *10* — образец; *11* — винт для закрепления образца; *12* — стол; *13* — регулировочный винт; *14* — передний блок; *15* — лебедка; *16* — рукоятка лебедки; *17* — передняя опора; *18* — ось рычага; *19* — кассета; *20* — набор грузов; *21* — шкала

проводят с помощью пресса или разрывной машины, снабженной устройством для сжатия, и серии жестких скоб, служащих для закрепления образцов (рис. 31). Сварной образец *3* помещают в скобу *1* на нижние опоры *2* и нагружают пуансоном *4*, к которому через шток *6* прикладывается сжимающее усилие на

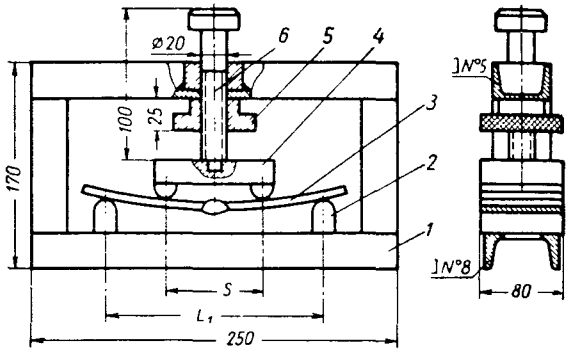


Рис. 31. Жесткая скоба для испытания путем изгиба стыковых образцов толщиной от 3 до 6 *мм*

прессе или разрывной машине. После достижения заданного усилия нагружения с помощью гайки *5* фиксируют положение штока, пуансона и сварного образца в напряженном состоянии. Нагруженные и закрепленные в скобах образцы выдерживают в течение времени испытания или до появления трещин. Разрушающие напряжения рассчитывают по усилию и прогибу образцов по формулам сопротивления материалов.

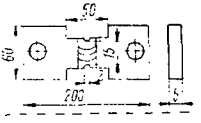
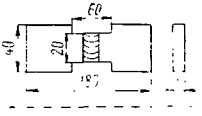
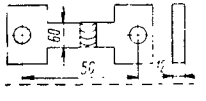
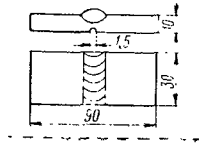
6. Размеры (в *мм*) стыковых образцов для испытаний путем изгиба сосредоточенной нагрузкой

a	*b*	*L*	*l*	L_1	*s*	*R*	$e \times f$	Максимальная нагрузка в *т*
				С поперечным швом				
3	70	140	—	120	40	4	30×40	1,5
5—6	80	180	—	150	45	6	30×40	5
10—14	100	220	—	180	60	8	40×50	15—20
16—20	120	250	—	200	80	10	50×60	25—40
				С продольным швом				
3	70	140	130	120	40	4	—	1,5
5—6	80	180	160	150	45	6	—	5
10—14	120	250	220	200	70	8	—	25—30
16	140	300	260	250	90	10	—	30
20	160	350	300	280	100	10	—	50

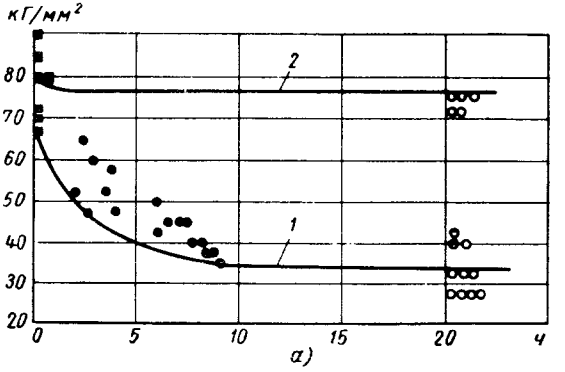
Обозначения: L_1 – расстояние между опорами на матрице; *s* – расстояние между опорами на пуансоне; *R* – радиус закругления опор на матрице и пуансоне; $e \times f$ – размер технологических планок.

Разновидности рассмотренного метода при использовании его различными организациями отличаются, главным образом, формой и размерами сварных образцов и некоторыми деталями технологии испытаний (табл. 7).

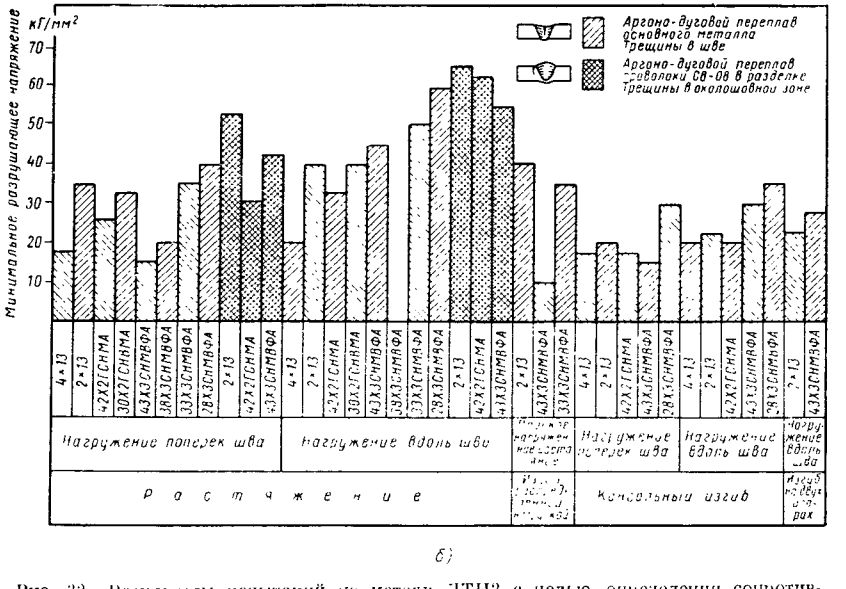
7. Разновидности метода испытаний сварных образцов постоянными длительно действующими нагрузками

Форма и размеры образца в мм	Схема нагружения	Момент приложения нагрузки	Показатель сопротивляемости трещинам	Источник
	Растяжение	После охлаждения до 50° С	Время до разрушения при одной нагрузке	[41]
	То же	В процессе охлаждения, начиная с 400° С	Минимальное разрушающее напряжение	[8]
	Консольный изгиб (нагружение поверхности шва)	После охлаждения до 50—20° С	То же	[37]
	Растяжение	После охлаждения до 50°	То же	[14]
	Изгиб на двух опорах (нагружение корня шва)	То же	То же	[1]

Результаты испытаний стали некоторых промышленных марок по методу ЛТП2 путем изгиба таврового образца толщиной 10—12 *мм* для случая испытания околошовной зоны основного металла приведены в табл. 8.



а)



б)

Рис. 32. Результаты испытаний по методу ЛТП2 с целью определения сопротивляемости сталей образованию холодных трещин при сварке: *а* — тавровых образцов из стали 30ХН2МФА (*1* — непосредственно после сварки; *2* — через 6 суток после сварки); *б* — стыковых образцов из толстолистовой высокопрочной стали

Графическое изображение результатов испытаний, иллюстрирующее замедленный характер разрушения при образовании холодных трещин и зависимость прочности от времени действия нагрузки, приведено на рис. 32, *а*.

Данные о сопротивляемости высокопрочной стали толщиной 2,8—3,3 *мм* образованию трещин при сварке, полученные путем испытания стыковых образцов на растяжение и изгиб по методу ЛТП2, приведены на рис. 32, *б*.

8. Результаты испытаний тавровых образцов при автоматической сварке

Марка стали	Минимальное разрушающее напряжение в σT, $кг/мм^2$	Сварочные материалы. Погонная энергия в $кал/см$	Марка стали	Минимальное разрушающее напряжение в σT, $кг/мм^2$	Сварочные материалы. Погонная энергия в $кал/см$
40ХН	40	Св-08	30ХГС **	75	
40Х	50	ОСЦ-45	30Х2ГСФ	75	Св-18ХМА
30ХНЗА	45	Прокалка флюса 300°—3 ч	30Х2ГСФМ	12	АН-348А Прокалка флюса
30ХГСА *	55	6200	30Х2ГСВФ	~ 0***	350°—1,5 ч
			30Х2ГФ	7,5	
30ХГСА **	75	Св-20ХСНВФА	30Х2ГВФ	~ 0***	
30ХСНВФА	10	ОСЦ-45	30Х2ГВТ	~ 0***	
25ХГСНФВА	22,5	Прокалка флюса	30Х2ФМ	17,5	
25ХГСНМА	20	200 —2 ч 4100			

* Легирование по нижнему пределу.
** Легирование по верхнему пределу.
*** Трещины возникли в образцах без приложения внешней нагрузки.

Сопротивляемость различных марок сталей образованию холодных трещин при сварке, полученная разными исследователями, дана в табл. 9.

9. Сопротивляемость различных сталей образованию холодных трещин при сварке

Марка стали	Толщина в $мм$	Минимальное разрушающее напряжение в σT, $кг/мм^2$	Способ сварки	Способ испытаний	Расположение трещин	Источник
30ХСНВФА	5	30	Ручная УОНИИ 13/55	Растяжение поперечника	Околошовная зона	[8]
23ХГСНМА		35				
23Х2НВФА		35,5				
12Х2НВФА		Св. 60				
38ХЗМСФ	5	24	Аргонодуговая переплав	То же	Шов	[8]
43Х3СНМВФА [1]	5	26				[8]
43Х3СНМВФА [2]	3	15				ЛТП
33Х3СНМВФА [1]	3	52				[7]
33Х3СНМВФА [2]	3	35				ЛТП
30Х2ГСНМВФА [1]	3	32				ЛТП
35Х3Н3М	12	15	Автоматическая ферритно-перлитный шов	То же	Околошовная зона	[14]
35Х3Н3М	12	30	То же бейнито-мартенситный шов	»		
30Х1ГСНМВФА [2]	3	48,5	Аргонодуговая переплав	Изгиб поперечника	Шов	[37]

[1] и [2] Различные плавки одной и той же марки стали.

Применение метода ЛТП2. Образцы испытывают для сравнительной количественной оценки сопротивляемости стали образованию холодных трещин:

1) основного металла (марок и плавок стали различного химического состава, газонасыщенности, стали одной и той же марки с различными сварочными материалами);

2) металла сварного шва (проволоки, электродов, флюсов различного состава, газонасыщенности и влажности).

Абсолютные значения показателя сопротивляемости стали образованию холодных трещин при сварке зависят от ряда факторов. Для получения сопоставимых результатов необходимо постоянство следующих условий испытаний: 1) типа образца (формы, размеров и схемы приложения нагрузки); 2) способа и режима сварки; 3) сварочных материалов; 4) термического цикла сварки; 5) влажности воздуха и сварочных материалов. До стандартизации метода испытаний полученные результаты могут использоваться как сравнительные в пределах одной и той же серии испытаний.

Показатель сопротивляемости стали образованию холодных трещин не может быть непосредственно применен для оценки стойкости против образования

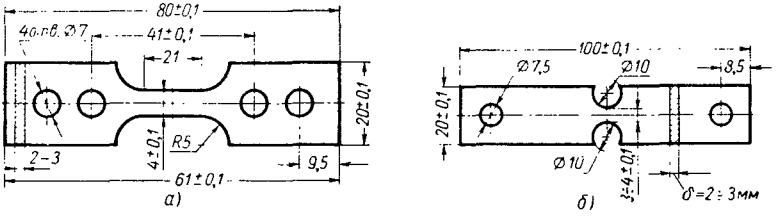


Рис. 33. Образцы для испытания основного металла на замедленное разрушение путем растяжения: *а* — по методике ЛТП3; *б* — по методике ИМЕТ-3

трещин сварных соединений в сварных конструкциях. Стойкость соединений зависит, с одной стороны, от технологических свойств стали, т. е. сопротивляемости образованию трещин, с другой — от величины сварочных напряжений I рода. Вероятность образования трещин в сварных конструкциях должна определяться путем сопоставления поля остаточных сварочных напряжений со значениями сопротивлений металла образованию трещин в различных зонах сварного соединения. Превышение значений остаточных напряжений над величиной сопротивления стали определит вероятность, зону и время возникновения холодных трещин.

Испытания образцов основного металла на замедленное разрушение [32, 34]. Испытанию на замедленное разрушение подвергают образцы основного металла малых размеров, прошедших термическую обработку, сходную с термическим сварочным циклом. После термической обработки образцы нагружаются постоянной нагрузкой и выдерживаются 20 –72 *ч*. Минимальное разрушающее напряжение принимают за показатель прочности при замедленном разрушении исследуемых материалов. Имеется несколько разновидностей указанного метода.

Испытания по методике ЛТП3. Испытания по методике ЛТП3 предусматривают растяжение или изгиб образцов. Форма и размеры образца приведены на рис. 33, *а*. Образцы, нагреваемые током, имеют ровную центральную часть без каких-либо концентраторов. Это позволяет получить однородную структуру на базе до 15 *мм* и определять расчетным путем разрушающие напряжения, близкие к действующим в образце.

Параметры термического цикла образцов выбирают в соответствии с циклами сварки исследуемых материалов на принятых в практике режимах. Показатели прочности образцов при замедленном разрушении в сильной степени зависят от параметров термического цикла. Особенно это относится к максимальной

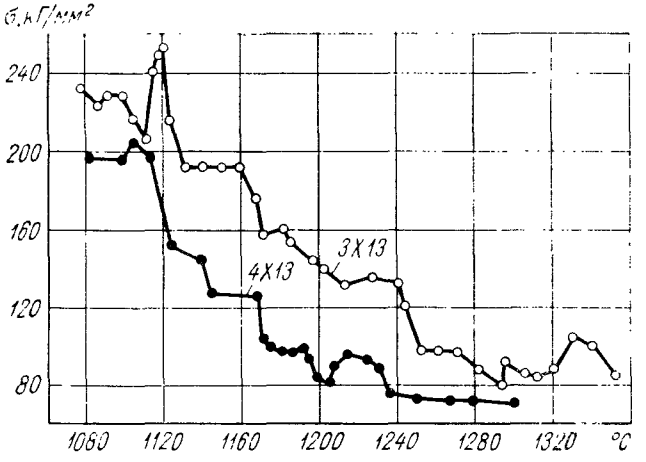


Рис. 34. Зависимость прочности при замедленном разрушении от максимальной температуры нагрева

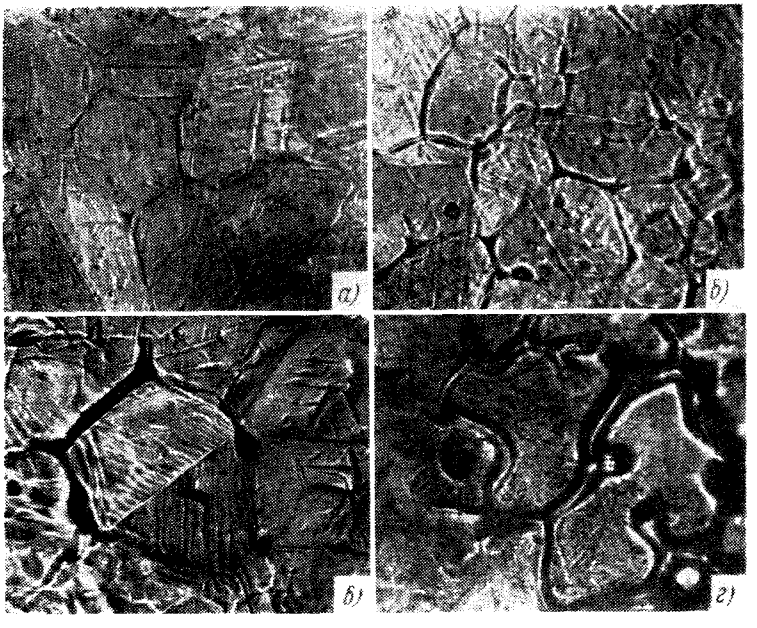


Рис. 35. Свободная поверхность образцов из стали 4Х13, нагретых в атмосфере аргона до различных температур: *а* — 1230° С; *б* — 1240° С; *в* — 1230° С; *г* — 1270° С. × 1000

температуре нагрева. На рис. 34 приведены зависимости прочности при замедленном разрушении при испытаниях образцов путем консольного изгиба от максимальной температуры нагрева для двух марок сталей. Как показывают результаты испытаний минимальное значение прочности соответствует температуре нагрева, при которой начинается оплавление границ зерен. Эту температуру определяют для каждого исследуемого материала и скорости нагрева путем металлографического исследования поверхности тонкошлифованных образцов после нагрева в атмосфере инертного газа (рис. 35). Температура оплавления границ зерен соответствует появлению на них темной фазы, имеющей округлые формы и значительные размеры по толщине (рис. 35, *в*). Она рекомендуется как максимальная температура нагрева (табл. 10).

10. Температуры начала плавления границ зерен для сталей некоторых марок

Марка стали	Температура начала плавления границ в °С	Средняя скорость нагрева до 1000° С в *град/сек*	Марка стали	Температура начала плавления границ в °С	Средняя скорость нагрева до 1000° С в *град/сек*
4Х13	~ 1240	80	42Х2ГСНМ	1302	69—86
3Х13	1293	60—73	43Х3СНМВФА	1324	64—78

Испытание образцов растяжением производят на машине ЛТП2-3 с помощью дополнительных захватов (рис. 36), а испытание консольным изгибом — с помощью многосекционного рычажного приспособления. Нагрузку прикладывают к образцу после полного его охлаждения со скоростью около 50 *кГ/мм² мин*.

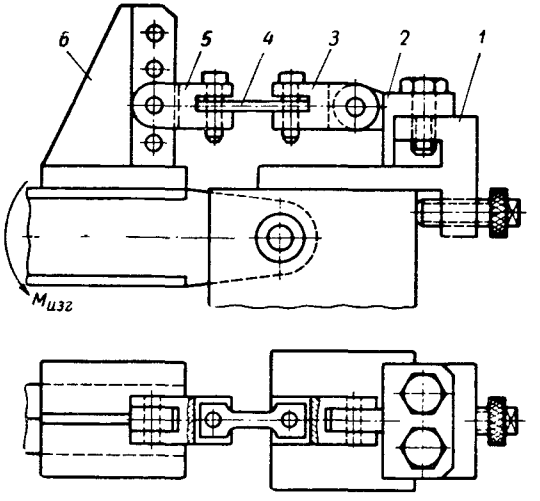


Рис. 36. Схема испытания на замедленное разрушение путем растяжения на машине ЛТП2-3: *1* — стол; *2* — основание захвата; *3*, *5* — захваты; *4* — образец; *6* — стойка

Нагружение образцов в процессе охлаждения с целью вызвать деформацию аустенита по величине, близкой к сварочной (2—3% относительного удлинения), не было принято в методике ЛТП3, так как такая небольшая деформация не приводит к существенному изменению минимальной прочности при замедленном разрушении [44], т. е. малоцелесообразна при испытаниях применительно к сварочным условиям и, по-видимому, необходима только при испытаниях применительно к условиям термомеханической или другим видам горячей обработки.

Испытания по методике ИМЕТ-4 [44]. Образец (рис. 33, *б*) нагревают током до максимальной температуры 1300—1350° С и в процессе охлаждения последовательно нагружают сначала в интервале 550—400° С для достижения степени деформации аустенита, близкой к сварочной (обычно до 30 *кГ/мм²*), а затем в интервале 270—110° С до полного за-

11. Результаты испытаний сталей на замедленное разрушение в условиях имитированного сварочного цикла

Марка стали	Минимальные разрушающие напряжения в $кГ/мм^2$	Скорость нагрева при 700—900° С в *град/сек*	Максимальная температура нагрева в °С	Относительная деформация аустенита (удлинение)	Скорость охлаждения при 600—400° С *град/сек*	Защитная среда	Методика испытаний
43Х3СНМФА [1]	50	58—67	1310—1330	4,0—7,0	32—37	Воздух	ИМЕТ-4
43Х3СНМВФА [2]	55	90—110	1240	0	20—22	»	*ЛТИЗ растяжение*
43Х3СНМВФА [2]	92	64—78	1325	0	15,3—16,4	Аргон	ЛТИЗ изгиб
42Х2ГСНМ [1]	49	55—65	1310—1320	6,0—11,5	32—38	Воздух	ИМЕТ-4
42Х2ГСНМ [2]	100	69—86	1335	0	15,1—16,2	Аргон	ЛТИЗ изгиб
15Х12НМВФА [1]	70	80—95	1240	0	95—105	CO_2	ЛТИЗ растяжение
15Х12НМВФА [2]	90	85—95	1300—1310	3,9—7,0	32—42	Воздух	ИМЕТ-4
30Х2ГСНВМ	133	55—65	1310—1330	3,4—7,5	37—42	»	ИМЕТ-4
25Х2ГСНМВФ	До 150 не разрушается	60—80	1340	0	55—65	Гелий	ЛТИЗ растяжение
28Х3СНМВФА	85	75—90	1250	0	14,5—16,5	Воздух	То же
4Х13	60	75—85	1270	0	14—16	Аргон	»
4Х13	76	60	1260	0	15,6	»	ЛТИЗ изгиб
2Х13	До 120 не разрушается	55—70	1250	0	13—14	Воздух	ЛТИЗ растяжение
25ХГС	То же	85—95	1250	0	95—105	CO_2	То же
35ХГСА	84	32—38	1310—1330	7,0—11,5	32/38	Воздух	ИМЕТ-4
13Х12Н2МФ	Не разрушен	85—95	1300—1330	5,6—8,1	21—28	»	ИМЕТ-4
15Х12НМВФА [1]	До 280 не разрушается	45—56	1280	0	14,2—15,2	Аргон	ЛТИЗ изгиб
25Х2ГСНМВФ	То же	45—55	1360	0	14,7—15,9	—	То же
2Х13	»	89—94	1340	0	14,3—15,8	Воздух	»

[1], [2] Различные плавки стали одной и той же марки.

данного напряжения. Нагрев и испытания образцов производят на машине ИМЕТ-4, состоящей из десяти одинаковых секций и имеющей нагреватель с трансформатором и рычажные устройства для нагружения образцов путем растяжения.

Результаты испытаний стали некоторых марок по методикам ЛТПЗ и ИМЕТ-4 [56] приведены в табл. 11.

Как показывает анализ результатов испытаний на замедленное разрушение образцов с имитацией термического цикла околошовной зоны, они могут дать сравнительную оценку сопротивляемости металла образованию холодных трещин при сварке только в околошовной зоне на сталях и режимах охлаждения, обеспечивающих получение более 90% мартенсита в структуре, и применимы лишь для предварительной оценки основного металла.

Испытания на замедленное разрушение дают возможность оценить влияние состава и параметров термического цикла на сопротивляемость разрушению. Такая дифференцированная оценка некоторых факторов, влияющих на образование трещин, позволяет решать теоретические вопросы, касающиеся процесса образования холодных трещин при сварке.

Способы повышения сопротивляемости сталей образованию холодных трещин при сварке

Способы повышения сопротивляемости стали образованию холодных трещин при сварке основаны на рациональном выборе и регулировании состава и исходного состояния основного металла, типа и состава электродных материалов режима и термических условий сварки, а также обработки сварного соединения непосредственно после сварки [16].

Рациональное легирование основного металла можно производить, исходя из влияния отдельных элементов или их сочетаний на сопротивляемость образованию трещин. Наиболее эффективно действующим элементом является углерод. В низколегированных сталях с содержанием углерода ниже 0,10—0,12% холодные трещины практически не наблюдаются. Резкое снижение сопротивляемости наступает при содержании углерода выше 0,30—0,33%. Далее по степени снижения сопротивляемости идут марганец, хром (оба при концентрации свыше 1%) и никель (свыше 1,5%). Влияние этих элементов с повышением содержания углерода становится менее значительным. Вольфрам (свыше 0,3—0,5%) в некоторых случаях также снижает сопротивляемость сталей образованию трещин. К элементам, повышающим значение этой характеристики, относятся энергичные карбидообразующие и модификаторы: ванадий, молибден и титан. Положительный эффект оказывает полное раскисление стали алюминием (свыше 0,10—0,15%) и применение вакуумной плавки и разливки сталей.

Увеличить стойкость против холодных трещин можно, изменяя исходную структуру стали путем предварительной термической обработки: отжига на укрупнение карбидов [15], изотермической закалки с высоким отпуском и термомеханической обработки [11].

Сопротивляемость сварных соединений образованию трещин может быть значительно повышена за счет применения металла шва определенного типа и состава. Так, для сварки сталей с низкой сопротивляемостью образованию трещин могут быть рекомендованы аустенитные хромоникелевые (типа Х15Н25М6) или хромомарганцовистые (типа 23Х10Г29НФ) электродные материалы, обладающие достаточным запасом аустенитности [51]. Состояние и состав электродных материалов могут определять насыщение сварного соединения водородом. Для снижения содержания водорода в металле сварного соединения рекомендуется высокотемпературная (свыше 450° С) прокалка электродов и флюсов и осушение защитных газов.

В отношении режима сварки рекомендуется применение постоянного тока обратной полярности, повышенных напряжения и тока. При этом увеличение погонной энергии сварки будет благоприятно до тех пор, пока в отдельных участ-

как околошовной зоны не начнется чрезмерное укрупнение зерна вследствие перегрева. Испытанным средством повышения стойкости против холодных трещин является предварительный подогрев изделия перед сваркой на 100—300 °С. Однако высокотемпературные превращения, вызванные подогревом, дают грубые продукты распада аустенита, что снижает механические свойства сварного соединения. Более благоприятным является задержка охлаждения ниже температуры начала мартенситного превращения в течение определенного периода времени. В этом случае трещины устраняются вследствие отпуска мартенсита и релаксации напряжений, в то же время обеспечиваются высокие механические свойства сварного соединения, так как продукты превращения имеют однородную структуру отпущенного мартенсита [38]. Такое регулирование термического цикла можно получить применением сопутствующего подогрева или сваркой каскадным способом или горкой. Весьма эффективной может быть термомеханическая обработка сварного соединения в процессе охлаждения [44], которая заключается в значительной пластической деформации металла (несколько десятков процентов) в период его пребывания в аустенитном состоянии непосредственно после действия источника нагрева. Применение термомеханической обработки, к сожалению, сопряжено со значительными трудностями и ограничено частными случаями сварки простейших тонколистовых конструкций.

После окончания сварки холодных трещин можно избежать, если конструкцию подвергнуть низкому или высокому отпуску. Отпуск эффективен для сталей и конструкций, для которых характерно появление трещин через несколько часов или суток после сварки. Для такого рода сварных конструкций может быть также применена проковка, прокатка, опрессовка швов и сварных соединений. Указанная обработка приводит к перераспределению и снижению остаточных сварочных напряжений и тем самым повышает скойкость против образования трещин.

Несмотря на разнообразие средств повышения сопротивляемости стали образованию трещин при сварке, задача полного устранения холодных трещин еще не решена. Во-первых, ряд способов находится на таком уровне развития, что не гарантирует полного устранения трещин. Во-вторых, многие способы имеют весьма ограниченное применение (только при определенной толщине металла, типе сварного соединения, форме и размерах конструкции, условиях производства и т. п.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Бородушкин И. В., Петров Г. Л. Влияние водорода на образование околошовных трещин при сварке закаливающихся сталей. «Сварочное производство», 1966, № 11.
2. Бочвар и др. К вопросу о горячих (кристаллизационных) трещинах. «Сварочное производство», 1960, № 10.
3. Водовельский Д. Э. и др. Исследование влияния Nb, Mo и Mn на стойкость против образования горячих трещин металла высоконикелевых швов Сб. «Сварка» «Судостроение», 1959, № 12.
4. Гаврилюк В. С. Методика определения пластических характеристик кристаллизующихся сварных швов и некоторые результаты ее применения. М., ЦИТЭИН. Вып. 6, 1961.
5. Грищечко Л. В. и др. Аустенитные электроды на хромомарганцовистой основе для сварки сталей перлитного класса. Сб. «Сварка», № 7. М., Судостроение, 1964.
6. Дятлов В. И., Сидорук В. С. Влияние технологических условий сварки на образование продольных горячих трещин. «Автоматическая сварка», 1966, № 3.
7. Заболотский В. М. Влияние условий нагружения образцов при испытании сталей на склонность к образованию холодных трещин при сварке. «Сварочное производство», 1967, № 5.
8. Заболотский В. М. Оценка стойкости некоторых конструкционных сталей против образования холодных трещин при сварке. «Сварочное производство», 1964, № 3.
9. Красовский А. И. Способы испытания конструкционной стали на свариваемость, применяемые в СССР и за рубежом. М., 1959.
10. Колодная Б. А. Метод количественной оценки склонности сварных соединений к образованию холодных трещин. «Сварочное производство», 1960, № 2.
11. Мазанец К., Гысенецка Л. К вопросу изучения свариваемости сталей повышенной прочности. «Zváranie», 1967, № 7—8.
12. Макара А. М. Трещины в околошовной зоне легированных улучшаемых сталей. Юбилейный сборник, посвященный Е. О. Патону, 1951.

13. Макара А. М. Исследование природы холодных околошовных трещин при сварке. «Автоматическая сварка», 1960, № 2.
14. Макара А. М., Мосендз Н. А. Природа влияния металла шва на образование трещин в околошовной зоне. «Автоматическая сварка», 1964, № 9.
15. Макаров Э. Л. Влияние предварительной термической обработки стали на процесс образования холодных трещин при сварке. Сб. «Прочность сварных конструкций» М., «Машиностроение», 1965.
16. Макаров Э. Л., Субботин Ю. В., Прохоров Н. Н. Пути повышения сопротивляемости сталей образованию холодных трещин при сварке. Сб. «Прочность сварных конструкций». М., «Машиностроение», 1965.
17. Мовчан Б. А. Микроскопическая неоднородность литых металлов и сплавов. ГИТЛ УССР, 1962.
18. Николаев К. Г., Гололобов Б. А. Методика испытания сварных соединений судовых корпусных конструкций на образование трещин. «Сварочное производство», 1956, № 9.
19. Новиков И. И. Горячеломкость цветных металлов и сплавов. М., «Наука», 1966.
20. Патон Б. Е. и др. Некоторые пути повышения качества сталей и сплавов для сварных конструкций. «Сварочное производство», 1967, № 11.
21. Петров Г. Л. и др. Сварка жаропрочных нержавеющих сталей. М., Машгиз, 1963.
22. Пронина Е. М., Якушин Б. Ф. Пути уменьшения склонности к горячим трещинам при сварке жаропрочных сплавов малых толщин. «Авиационная промышленность». 1964, № 4.
23. Прохоров Н. Н. Горячие трещины при сварке. М., Машгиз, 1952.
24. Прохоров Н. Н. Технологическая прочность металлов при сварке. М., Профиздат, 1960.
25. Прохоров Н. Н. Технологическая прочность металлов в процессе кристаллизации при сварке. «Сварочное производство», 1962, № 4.
26. Прохоров Н. Н., Якушин Б. Ф. Влияние размера зерна основного металла на строение и технологическую прочность сварных швов. Сб. «Сварка». М., Судпромгиз, 1963.
27. Прохоров Н. Н., Арутюнова И. А. Количественная проба для определения технологической прочности металлов в процессе кристаллизации. «Автоматическая сварка», 1964, № 7.
28. Прохоров Н. Н., Якушин Б. Ф. Исследование механических свойств сплавов в условиях неравновесного состояния. Сб. «Сварка». М., Судпромгиз, 1964.
29. Прохоров Н. Н. Физические процессы в металлах при сварке М., Металлургиздат, 1968.
30. Прохоров Н. Н. Машина для определения склонности сталей к образованию холодных трещин при сварке. Авторское свидетельство № 114865 от 15. IX. 1955.
31. Прохоров Н. Н. Макаров Э. Л. Методика количественной оценки сопротивляемости сталей образованию холодных трещин при сварке. «Сварочное производство», 1958, № 9.
32. Прохоров Н. Н., Макаров Э. Л. Якушин Б. Ф. Прочность стали в процессе превращения аустенита при сварке. «Сварочное производство». 1959, № 8.
33. Прохоров Н. Н., Макаров Э. Л. Способы оценки и регулирования сопротивляемости сталей образованию холодных трещин при сварке. «Автоматическая сварка», 1961, № 11.
34. Прохоров Н. Н. и др. Прочность при изгибе конструкционных закаливающихся сталей в процессе замедленного разрушения. Сб. «Прочность сварных конструкций». М., «Машиностроение», 1965.
35. Русснян А. В., Сахарнов А. А. Исследование устойчивости сплавов против образования горячих трещин в околошовной зоне. «Автоматическая сварка», 1964, № 9.
36. Русснян А. В., Сахарнов А. А. Количественная оценка сопротивляемости и кристаллизующегося металла образованию горячих трещин. «Сварочное производство», 1968, № 2.
37. Симонник А. Г., Лобановская Е. П., Васильева Э. Н. Стойкость сварных соединений высокопрочных сталей против образования холодных трещин при сварке. «Сварочное производство», 1966, № 3.
38. Смирнов А. Г., Любавский К. В. О сопутствующем подогреве при сварке стали 25ХСНВФА. «Сварочное производство», 1965, № 9.
39. Фридлянд Л. А., Тимофеев К. И. Испытание статическим изгибом сварных швов на склонность к образованию горячих трещин. «Автоматическая сварка», 1957, № 2.
40. Чернышова Т. А., Шоршоров М. Х. О механизме образования горячих трещин при сварке ниобия. «Физика и химия обработки материалов», 1967, № 3.
41. Шиганов И. В., Раймонд Э. Д. Оценка склонности к холодным трещинам сварных соединений из конструкционных сталей. Сб. докладов «Новые сварочные процессы». 1959.
42. Шоршоров М. Х., Соколов Ю. В. Температурный интервал образования горячих трещин при сварке плавлением однофазных никелевых сплавов. «Сварочное производство», 1962, № 4.
43. Шоршоров М. Х. Справочник по сварке. Т. 1, глава IV, М., Машгиз, 1961.

44. Шоршоров М. Х. Металловедение сварки стали и сплавов титана. Изд-во «Наука», 1965.
45. Якушин Б. Ф. К вопросу образования околошовных горячих трещин при сварке. «Сварочное производство», 1962, № 4.
46. Якушин Б. Ф. Методика определения пластичности и ТИХ затвердевающего металла шва. Сб. «Автоматизация, механизация и технология сварки». М., Машиностроение, 1966.
47. Якушин Б. Ф. Оценка технологической прочности в зависимости от режимов сварки. «Сварочное производство», 1969, № 1.
48. Якушина Г. М. и др. Сравнение некоторых методов оценки технологической прочности алюминиевых сплавов при сварке. «Сварочное производство», 1962, № 4.
49. Blanchet B. Appreciation a l'essai de sondabilite sans tension biaxiales du comportement de tôles lu alliages utilises daus l'aéronautique. Sondage et technike connexes, 1965, N 1—2.
50. Fredriks H., Ates F. F. Determination of the susceptiblity to hot-cracking of austenitic stainless stell weld deposited. British Welding Journal, 1963, N 12.
51. Granjon H. Informations sur les essais de fussuration «Soudage et technic connexes», 1963, N 7—8.
52. Hopkins L. C. A Suggested Cause and General Theory of the Cracking of Alloy steels. Welding Journal, 1944, N 11.
53. Hoyt S. L., Sims C. E., Bauta H. M. Metallurgical Factors of Underbead Crancking Welding Journal, 1945, N 3.
54. Lee J. W., Nichols E. E., Goodman S. Verestraint Testing of Cast 70Cu—30N Alloy 371S. Welding Journal, 1968, N 8.

ГЛАВА VII

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

ЗАГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ

Технологический процесс заготовки деталей из проката может включать следующие операции: правку, разметку, резку, обработку кромок, гибку, штамповку, пробивку или сверление отверстий и очистку под сварку.

Правку, как правило, производят в холодном состоянии, ограничивая относительное остаточное удлинение наиболее деформированных волокон величиной около 1%. Если необходимо создать более значительные деформации, правку малоуглеродистой стали выполняют при 500—1150° С и низколегированной — при 800—1150° С. Волнистость листов и полос толщиной 0,5—50 *мм* успешно устраняется при пропуске их между верхним и нижним рядами валков листо-

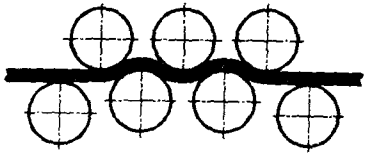


Рис. 1. Схема правки на листоправильных вальцах

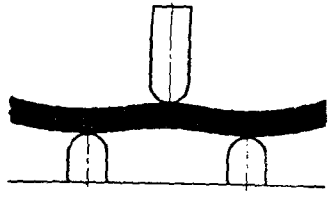


Рис. 2. Схема правки профильного проката

правильных машин за счет многократного изгиба (рис. 1). Листы толщиной более 50 *мм* обычно правят под прессом. Саблевидность (искривление в плоскости) поддается правке в ограниченной степени. Ее устраняют на листоправильных вальцах с применением подкладок, либо на кулачковом прессе (для полос шириной до 200 *мм*).

При правке или гибке в вальцах листовых заготовок со стыковыми швами наличие усиления шва может приводить к появлению трещин. Правку мелко- и среднесортового, а также профильного проката производят на роликовых машинах, работающих по той же схеме, что и листоправильные. Для крупносортового проката, например двутавров и швеллеров, такой способ используется только для правки в плоскости меньшего момента сопротивления, в другой плоскости его правят на правильногибочных прессах кулачкового типа путем изгиба (рис. 2).

Разметка. Индивидуальная разметка трудоемка. Наметка более производительна, однако изготовление специальных наметочных шаблонов не всегда экономически целесообразно. Оптический метод позволяет вести разметку без шаблона по чертежу, проектируемому на размечаемую поверхность. Использование приспособлений для мерной резки проката, копирных щитов, а также газорезательных машин с масштабной фотокопировальной системой управления

или программным управлением позволяет обходиться без разметки. Также не требует разметки штамповка.

Резка и обработка кромок. Механическая резка листовых деталей с прямолинейными кромками из металла толщиной до 40 *мм*, как правило, производится *на гильотинных ножницах* (рис. 3, *а*) *и пресс-ножницах* (рис. 3, *б*). При длине отрезаемого элемента 1—4 *м* погрешность размера обычно составляет ± (2,0 ÷ 3,0) *мм* при резке по разметке и ± (1,5 ÷ 2,5) *мм* при резке по упору. Дисковые ножницы (рис. 3, *в*) позволяют осуществлять вырезку листовых деталей с непрямолинейными кромками толщиной до 20—25 *мм*. Для получения листовой заготовки заданной ширины с параллельными кромками дисковые ножи целесообразно располагать попарно на заданном расстоянии друг от друга (рис. 3, *г*). При поперечной резке фасонного проката применяют пресс-ножницы и комбинированные ножницы с фасонными ножами или дисковые пилы. В некоторых случаях

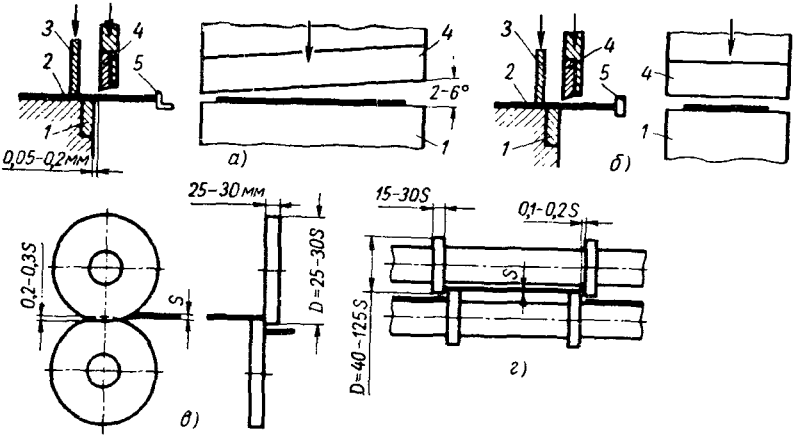


Рис. 3. Схема резки металла на ножницах различных типов: *1* и *4* — ножи; *2* — лист; *3* — прижим; *5* — упор

резку производят гладким диском за счет трения, а также на анодно-механических дисковых или ленточных станках. Производительным является процесс вырубки в штампах. При номинальных размерах деталей 1—4 *м* отклонения могут соответственно составлять ± (1,0 ÷ 2,5) *мм*.

Разделительная термическая кислородная резка менее производительна, чем резка на ножницах, но более универсальна и применяется для получения стальных заготовок как прямолинейного, так и криволинейного очертания в широком диапазоне толщин. Ручная и полуавтоматическая резка листов производится обычно по разметке, автоматическая — с помощью копирных устройств, по масштабному чертежу или на машинах с программным управлением. Форма кромок и их размеры под сварку определяются главным образом требованиями технологического процесса сварки и типа соединения. Кромки с односторонним или двухсторонним скосом можно получить, используя одновременно два или три резака, располагаемых под соответствующими углами. Для вырезки деталей из специальных сталей, цветных металлов и их сплавов применяют плазменную, а также кислородно-флюсовую резку.

После вырезки детали нередко приходится править. Мелкие детали (планки, фасонки и т. д.) можно править в листоправильных вальцах на подкладном листе.

Механическую обработку кромок на станках обычно производят в следующих случаях: а) для обеспечения требуемой точности сборки; б) для

образования фасок, имеющих сложное очертание; в) если технические условия требуют удаления металла кромки после резки (огневой или на ножницах).

Гибку листовых элементов толщиной 0,5—50 *мм* для получения цилиндрических и конических поверхностей осуществляют в листогибочных вальцах. При отношении радиуса изгиба к толщине листа $\frac{R}{\delta} \geqslant 25$ вальцовку обычно выполняют в холодном состоянии, при меньшем значении этого отношения — в горячем. При гибке в вальцах концевой участок листа *а* (рис. 4) остается почти плоским. Его ширина достигает 150—200 *мм* при гибке в трехвалковых вальцах и составляет одну-две толщины листа при гибке в четырехвалковых вальцах. Требуемая кривизна в месте стыка достигается либо предварительной подгибкой кромок, либо путем калибровки уже сваренной обечайки. Листовые элементы с поверхностью двоякой кривизны получают гибкой в специальных вальцах с валками переменного сечения, выбивкой или штамповкой. Горячую гибку толстого листового металла осуществляют обычно на прессах. При гибке профильного проката и труб используют роликогибочные машины и трубогибочные станки. Применение специальных гибочных станков с индукционным нагревом позволяет сохранять форму поперечного сечения без искажений (рис. 5). Сечения, получаемые продольной гибкой из тонкого листа или полосы (гнутые профили), весьма разнообразны. Возникающая при этом в зоне гиба холодная пластическая деформация может превышать 2%. Помимо типовых профилей, поступающих с металлургических заводов, требуемые сечения можно получать с помощью кромкогибочных станков и на прессах. Увеличение жесткости тонких листов достигают созданием гофр. При гофрировании гибкой поперечные кромки теряют свою плоскую форму, что затрудняет их стыкование между собой. При гофрировании штамповкой, когда выступы на поверхности листов получаются за счет вытяжки, этот недостаток отсутствует, так как кромки листов остаются плоскими.

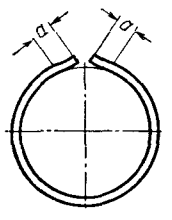


Рис. 4. Обечайка с недовальцованными концами

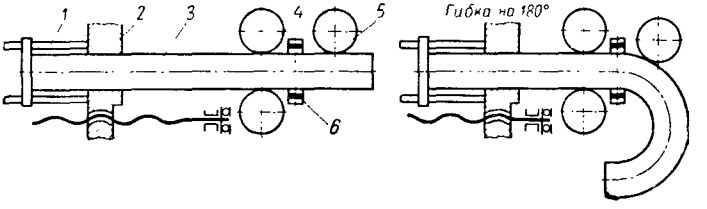


Рис. 5. Схема трубогибочного станка с индукционным подогревом: *1* — подвижный упор; *2* — зажим; *3* — труба; *4* — направляющие ролики; *5* — гибочный ролик; *6* — индуктор

Следует отметить, что заготовка деталей из листа штамповкой обеспечивает высокую производительность процесса и точность формы. Особенно эффективно использование штамповки в крупносерийном и массовом производстве.

Очистку исходного металла, а также заготовок под сварку производят вручную абразивными кругами и щетками, на пескоструйных и дробеструйных установках, химическим путем, а также ультразвуком. Очистка абразивными кругами и щетками малопроизводительна. Очистка на пескоструйных установках более производительна, но сильно загрязняет воздух. Использование металлических частиц вместо сухого кварцевого песка значительно снижает загрязнение воздуха. Этой же цели служит применение смеси песка с водой. Весьма производительной является химическая очистка. Различают метод окунания и струй-

ный метод. В первом случае детали последовательно опускают в ванны с различными растворами и выдерживают в каждом из них определенное время. Во втором случае последовательная подача растворов различного состава на поверхность деталей обеспечивается струйным методом, что позволяет осуществлять непрерывный процесс в механизированной поточной линии. Очистка ультразвуком имеет ограниченное применение при необходимости тщательной очистки деталей сложной формы.

СБОРОЧНО-СВАРОЧНЫЕ ОПЕРАЦИИ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

В условиях индивидуального производства расположение деталей в узле в большинстве случаев задается разметкой, для их закрепления используют струбцины, планки, скобы с клиньями и другие простейшие универсальные приспособления. Применение механизированных приспособлений позволяет повысить производительность труда и улучшить качество сборки. Основой сборочного приспособления является жесткий каркас, несущий упоры, фиксаторы и прижимы. Использование пневматических, гидравлических, электромагнитных или вакуумных прижимов значительно сокращает как основное, так и вспомогательное время сборочной операции, особенно если требуется зажать изделие одновременно в нескольких местах. Типовые устройства для сборки приведены в гл. VIII. Собранный узел должен обладать жесткостью и прочностью, необходимой как при извлечении его из сборочного приспособления и транспортировке к месту сварки, так и для уменьшения сварочных деформаций. Поэтому фиксацию собранных деталей наиболее часто осуществляют на прихватках. Размеры и расположение прихваток выбирают из условий жесткости и прочности, а также из соображений возможности их полной переварки при укладке основных швов. Если же прихватки приходится накладывать в местах, где швы отсутствуют, то после завершения сварки их следует удалить, а поверхность тщательно зачистить. Использование сборочно-сварочных приспособлений позволяет в ряде случаев обходиться без прихваток. Примером такого решения может служить установка для изготовления балок таврового сечения (см. рис. 7) или приспособление для сборки и сварки стыка тонких листов (см. гл. VIII, рис. 36). Требования к величине зазора и точности сборки зависят от метода сварки и типа соединения и рассматриваются в соответствующих разделах справочника, посвященных технологическим процессам сварки и конструированию соединений. Кроме того, эти требования могут зависеть от типа и назначения изделий (судостроение [3], авиастроение и т. д.).

Последовательность выполнения сборочно-сварочных операций может быть различна. Для удобства выполнения тех или иных швов изделие приходится устанавливать в различные положения с помощью позиционеров, вращателей, кантователей, роликовых стендов, манипуляторов и т. д. В сварочных приспособлениях обычно осуществляют также движение сварочной головки относительно изделия или изделия относительно головки.

Эффективность использования сборочно-сварочной оснастки во многом определяется ее соответствием конструкции изделия, принятой технологии изготовления и программе выпуска. Универсальные приспособления общего назначения (см. гл. VIII) используют для сборки и сварки изделий широкой номенклатуры и различных размеров. Они должны изготовляться в централизованном порядке. Специальные приспособления одноцелевого назначения используют для выполнения определенных операций применительно к конкретному изделию. Наиболее часто такие приспособления применяют в условиях крупносерийного и массового производства; их проектирование и изготовление осуществляют в индивидуальном порядке. В мелкосерийном и серийном производстве используют также универсально-сборочные приспособления, собираемые из набора различных конструктивных элементов.

При проектировании приспособления расчеты на прочность и жесткость должны отражать специфику его работы в зависимости от назначения. Для сборочного приспособления необходим учет веса и усилий от прижимов с позиции прочности конструкции и ограничения искажений базовых размеров в пределах заданных допусков. Для сварочного приспособления дополнительно следует учитывать усилия, которые могут возникнуть в результате усадки изделия от сварки. При этом существенными являются требования, предъявляемые к приспособлению в части снижения сварочных деформаций изделия. Если цель уменьшения деформаций не ставится, то следует либо предусмотреть возможность смещения изделия относительно приспособления в процессе сварки и остывания, либо допустить упругую деформацию приспособления совместно с изделием.

Приспособление, предназначенное для снижения сварочных деформаций изделия, должно обладать повышенной жесткостью. При этом надо иметь в виду следующее. Усилия от усадки оказываются настолько большими, что предотвратить продольное и поперечное сокращение за счет жесткости закрепления в приспособлении обычно не удается. Поворот сечений может быть ограничен в более значительной степени. Поэтому основное внимание следует обращать на предотвращение изгиба свариваемого изделия. Из этих соображений можно наметить три характерных случая.

1. Снижение остаточных сварочных деформаций достигается за счет предварительного изгиба свариваемых элементов при закреплении их в приспособлении. Расчет приспособления на прочность и жесткость должен учитывать наличие усилий, необходимых для деформирования закрепляемого изделия.

2. Жесткое закрепление в приспособлении позволяет уменьшить временные деформации главным образом в процессе сборки и частично при сварке. В этом случае расчеты на жесткость и прочность должны выполняться, с учетом моментов от усадочных сил.

3. Жесткое закрепление в приспособлении не только на время сварки и остывания изделия, но и при термической обработке для снятия остаточных напряжений, позволяет уменьшить остаточные деформации изгиба и потери устойчивости. При расчете таких приспособлений в дополнение к сказанному для случая 2 необходима проверка на жесткость в условиях выдержки в печи под действием сил тяжести, когда предел текучести металла оказывается заметно меньшим и происходит ползучесть металла.

При конструктивной разработке приспособлений выбор расположения базовых поверхностей и прижимов должен учитывать поводку изделия от сварки с тем, чтобы после выполнения сборочной или сварочной операции извлечение изделия из приспособления не вызывало затруднений.

БАЛКИ

Наиболее широкое применение находит двутавровый профиль с поясными швами, выполняемыми на автомате под флюсом. При отсутствии листовых заготовок требуемой длины и ширины элементы балки делают составными, причем стыки, как правило, сваривают с двух сторон. Сборка балки должна обеспечить симметрию и взаимную перпендикулярность полок и стенки, прижатие их друг к другу и закрепление прихватками. При использовании сборочных кондукторов прихватку обычно выполняют после зажатия элементов по всей длине балки. На установках с самоходным порталом (см. гл. VIII, рис. 26) зажатие и прихватку осуществляют последовательно от сечения к сечению. Для этого портал подводят к месту начала сборки (обычно это середина балки), включением вертикальных и горизонтальных цилиндров прижимают лист стенки к стеллажу и пояса к стенке балки и в собранном сечении ставят прихватки. Затем прижимы выключают, портал перемещают вдоль балки на шаг прихватки, и операция повторяется.

Наличие или отсутствие ребер жесткости определяется размерами двутавровой балки и характером ее нагружения. Обычно поперечные ребра жесткости устанавливают и приваривают после сварки поясных швов.

Приемы и последовательность выполнения поясных швов балки автоматами под флюсом могут быть различны. Наклоненным электродом (рис. 6, *а*, *б*) можно одновременно сваривать два шва, однако имеется опасность возникновения подреза стенки или полки. Выполнение швов в положении «в лодочку» (рис. 6, *в*) обеспечивает лучшие условия их формирования и проплавления, зато поворачивать изделие приходится после сварки каждого шва. Для этого используют позиционеры-кантователи (см. гл. VIII).

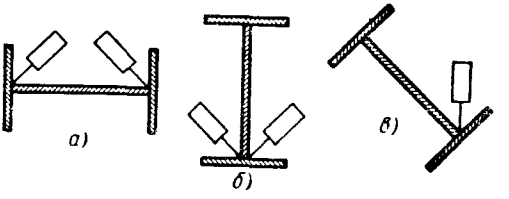


Рис. 6. Приемы выполнения швов двутавровой балки

При использовании подобных универсальных приспособлений вне поточных линий затраты времени на вспомогательные и транспортные операции все же остаются весьма значительными. Поточные методы производства наиболее эффективны при использовании специализированного оборудования. Применительно к изготовлению балок таврового или двутаврового сечения поточные линии могут оснащаться либо автоматизированными установками непрерывного действия, либо специализированными приспособлениями и установками, последовательно выполняющими отдельные операции при условии комплексной механизации всего технологического процесса.

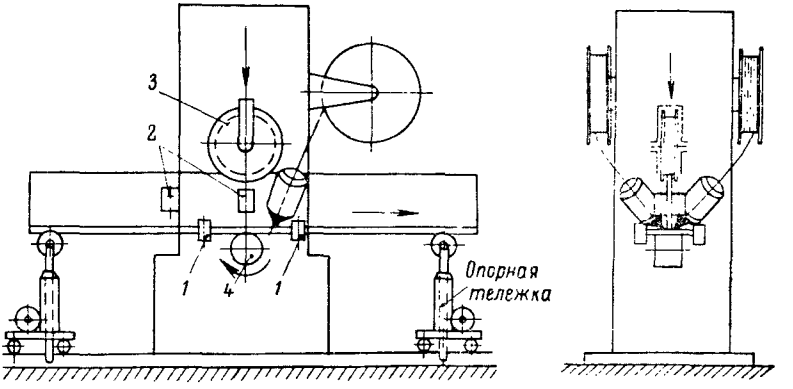


Рис. 7. Схема станка для сборки и сварки балок таврового профиля

Примером установки первого типа может служить станок СТС-138, схематически показанный на рис. 7. Взаимное центрирование заготовок, перемещение со сварочной скоростью и автоматическая сварка под флюсом обоих швов осуществляются одновременно, прижатие стенки тавра к поясу обеспечивается пневматическим цилиндром с помощью нажимного ролика *3*. Центрирование элементов тавра производится четырьмя парами роликов; из них две пары *1* направляют пояс вдоль оси станины, а две другие пары *2* удерживают стенку вертикально и центрируют ее относительно пояса.

Каждая пара роликов имеет устройство для регулирования расстояния между ними в зависимости от ширины пояса и толщины стенки. Движение

свариваемых элементов осуществляется приводным опорным роликом *4*. На этой установке можно сваривать прямые и криволинейные балки таврового сечения высотой 60—600 *мм*, шириной 40—250 *мм*. При повторном пропуске через установку можно приваривать второй пояс для образования двутавровых балок высотой 300—500 *мм*. По такому же принципу работают установки типа Pullmax, выпущенные за рубежом для изготовления сварных балок таврового и двутаврового сечения с высотой стенки 150—1500 *мм* и шириной полок 50—500 *мм*. Листовые заготовки укладывают на рольганг питателя, фиксируют гидравлическими прижимами и сваривают под флюсом при движении через установку со скоростью до 100 *м/ч*. Для дальнейшего развития установок непрерывного действия большое значение приобретает применение сварки током высокой частоты (450 000 *гц*). Так, за рубежом уже используют установки для сварки тавровых, двутавровых и Н-образных профилей высотой до 457 *мм* из свернутых в рулон лент и полос. Подачу полос из трех рулонов осуществляют таким образом, что полки подходят к кромке стенки под некоторым углом (рис. 8). Две пары скользящих контактов обеспечивают протекание сварочного тока вдоль поверхности стыкуемых элементов и через место их контакта под обжимными роликами. Разогрев полки происходит на малую глубину, и поэтому степень осадки невелика. В случае необходимости для полок можно использовать профилированную ленту, имеющую в середине выступ для сварки со стенкой. Скорость сварки достигает 60 *м/мин*. Процесс экономичен и успешно конкурирует с изготовлением прокатных балок.

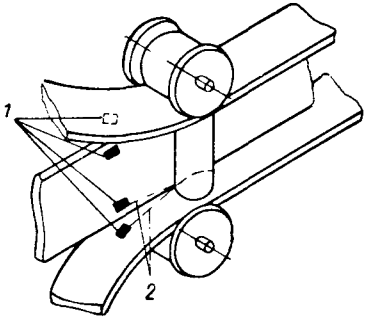


Рис. 8. Схема непрерывного процесса изготовления двутавровых балок из трех полос с помощью сварки током высокой частоты: *1* — токоведущие контакты; *2* — путь тока

Примером поточной линии второго типа может служить производство сварных двутавровых балок на заводе им. Бабушкина в Днепропетровске (рис. 9). Оборудование этой линии позволяет выпускать балки длиной 7,5—12 *м* со стенкой высотой 0,6—2,0 *м* и полками шириной до 600 *мм*.

Со склада металла листы для заготовок стенки балки подают на рольганг *1*. Если по длине стенка составляется из двух листов, то на рольганге *1* производят обрезку торцов, сборку и сварку стыка на флюсовой подушке. Сваренные листы рычажным кантователем *2* перекантовываются на рольганг *3*, где стык проваривается с противоположной стороны. После правки в листоправильных вальцах *4* заготовка стенки ориентируется вдоль оси рольганга *6* магнитными манипуляторами *5* и подается в дисковые ножницы *7*, где расстояние между дисковыми ножами задает проектный размер высоты стенки. При этом прямолинейность реза продольных кромок обеспечивается специальными направляющими. Затем вращающимися проволочными щетками очищают кромки под сварку, и стенка подается в питатель *11*.

Для полок используют полосы универсальной стали, продольные кромки которых обработке не подвергаются. Полосы, длина которых соответствует свариваемой балке, мостовым краном укладывают на рольганг *8*, подают в листоправильную машину *9* для правки плоскости, в районе рольганга *10* подвергают зачистке среднюю часть полки под сварку и краном с электромагнитными захватами переносят в питатель *11*.

В питателе полки двутавра устанавливаются вертикально и вместе с горизонтально расположенной стенкой подаются в специальный сборочный стан *12*. Здесь стенка опускается на плоскую поверхность стола и прижимается к ней включением магнитов. Полки выравниваются до симметричного относительно стенки положения, прижимаются гидравлическими прижимами и прихваты-

ваются. Из сборочного стана собранный двутавр поступает на рольганг *13*, где производится приварка выводных планок в виде тавриков. Затем электромагнитным кантователем *14* балка с поворотом на 180° передается на участок сварки поясных швов, свариваемых последовательно на четырех рабочих местах. Передвижение балки с одного рабочего места на *другое полностью* механизировано с помощью продольных *13* и подъемных поперечных рольгангов *16* и кантователей *14*. Перед сваркой на каждом рабочем месте *15* двутавровая балка устанавливается в положение «в лодочку» и сваривается трехдуговым автоматом под флюсом на скоростях 90—120 *м/ч*. Сваренная балка проходит две последовательно расположенные машины *17* для правки грибовидности полок, два торцефрезерных станка *18* для обработки торцов и поступает на склад готовой продукции.

В рассмотренной поточной линии переналадка оборудования с одного типоразмера балки на другой механизирована и осуществляется оператором непосредственно с пульта управления.

Балки коробчатого сечения широко используют в конструкциях крановых мостов. При значительной длине таких балок полки и стенки составляют из нескольких листовых элементов, свариваемых встык.

Сборка балки начинается с укладки на стеллаж верхнего пояса и расстановки и приварки к нему диафрагм. После приварки диафрагм устанавливают, прижимают и прихватывают боковые стенки (рис. 10, *а*). Затем собранный П-образный профиль кантуют и внутренними угловыми швами стенки приваривают к диафрагмам (рис. 10, *б*). Сборку заканчивают установкой нижнего пояса. Поясные швы сваривают после завершения сборки. Поворот балки в положение «в лодочку» обычно не производят, и сварку ведут наклоненным электродом. Пример поточной линии для изготовления балок коробчатого сечения с поперечным направлением потока и продольным движением оборудования и механизмов относительно изделия показан на рис. 11. Первое рабочее место—сборка и сварка верхнего пояса, установка и прихватка диафрагм. Транспортировка и раскладка листов верхнего пояса на сборочном стенде выполняются специальным самоходным порталом (*см.* гл. VIII, рис. 55), имеющим подъемную траверсу с вакуумными захватами. Сборочный стенд состоит из ряда роликовых опор, между которыми смонтированы магнитные флюсовые подушки, кантующие устройства и выдвижные склизы. Сборка и сварка стыков верхнего пояса выполняется на флюсомагнитных подушках полуавтоматом, затем пояс кантуется и стыки

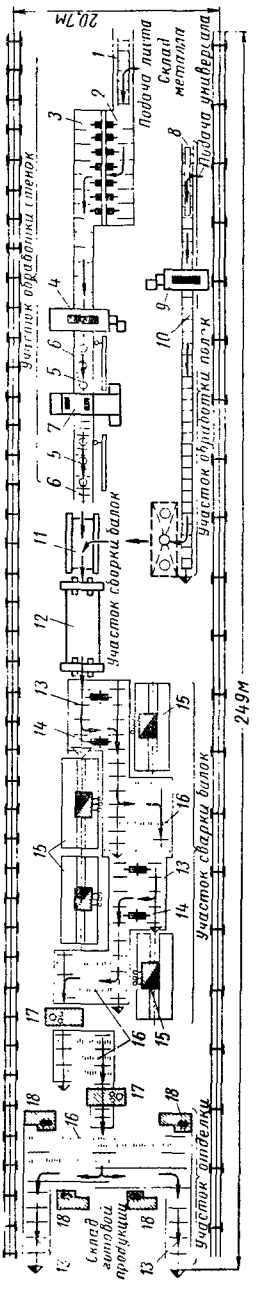


Рис. 9. Схема поточной линии производства сварных двутавровых балок на заводе им. Бабушкина

свариваются с другой стороны. Диафрагмы подают передвижной тележкой, устанавливают на верхнем поясе по разметке и прихватывают. При передаче длинной и широкой «гребенки» (пояс с диафрагмами) с первого стенда на промежуточный стеллаж и со стеллажа на второе рабочее место провисание «гребенки» предотвращается специальными выдвижными склизами. На промежуточном стеллаже диафрагмы приваривают к поясу полуавтоматом под флюсом. Кроме того, этот стеллаж служит компенсатором синхронизации ритма потока между первым и вторым рабочим местом. Второе рабочее место — сборка листов вертикальных стенок и прихватка их к диафрагмам и поясу (рис. 11). Самоходный портал с вакуумными захватами (см. гл. VIII, рис. 56) передвигается вдоль сборочного стенда. Листы стенок захватываются, переносятся и устанавливаются попарно в вертикальном положении. По мере их установки сборка и прихватка осуществляются на этом рабочем месте с помощью второго самоходного портала с пневматическими прижимами (см. гл. VIII, рис. 27). Третье рабочее место — сварка стыковых швов вертикальных стенок изнутри и приварка их к диафрагмам. Это рабочее место состоит из двух стендов. Подача балки со второго рабочего места на третье, кантовка ее и передача на четвертое рабочее место осуществляются специальным четырехкрюковым краном. Наличие второго стенда обеспечивает компенсацию нарушений ритма потока между третьим и четвертым рабочим местами. Четвертое рабочее место состоит из стенда сборки и сварки нижнего пояса, кантователя и стенда для размещения балки. Сборка и сварка нижнего пояса осуществляются так же, как на первом рабочем месте. Затем расположенный между стендами кантователь приподнимает нижний пояс и устанавливает его на балку с одновременной кантовкой на 180°. Для сборки пояса с балкой используют самоходный портал с пневмоцилиндрами. Сварку стыков пояса со второй стороны после установки его на балку производят полуавтоматом. Пятое рабочее место — автоматическая сварка под флюсом поперечных стыковых швов стенок и продольных поясных угловых швов. Подача тракторов к месту сварки поясных швов осуществляется самоходными консолями, перемещающимися вдоль стендов. Консоль имеет механизм подъема, который позволяет устанавливать трактор на балку или убирать его после окончания сварки. Сварка поясных продольных швов выполняется наклоненным электродом при движении трактора непосредственно по балке. При сварке поперечных швов сварочный трактор перемещается по подвесным направляющим, смонтированным на самоходной тележке. Недостатком рассмотренной поточной линии является, во-первых, наращивание боковых стенок отдельными листами, тогда как целесообразнее собирать и сваривать их вне общей сборки балки, а во-вторых, ручная приварка диафрагм к боковым стенкам.

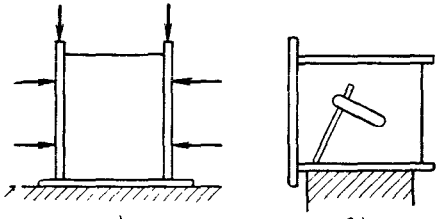


Рис. 10. Схема сборки балки коробчатого сечения

При монтаже конструкций приходится сваривать стыки балок. Типы стыков двутавровых балок показаны на рис. 12. Раздвинутый стык применяют как технологический (рис. 12, *б*), при монтаже обычно используют совмещенный стык (рис. 12, *а*), выполняемый ручной сваркой обмазанным электродом. При этом последовательность сварки стыковых швов поясов и стенки назначают из следующих соображений. Если в первую очередь сварить стыки поясов, то стык стенки придется выполнять в условиях жесткого закрепления, что при неблагоприятных условиях может способствовать образованию трещин в процессе сварки. При другой последовательности, когда стык стенки сваривают первым, в стыках поясов от поперечной усадки возникает высокий уровень остаточных напряжений растяжения, что может снизить усталостную прочность балки при

Рис. 41. Схема поточной линии производства сварных балок коробчатого сечения на Уралмашзаводе

работе на изгиб. С целью облегчения условий сварки стыка участки поясных швов на длине L иногда не доваривают, выполняя их после сварки стыковых швов. Так как поперечная усадка свариваемого последним шва будет в этом случае восприниматься элементом длиной L, то величина остаточных напряжений окажется меньше, чем при жестком закреплении. Однако для элементов, свариваемых в первую очередь, увеличение свободного от закрепления участка L способствует появлению коробления из-за потери устойчивости под напряжением сжатия. Для каждого конкретного случая в зависимости от перечисленных факторов (свариваемости, условий работы стыка балки в конструкции, размеров поперечных сечений элементов и т. д.) оптимальная технология выполнения стыка может быть различной.

Стык, показанный на рис. 12, *в*, применяется сравнительно редко, когда требуется исключить использование ручной сварки. Наличие вставок вертикаль-

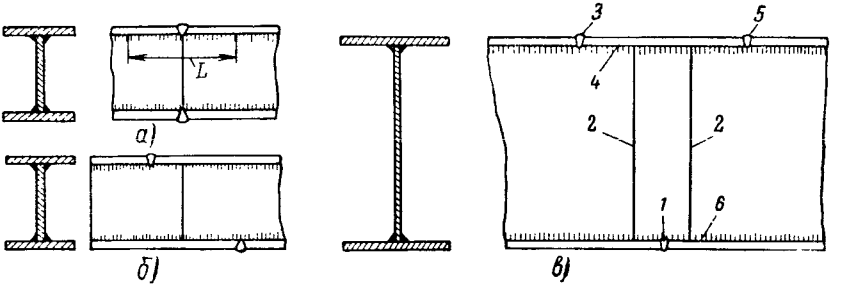


Рис. 12. Типы стыков двутавровых балок

ной стенки и верхнего пояса позволяет выполнять швы под флюсом автоматами, причем пояса свариваются многопроходной сваркой, а стыки стенки - однопроходной с принудительным формированием. Последовательность выполнения швов показана на рис. 12, *в* цифрами. Непосредственное соединение встык дуговой сваркой с полным проплавлением всего сечения сварных или прокатных профильных элементов требует высокой квалификации сварщика и тщательного контроля. При изготовлении конструкций, работающих под статической нагрузкой, такой тип соединений используется не всегда. Часто применяют соединения с накладками, приваренными к соединяемым элементам угловыми швами. Такое соединение технологически проще, хотя и требует дополнительного расхода металла. Для конструкций, работающих под вибрационной нагрузкой, соединения с накладками непригодны.

Иногда монтажные соединения сварных или прокатных профилей собирают на болтах с целью их разборки в случае необходимости. Соединение обычно осуществляется посредством вспомогательных элементов-накладок, совпадение отверстий достигается сверлением по кондуктору. Примером такого соединения может служить монтажный стык концевой балки моста крана. Каждую из заготовок полок и стенок концевой балки составляют из двух частей, соединенных накладками и совместно просверленных по кондуктору. Сваренная из составных заготовок балка поступает на общую сборку. После сварки моста крана прихватки отбивают и обе половины моста разъединяют для транспортировки.

РАМЫ

При изготовлении рамных конструкций существенным является выбор последовательности сборочно-сварочных операций. Полное завершение сборки до начала сварки часто оказывается нецелесообразным. Так, например, для рамы тележки мостового крана более удобно применить поузловую сборку и сварку с последующей общей сборкой, как показано на рис. 13.

Сборочная оснастка весьма разнообразна. В случае малой повторяемости изделий для сборки может эффективно использоваться универсальный сборочный стенд и передвижной портал с пневмозажимами. Перенастройка стенда обеспечивается установкой различных фиксаторов, упоров на его плите.

Для поворота рамных конструкций в удобное для сварки положение используют различные манипуляторы, позиционеры и кантователи (см. гл. VIII). Значительные размеры рам по ширине заставляют принимать специальные меры, облегчающие доступ к месту сварки. Для этой цели используют передвижные подъемные площадки для сварщиков, располагают позиционеры в специальных углублениях с тем, чтобы сварка производилась на уровне пола, применяют наклоняющиеся или подъемно-поворотные устройства. Серийное производство рам с большим выпуском изделий определенного типоразмера имеет место при изготовлении транспортных конструкций (локомотивы, вагоны, автомобили и

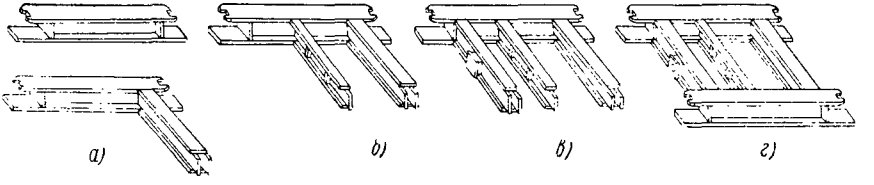


Рис. 13. Схема поузловой сборки рам тележек мостового крана: *а—г* — последовательность сборочно-сварочных операций

т. д.). Наиболее целесообразной формой организации производства в этом случае является механизированная поточная линия, оснащенная специализированной оснасткой.

Так, в начале поточной линии изготовления рамы тепловоза расположен кондуктор-кантователь для сборки и сварки каркаса. После сборки и сварки каркаса рамы обычно проходят еще ряд сборочных и сварочных операций, выполняемых на рабочих местах поточной линии. Для транспортирования подобных крупногабаритных изделий целесообразно использовать тележечный конвейер (рис. 14). Каркас рамы мостовым краном укладывается на выдвижные опоры *7* стоек *4* первой позиции поточной линии. Тележки конвейера *2* с опущенными домкратами *6* расположены на шести исходных позициях (по две тележки на каждую позицию). По окончании операции домкраты тележек поднимают рамы на всех позициях, выдвижные опоры стоек освобождаются и убираются. После этого все тележки с помощью привода *5* тяговым канатом *1* передвигаются по рельсам *3* на одну позицию, опоры ставятся в рабочее положение, домкраты опускаются, и рамы ложатся на стойки. Затем все тележки возвращаются в исходное положение, и начинается следующий цикл. При последовательном прохождении рабочих мест на каркас рамы устанавливают и приваривают верхние и нижние настильные листы, пикворни, обносные швеллеры и другие детали. Поворот рамы на рабочих местах осуществляется подъемно-поворотными кантующими устройствами, сварка выполняется автоматами под флюсом и полуавтоматами в среде углекислого газа.

РЕШЕТЧАТЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Решетчатые конструкции — фермы, мачты, башни и др. изготовляют преимущественно из прокатных элементов; гнутые профили используют пока еще мало. При сборке ферм особое внимание уделяется правильному центрированию стержней в узлах, предотвращающему появление изгибающих моментов, неучтенных расчетом.

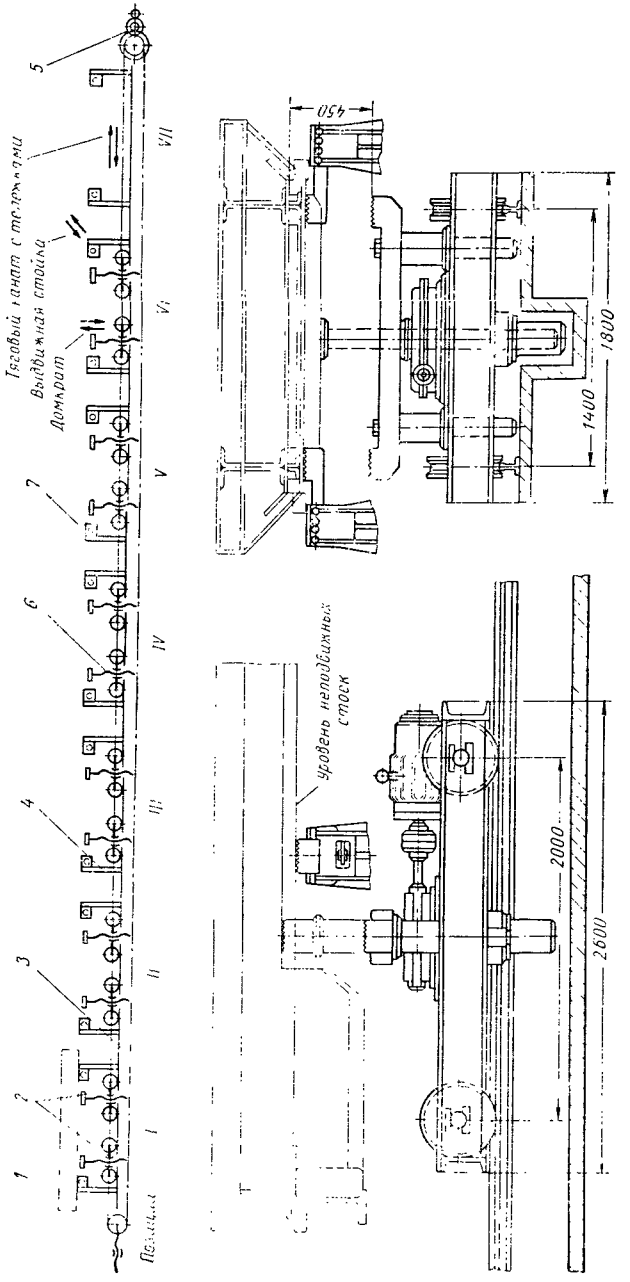


Рис. 14. Тележечный конвейер для крупногабаритных изделий

В условиях большого разнообразия типоразмеров ферм и малого количества одинаковых изделий в серии сборка ферм в инвентарных кондукторах часто оказывается неэффективной. Поэтому весьма распространенным методом сборки

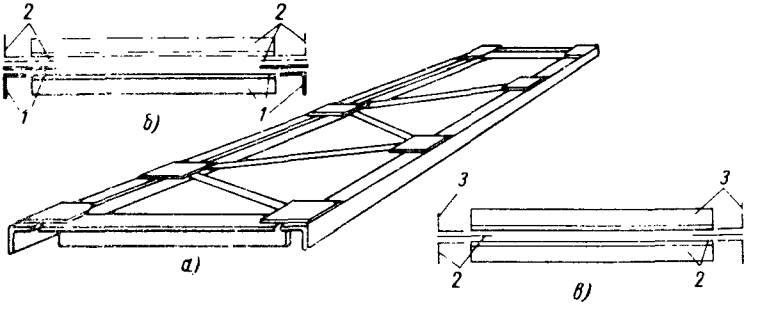


Рис. 15. Схема сборки фермы по копиру

ферм и других решетчатых конструкций является метод копирования. Этот метод заключается в следующем. Первая, собранная по разметке ферма, сечение которой составляют не парные, а одиночные уголки (рис. 15, *а*) закрепляется на стеллаже и служит копиром. При сборке каждой очередной фермы детали *2* раскладывают и совмещают с деталями *1* копирной фермы (рис. 15, *б*). После скрепления деталей *2* прихватками собранную полуферму снимают с копира,

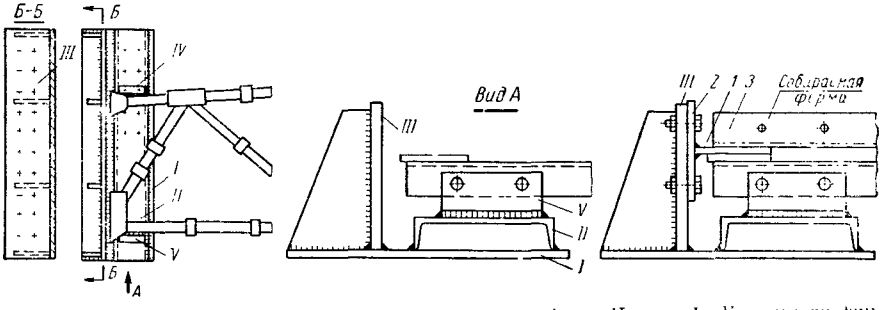


Рис. 16. Копир с фиксаторами для сборки стропильных ферм. Номера *I*—*V* — детали фиксатора, *1*—*3* — детали фермы

укладывают на стеллаже отдельно и ставят на нее недостающие парные уголки *3* (рис. 15, *в*). Когда сборка требуемого количества ферм закончена, на копирную ферму устанавливают парные уголки и отправляют на сварку.

Способ сборки по копиру прост и эффективен, но для получения заданных габаритных размеров и правильного расположения монтажных отверстий требует использования дополнительных фиксаторов, закрепляемых на концах копира (рис. 16). Эти фиксаторы определяют положение деталей с монтажными отверстиями и ограничивают геометрические размеры конструкции в пределах заданных допусков. Сначала устанавливают концевые планки *2*, предварительно сваренные с фасонками *1*. Их правильное положение обеспечивается совмещением монтажных отверстий концевых планок с отверстиями фиксатора. Затем на копире раскладывают все остальные элементы, производят прихватку, ферму снимают с копира, кантуют и дособирают, как описано выше.

Решетчатые конструкции, как правило, имеют короткие швы, различным образом ориентированные в пространстве. Поэтому сварка таких конструкций выполняется обычно вручную, либо полуавтоматом.

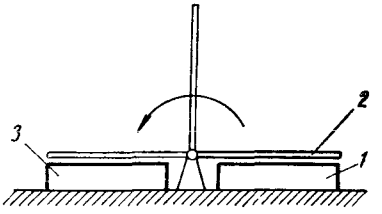


Рис. 17. Приспособление для сборки и сварки ферм

При достаточно большом количестве выпускаемых ферм одного типоразмера становится экономически целесообразным использование более сложной и производительной оснастки. На рис. 17 показана схема приспособления с двумя стендами *1* и *3* и кантующей рамкой *2*. Сборка осуществляется на стенде *1*. Элементы фермы раскладывают по упорам и фиксаторам, одновременно зажимают включением пневмоприжимов и жестко соединяют швами, оказавшимися в нижнем положении. С помощью рамки *2* собранную ферму сначала ставят в вертикальное положение, а затем передают на стенд *3*, причем в каждом из этих положений выполняют соответствующие швы. Сборку следующей фермы на стенде *1* производят одновременно со сваркой на второй и третьей позициях.

При значительных размерах решетчатой конструкции ее изготовляют на заводе по частям и отправляют на место монтажа отдельными секциями. Размеры секций выбирают в зависимости от способа транспортировки, при перевозке по железной дороге исходят из габарита подвижного состава (ГОСТ 9268—59).

На рис. 18 показано расчленение опоры линии электропередачи (ЛЭП). Каждая из секций представляет собой пространственную конструкцию, общей сборке которой обычно предшествует сборка и сварка плоских ферм.

На рис. 19 изображен кондуктор-кантователь для общей сборки средней секции опоры ЛЭП. В подшипниках *2* стоек *1* поворачивается рама, состоящая из двух копирных ферм *3*, соединенных распорками *4*. В поясных уголках копирных ферм предусмотрены отверстия, соответствующие монтажным отверстиям в элементах секции. Пару собранных плоских ферм заводят в кондуктор и укладывают одну внизу, а другую наверху, закрепляя болтами с помощью монтажных отверстий в поясных уголках. Кондуктор поворачивают на 90° и, используя копирную ферму, раскладывают и прихватывают детали третьей плоскости, а после поворота на 180° — четвертой плоскости. Затем кондуктор поворачивают в исходное положение, собранную секцию освобождают от закрепления и извлекают из кондуктора.

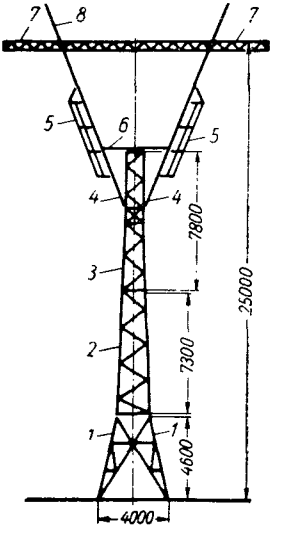


Рис. 18. Схема конструкции опоры линии электропередачи: *1* — нижние элементы опоры; *2* — средняя секция; *3* — верхняя секция; *4* — наклонные стойки; *5* — лестницы; *6* — распорка; *7* — траверса; *8* — тросостойки

При сооружении радиомачт, радиобашен, буровых вышек и ряда других конструкций широко используют трубчатые элементы. По сравнению с изготовлением из профильного проката это во многих случаях позволяет снизить вес конструкции на 25—50%, однако соединение труб в узле как непосредственное, так и с помощью фасонки оказывается весьма трудоемким. Поэтому большой интерес представляет использование в решетчатых конструкциях замкнутых гнутых профилей из листовых сталей. Подобно трубам, такие эле-

менты хорошо работают на сжатие и кручение и, в то же время, при наличии плоских граней их соединение в узлах осуществляется значительно проще.

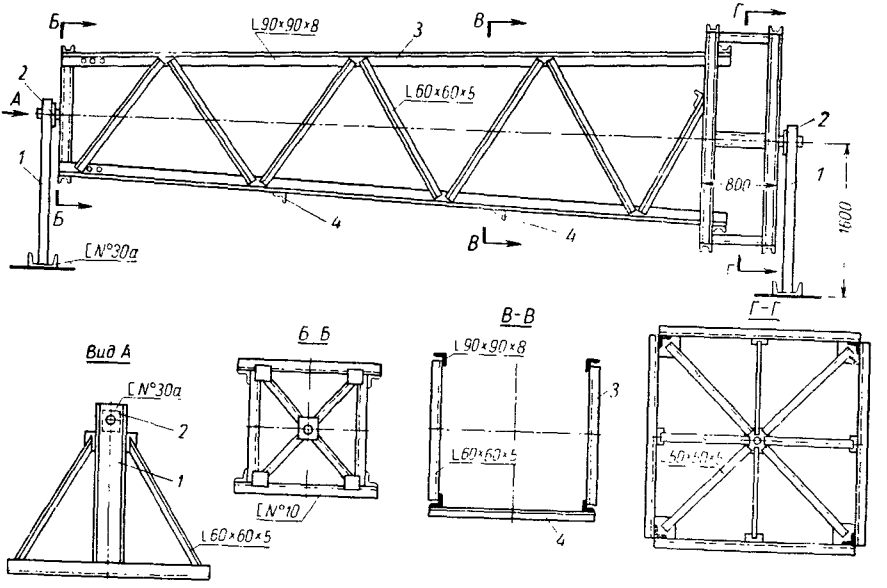


Рис. 19. Кондуктор-кантователь для сборки пространственных решетчатых элементов

Для эффективного использования замкнутых гнутых профилей требуется организация высокопроизводительной сварки продольных швов гнутых элементов и механизированной обрезки их концов.

НЕГАБАРИТНЫЕ ЕМКОСТИ И СООРУЖЕНИЯ

При изготовлении из листов емкостей и сооружений большого размера (резервуары, газгольдеры, воздухонагреватели, корпуса доменных печей, корпуса цементных печей и т. д.) целесообразно возможно больший объем работ выполнять на заводе. Для этого в зависимости от толщины листовых элементов и конструктивных форм изделия используют один из следующих приемов или их совокупность.

Первый прием предусматривает расчленение всей конструкции на узлы больших размеров, изготовление этих узлов на заводе, временное деформирование их для придания транспортных габаритов, доставку к месту монтажа, возвращение узлам требуемой формы и монтаж конструкции с минимальным объемом сборочно-сварочных операций.

Второй прием также предусматривает изготовление элементов в условиях завода, но без временного деформирования. Поэтому раскрой этих элементов должен быть таким, чтобы, во-первых, размеры их не превышали габариты железнодорожного подвижного состава, во-вторых, возможно больший объем работ выполнялся на заводе и, в-третьих, была обеспечена возможность выполнения большинства монтажных соединений с использованием механизированных методов сварки.

К *первому приему* следует отнести **метод рулонирования**, получивший исключительно широкое применение при изготовлении конструкций из листов толщиной до 16 *мм* [5]. Укрупненные сварные заготовки узлов конструкции в виде полотнищ большого размера собирают, сваривают и сворачивают в рулон на специальных установках (рис. 20, *а*). Необходимость сварки с двух сторон предопределяет наличие двух ярусов *1* и *2*, а также поворотного кружала *3* для передачи полотнища с одного яруса на другой с поворотом на 180°. Перемещение полотнищ и его сворачивание обеспечивается рабочим кружалом *4*. На ярусах *1* и *2* расположены четыре рабочих участка: сборки, сварки с одной стороны, сварки с другой стороны, контроля и исправления дефектов. Рулон сворачивают ритмично после завершения работ на каждом из участков. В зависимости от расположения сборочного участка и направления сворачивания полотнища используют три схемы (рис. 20, *б*, *в*, *г*). Установки со сборкой листов на верхнем ярусе (рис. 20, *в*, *г*) имеют определенные преимущества. В этом случае листы на сборку удобно подавать краном, и организация контроля просвечиванием на нижнем ярусе оказывается проще в смысле защиты от облучения. Кроме того, при передаче полотнища с верхнего яруса на нижний корни швов, расположенных поперек полотнища и сваренных только с одной стороны, испытывают напряжения сжатия, а не растяжения, как при передаче полотнища снизу вверх.

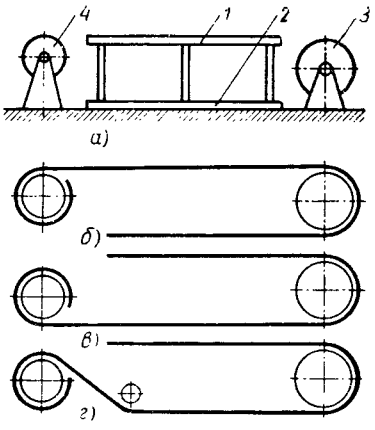


Рис. 20. Схемы двухъярусных стендов для изготовления и сворачивания полотнищ из листов

Размеры свариваемого и сворачиваемого в рулон полотнища определяют из условия рационального членения всей конструкции. Так, боковые стенки вертикальных цилиндрических резервуаров и мокрых газгольдеров могут выполняться из одного или из двух и более полотнищ, в зависимости от размеров емкости, с тем чтобы вес рулона не превышал 40 *т*. Ширина такого полотнища соответствует высоте боковой стенки резервуара, т. е. имеет размер 12 или 16 *м*. Исходя из этого размера, обычно и задают ширину двухъярусной установки для сборки, сварки и сворачивания полотнищ. Днища резервуаров и газгольдеров, диаметр которых превышает 12 *м*, приходится выполнять из нескольких полотнищ. Если вес каждого из этих полотнищ невелик, то их сворачивают в один рулон.

Боковые стенки конструкций башенного типа, например воздухонагревателей, также выполняют из нескольких полотнищ, каждое из которых имеет длину, равную периметру боковой стенки. Ширина рулона в этом случае соответствует высоте монтажного блока и выбирается исходя из грузоподъемности кранового оборудования на монтаже.

Расположение листов в полотнище, их толщина и типы соединений определяются как конструктивными, так и технологическими соображениями. Например, в полотнище боковой стенки вертикального цилиндрического резервуара листы нижних поясов толщиной 7 *мм* и более собирают и сваривают встык, а более тонкие верхние пояса – внахлестку. Это объясняется тем, что соединение тонких листов сваркой под флюсом проще осуществлять внахлестку, причем сворачивание такой нахлестки затруднений не вызывает. При толщине листов 7 *мм* и более нахлестка приобретает заметную жесткость и для сворачивания неудобна. Напротив, стыковое соединение листов такой толщины оказывается приемлемым как с позиции сборки и сварки под флюсом, так и с пози-

ний последующего сворачивания листов в рулон. Из таких же соображений соединения листов полотнищ днища выполняют все внахлестку, а листов полотнищ конструкций башенного типа — встык.

Для сварки встык продольные кромки листов подвергают механической обработке пакетом. Торцовые кромки как при сварке встык, так и при сварке внахлестку обрезают на гильотинных ножницах. Сварку под флюсом осуществляют сварочными тракторами. Первый слой стыковых соединений обычно выполняют либо на флюсомедной подкладке без принудительного прижатия кромок, либо на весу, предусматривая в этом случае в настиле стенда желоба в местах расположения продольных и поперечных швов. Целесообразно использование расщепленного электрода, позволяющего производить сварку стыков с местным зазором до 2—3 *мм*. Сварка стыковых швов с противоположной стороны на другом ярусе стенда обеспечивает надежное проплавление всей толщины листа. Сварка нахлесточных швов производится также трактором, продольные внутренние нахлесточные швы выполняют прерывистыми вручную. На последнем рабочем участке производят контроль качества внешним осмотром и испытание на плотность вакуум-аппаратом. Обнаруженные дефекты уточняют просвечиванием и устраняют.

Полотнище наворачивают на кольца жесткости вспомогательного элемента, закрепляемого в рабочих кружалах сворачивающего устройства. Наворачивание целесообразно производить на каркас, используемый в дальнейшем в качестве конструктивного элемента, например на шахтную лестницу, опорную стойку, монтажную мачту и т. д. Изготовление специальных каркасов, не используемых на монтаже, нежелательно, так как их трудно возвращать на завод-изготовитель.

Изготовление полотнищ большого размера методом сворачивания находит все большее применение и требует совершенствования устройства двухъярусных стендов. На рис. 21 изображена установка, предусматривающая комплексную механизацию процесса изготовления полотнищ, где все соединения собирают и сваривают встык с двух сторон, причем первый слой на флюсомедной подкладке с прижатием кромок рычажными пневмоприжимами.

Монтаж вертикальных цилиндрических резервуаров объемом 5000 $м^3$ из рулонированных элементов выполняют следующим образом. Рулон элементов днища укладывают на подготовленное основание резервуара и раскатывают в последовательности, определяемой расположением элементов в рулоне. Полотнища соединяют между собой внахлестку сварочным трактором под флюсом с одной стороны. Освобожденную от рулона центральную стойку устанавливают в центр днища. Затем у края днища на подкладной лист в вертикальное положение ставят рулон боковой стенки резервуара. По мере разворота кромку рулона, прижимаемую к упорам *4* (рис. 22), прихватывают, крепление троса *1*, *2*, *3* переставляют. Элементы кровли также устанавливают по мере разворота, закрепляя верхнюю кромку развернутой части боковой стенки. Затем заваривают монтажный стык боковой стенки, кольцевой шов, соединяющий боковую стенку с днищем, и швы кровли.

В технологии изготовления цилиндрических резервуаров и мокрых газгольдеров много общего. Отличие в монтаже заключается в том, что на смонтированное днище устанавливают в вертикальное положение сразу все рулоны боковых стенок (корпуса резервуара, телескопа, колокола). Разворачивать рулоны можно последовательно или параллельно.

Использование метода рулонирования при сооружении цилиндрических частей высоких вертикальных конструкций, например, воздухонагревателей, имеет свои особенности. Из-за наличия кольцевых стыков между монтажными блоками требования к точности изготовления рулонов и приемам их разворачивания оказываются более высокими. Все соединения собирают встык, отклонения размеров полотнища по ширине не должно превышать ± 2 *мм* и по длине ± 4 *мм*. Предотвращение местных нарушений кривизны стенки при разворачивании рулонов обеспечивается применением специальной оснастки,

При этом рулон разворачивают либо непосредственно до проектного размера, либо до плоского состояния с последующим наворачиванием на каркас проектного размера. Если в конструкции предусмотрены внутренние кольца жесткости, то второй метод оказывается особенно эффективным, так как позволяет совместить операцию формообразования обечайки с ее сборкой с элементами жесткости. При разворачивании до проектного размера используют специальные

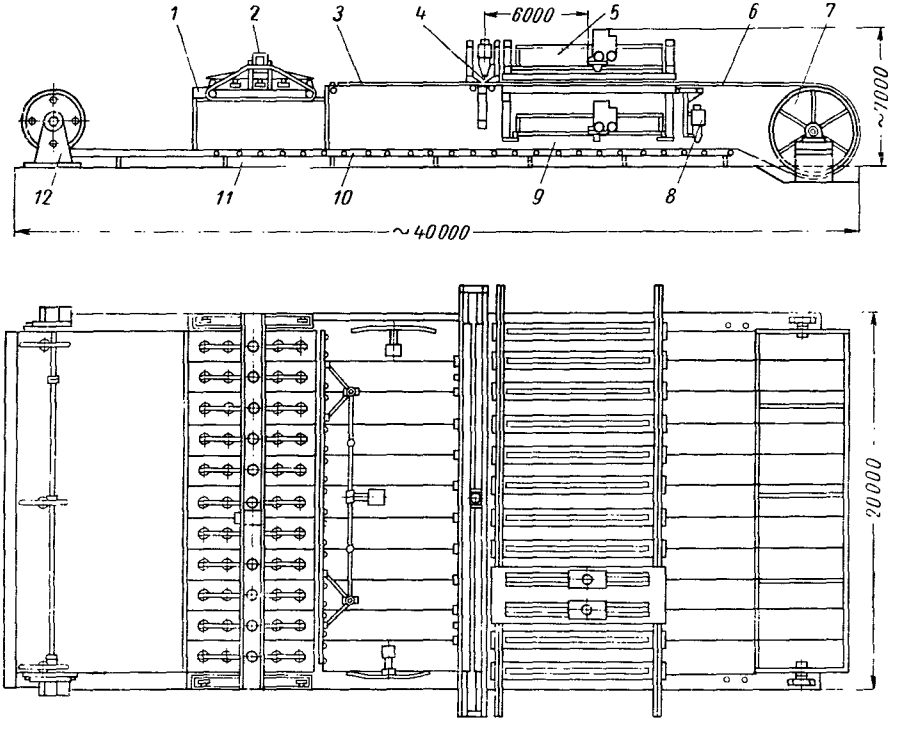


Рис. 21. Схема механизированного стана для изготовления рулонированных листовых конструкций: *1* — контейнер; *2* — самоходная тележка с пневмозахватами; *3* — место сборки секций; *4* — место сварки поперечного шва; *5* — место сварки продольных швов; *6* — место осмотра швов; *7* — направляющий барабан; *8* — место сварки поперечного шва; *9* — место сварки продольных швов; *10* — место контроля и исправления дефектов; *11* — грунтовка полотнища; *12* — сворачивающее устройство

стенды. После заварки замыкающего продольного шва монтажный блок поднимают краном и устанавливают в проектное положение. Сварку кольцевого шва осуществляют с двух сторон, с наружной стороны обечайки — обмазанными электродами вручную, а внутри обечайки — полуавтоматами в углекислом газе.

Для изготовления негабаритных цилиндрических конструкций из листов толщиной более 16—18 мм может оказаться эффективным способ «временного деформирования». Сущность его заключается в следующем. Путем сварки из нескольких листов изготовляют полотнище длиной, равной развертке обечайки. Ширина полотнища ограничивается длиной валков гибочного оборудования, в котором вальцуется обечайка с незаваренным стыком по образующей. Затем за счет создания нахлестки поперечные размеры обечайки уменьшают до раз-

мера, удобного для перевозки на железнодорожных платформах. Принципиальные схемы оснастки для временного деформирования обечаек из листов толщиной 20—40 *мм* показаны на рис. 23. При использовании такого способа особое внимание необходимо уделять предотвращению появления местной пластической деформации, нарушающей кривизну обечайки. Способ временного деформирования панел практическое использование при изготовлении корпусов цементных печей диаметром 4,5—5 *м* и других конструкций подобного типа.

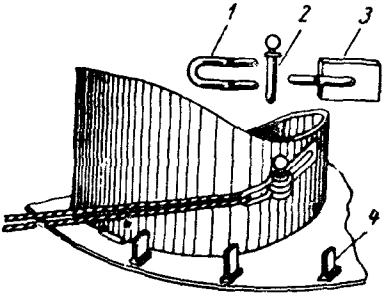


Рис. 22. Схема разворачивания рулона боковой стенки резервуара

Как указывалось выше, второй прием сооружения листовых конструкций большого размера предусматривает изготовление габаритных элементов в условиях завода и механизированную их сварку на монтаже. Примером может служить кровля вертикального цилиндрического резервуара, собираемая из отдельных поставляемых с завода щитов. Порядок сборки щитов следующий. На кондукторе вилотную к ограничителям впритык один к другому выкладывают листы настила *2* (рис. 24, *а*) и соединяют их между собой прихватками. Поверх настила раскладывают элементы *1* каркаса щита: несущую балку, упорный и обрамляющий уголки, ребра жесткости. Все элементы каркаса размещают над незаваренными стыками настила и прихватывают между собой. Настил кровли приваривают к каркасу прерывистыми швами, затем собранный щит снимают с кондуктора и переносят к месту сварки, одновременно кантуя его. Швы настила кровли выполняют автоматической сваркой под флюсом, прожоги листов исключаются тем, что стыки листов настила размещены над

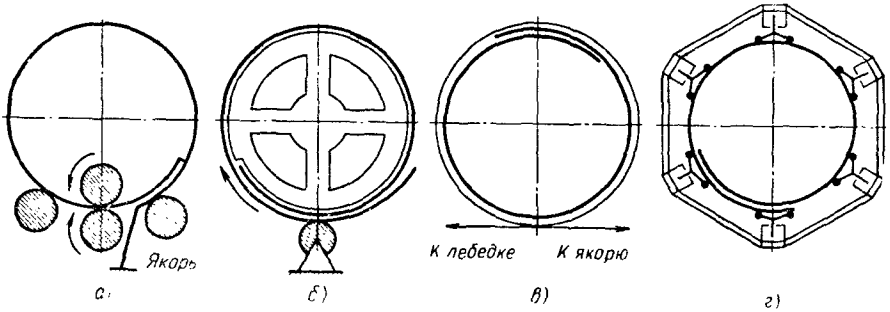


Рис. 23. Принципиальные схемы выполнения временного деформирования: *а* — на четырехвалковых вальцах; *б* — наворачиванием; *в* — петлей троса; *г* — домкратами на стенде

элементами каркаса. Свес настила со стороны одной из радиальных балок каркаса щита облегчает сборку кровли и позволяет выполнять монтажный стык на элементе каркаса соседнего щита (рис. 24, *б*), как на подкладке. В резервуарах большой емкости (10 000 $м^3$ и более) покрытие выполняют либо сферическим из криволинейных щитов с опорой только на корпус, либо из плоских щитов, опирающихся на корпус и несколько внутренних стоек.

Другим примером листовой конструкции большого размера, сооруженной из габаритных листовых элементов, является сферический резервуар объемом 600 $м^3$. Расчленение его на транспортабельные элементы выполняют, во-первых, исходя из технологических возможностей изготовления этих элементов

в условиях завода и, во-вторых, из условия сокращения трудоемкости сборочно-сварочных операций на монтаже. Сферическую поверхность листовым заготовкам придают штамповкой или вальцовкой на специальных гибочных вальцах со сферическими валками. В последнем случае плоскую заготовку сваривают из

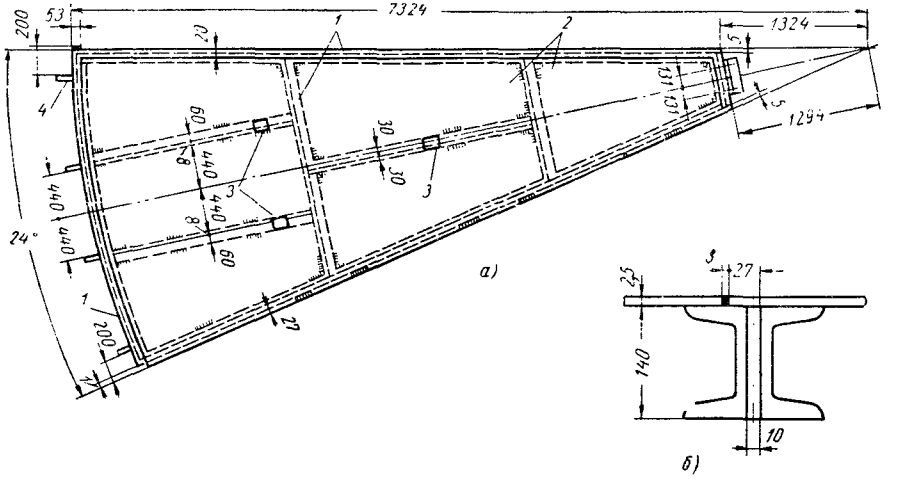


Рис. 24. Щитовая кровля резервуара: *а* — типовой щит кровли: *1* — элементы каркаса; *2* — листы настила кровли; *3* — скобы для подъема; *4* — улавливатель; *б* — конструктивное оформление стыка между щитами

листов, вырезают газовой резкой по копиру и затем вальцуют. Таким способом выполняют элементы раскроя (рис. 25), поставляемые на монтаж в виде 16 лепестков и четырех полудниц. Для предотвращения деформаций при транспортировке лепестки и днища скрепляют между собой скобами в виде пакета с приваркой временных элементов жесткости или укладывают в контейнер. При

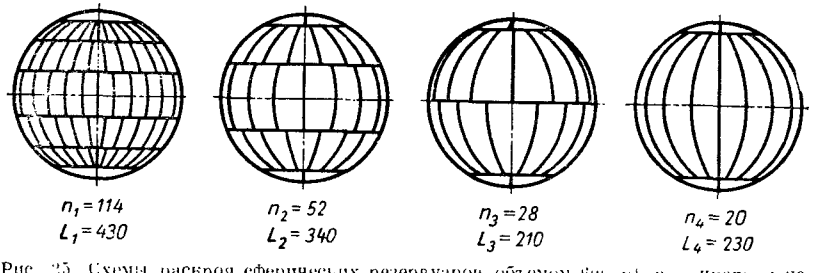


Рис. 25. Схема раскроя сферических резервуаров объемом 600 м³: *n* — число лепестков; *L* — длина швов в м

объеме 600 м³ корпус сферического резервуара обычно монтируют из двух полушарий, предварительно собираемых на стенде-кондукторе.

В зависимости от раскроя приемы сборки полусфер различны. На рис. 26 показана схема сборки полусферы из восьми лепестков и двух полудниц. Временное соединение лепестков осуществляют с помощью инвентарных стяжных приспособлений. Полудница устанавливают в последнюю очередь, подварку

швов производят вручную с наружной стороны. После завершения сборки нижнюю полусферу кантуют и устанавливают на временную опору. На этом же стенде собирают верхнюю полусферу, затем поднимают ее и монтируют на нижнюю. Сборка заканчивается ручной подваркой замыкающего шва.

Другая схема предусматривает сборку всей сферы сразу с помощью вертикальной стойки с закрепленными на ней днищевыми элементами. Автоматическую сварку по ручной подварке выполняют сварочным трактором, который при сварке с внешней стороны располагают вверху на сфере, при сварке внутри — внизу. Горизонтальное положение свариваемого участка шва обеспечивается вращением сферы с помощью специального манипулятора, на который собранную сферу устанавливают с помощью подъемных мачт или стреловых кранов. Последовательность выполнения швов следующая. Сначала сваривают меридиональные швы со стороны разделки кромок в несколько слоев. С другой стороны (внутренней) подварку корня шва производят без вырубки его за счет глубокого проплавления. После меридиональных сваривают широтные и полюсные соединения.

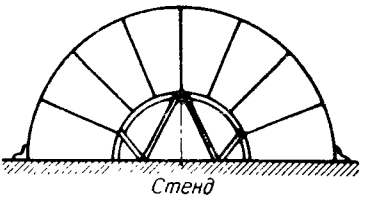


Рис. 26. Схема сборки полушара

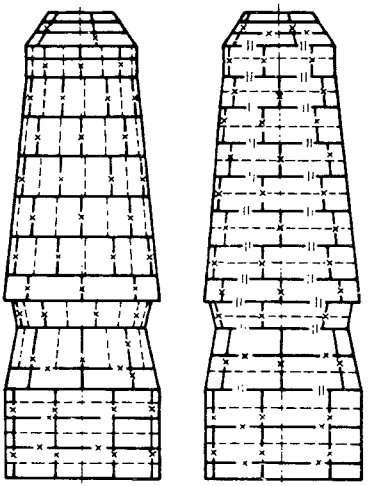


Рис. 27. Схема кожуха доменной печи. Швы, выполненные: — ручной электродуговой сваркой на монтаже; — — автоматической сваркой на заводе; — II — II — газоэлектрической сваркой на монтаже; х —х—х — электрошлаковой сваркой на монтаже

При выполнении сборочных и сварочных работ над резервуаром целесообразно устраивать общее светопрозрачное пленочное покрытие. В этом случае условия работы лучше, чем под открытым небом, облегчается применение сварки в среде защитного газа. В нашей стране опыт сооружения сферических резервуаров пока ограничивается объемом 600 и 2000 $м^3$. За рубежом при сооружении резервуаров значительно больших размеров монтаж обычно осуществляют методом укрупнительной сборки лепестков заводского изготовления в блоки на монтажной площадке и автоматической их сварки под слоем флюса или в среде защитного газа. Монтаж блоков в проектное положение ведется последовательным наращиванием, швы между блоками выполняют в основном ручной сваркой покрытыми электродами.

Наиболее целесообразные схемы расчленения конструкций, подобных кожуху домны (δ до 40 *мм*), показаны на рис. 27, *а*, *б*. Схема на рис. 27, *а* предусматривает укрупнение листов попарно на заводе сваркой под флюсом при расположении листов длинной кромкой вдоль образующей. Если вальцовка листов по длинной кромке затрудняется значительной их толщиной, как это имеет место в нижней части кожуха, или отсутствием листогибочных вальцов с большой длиной валков, то можно использовать раскрой (рис. 27, *б*), при котором попарное укрупнение листов на заводе выполняется при расположении длинной кромки листа в окружном направлении. Горизонтальные швы между монтажными блоками выполняют полуавтоматической сваркой в среде углекислого газа обычно с двусторонней разделкой кромок в несколько слоев

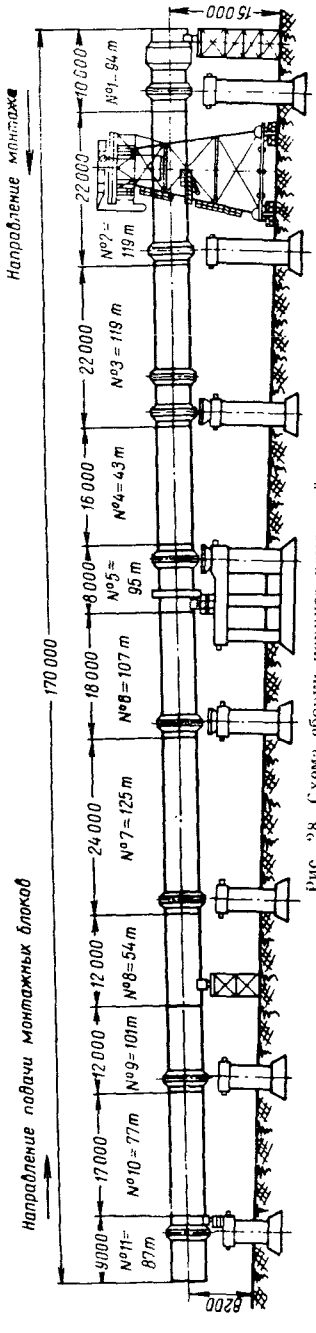


Рис. 28. Схема сборки корпуса цементной печи

(рис. 27, *б*). При выполнении сварки на высоте защита шва из-за ветра может нарушаться. В этом случае разделку с внешней стороны заполняют ручной сваркой, а внутри кожуха — в среде углекислого газа.

Корпус цементной печи собирают и сваривают из листов толщиной 24—60 *мм*. Диаметр его (4,5—5 *м*) позволяет значительный объем сварочных работ выполнять на заводе. Членение конструкции на отдельные транспортабельные элементы определяется прежде всего способом их доставки на место монтажа. При перевозке на обычных железнодорожных платформах обечайки корпуса поставляют частями, в виде сваренных из двух свальцованных листов «четвертинок». Путем временного деформирования незамкнутых по образующей обечаек до диаметра 3700 *мм* (рис. 23) удается перевозить их на обычных платформах по условиям негабаритности II степени. При использовании колодцевых транспортеров по железной дороге можно перевозить обечайки диаметром 4,5—5 *м*, длиной 2000 *мм* целиком. Перевозка таких обечаек большей длины (4000—8000 *мм*) возможна только автотракторным или водным транспортом. В условиях монтажа продольные швы обечаек корпуса сваривают трактором с двух сторон. После сборки отдельных обечаек в блоки кольцевые стыки сваривают на приводном роликовом стенде трактором по ручной подварке или на флюсовой подушке. Бандажи, представляющие собой кольцо со сплошным прямоугольным сечением, на место монтажа могут поставляться либо целиком, либо в виде двух полуколец. Их насаживают на подбандажные обечайки, и укрупненные монтажные элементы устанавливают в проектное положение (рис. 28). После выверки соосности сварку кольцевых швов выполняют сначала однослойным ручным швом, а затем трактором изнутри и снаружи с использованием механизма вращения печи для обеспечения нижнего положения свариваемого шва

СОСУДЫ, РАБОТАЮЩИЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Общим для такого типа конструкций является требование возможно более равномерного распределения напряжений. Это достигают применением соединений встык, плавным сопряжением стыкуемых элементов и обеспечением проплавления на всю их толщину. При рассмотрении вопросов технологии

изготовления сварные сосуды давления целесообразно разделить на три группы: тонкостенные, со стенками из листов средней толщины и толстостенные.

Тонкостенные сосуды обычно являются конструктивными элементами различных транспортных установок, в том числе современных летательных аппаратов. С целью снижения веса таких сосудов для их изготовления часто используют листовые материалы, обладающие высокой удельной прочностью — алюминиевые и магниевые сплавы, стали высокой прочности и сплавы титана. Для соединения тонколистовых элементов встык используют преимущественно сварку в среде защитных газов. Существенное улучшение качества стыковых соединений тонкого металла может быть достигнуто за счет пластического деформирования зоны шва путем прокатки между роликами и последующей термической обработки. Такой прием позволяет осуществить заглаживание усиления шва, устранить депланацию кромок и улучшить механические свойства и структуру сварного соединения. В сосудах типовыми являются прямолинейные, кольцевые и круговые стыковые швы. Приемы выполнения каждого из них имеют свои особенности, разнообразна и применяемая оснастка.

Сборку и сварку прямолинейных швов тонкостенных сосудов рекомендуется производить с помощью зажимных приспособлений клавишного типа без прихватки, обеспечивающих равномерное и плотное прижатие кромок к подкладке. При сварке тонколистовых элементов из жаропрочных и нержавеющих сталей используют медные подкладки, а при сварке высокопрочных сталей и алюминиевых сплавов — стальные. Усилие зажатия обычно составляет 30—70 *кг* на 1 *пог. см* шва и создается гидравлическим или пневматическим устройством (см. гл. VIII).

Деформации тонкостенных обечаек от продольных швов можно устранить прокаткой соединений роликами (см. гл. V).

Кольцевые стыки тонкостенных обечаек собирают и сваривают обычно на подкладках разжимных колец. Такой прием имеет определенные недостатки, так как не препятствует перемещению кромок наружу, подогрев кромок впереди сварочной дуги заставляет их расширяться и отходить от подкладного кольца в радиальном направлении, что нередко приводит к возникновению депланации кромок. В тонкостенных сосудах, работающих под давлением, такое смещение кромок может оказаться опасным для прочности концентратором. Эффективным средством предотвращения смещений является прижатие кромок к подкладке роликом (см. гл. V). Помимо сварки на подкладном кольце, можно использовать схему, при которой зона кольцевого шва охватывается снаружи жестким бандажом, а сварка стыка выполняется изнутри обечайки. В этом случае напряжения сжатия, возникающие в зоне нагрева, стремясь увеличить длину свободной кромки стыка, прижимают ее к наружному бандажу, исключая возможность образования смещений и вспучивания.

Элементы арматуры (фланцы, штуцеры) вваривают в стенки сосудов с помощью круговых швов, которые выполняют встык на подкладке с канавкой. Требования к сборочно-сварочной оснастке и конструктивному оформлению стыка определяются необходимостью плотного прижатия кромок к подкладке, предотвращения их перемещения в процессе выполнения кругового шва и устранения сварочных деформаций, вызывающих искажение формы оболочки. При небольших размерах сосуда или элемента, в которые вваривают деталь арматуры, сварку кругового шва целесообразно осуществлять неподвижной сварочной головкой, вращая приспособление. В узлах значительных размеров круговой шов более удобно выполнять перемещающейся сварочной головкой при неподвижном изделии.

Сосуды со стенками из листов *средней толщины* (до 40 *мм*) из малоуглеродистых и низколегированных сталей изготовляют преимущественно с помощью автоматической сварки под флюсом. Сосуды, работающие в агрессивных средах, изготовляют из хромоникелевых и хромистых сталей, цветных металлов и их сплавов автоматической сваркой под флюсом и по слою флюса

полуоткрытой дугой (алюминиевые сплавы), а также аргоно-дуговой сваркой. Необходимость экономии дорогостоящих и дефицитных материалов заставляет расширять применение двухслойных листов. При выполнении сварных соединений двухслойных сталей обеспечение коррозионной стойкости и пластичности шва достигается за счет раздельного плавления углеродистой стали и металла защитного слоя и использования для каждого из слоев различных присадочных материалов и приемов сварки. Сварка всего стыка автоматом требует точной сборки и высокой культуры выполнения сварного соединения. Поэтому более часто при сварке двухслойной стали автомат используют только для основного слоя, а плакированный сваривают вручную.

Сосуды из листов средней толщины наиболее часто имеют цилиндрическую форму. По длине сосуд составляется из нескольких обечаек и двух полусферических или эллиптических днищ. В зависимости от диаметра сосуда каждую обечайку либо вальцуют из целого листа, либо составляют из нескольких листов. В последнем случае нередко встык сваривают плоские листы и вальцовке подвергают сварную карту при расположении швов вдоль образующей. Днища либо сваривают из отдельных штампованных лепестков, либо штампуют из целого листа или из сварной заготовки. Сборку и сварку цилиндрической части сосуда производят на роликовом стенде. Продольный стык обечайки собирают на прихватках с помощью стяжных приспособлений (см. гл. VIII, рис. 23). Сборка кольцевого стыка между обечайками является более трудоемкой операцией. Для ее механизации целесообразно использовать установку, изображенную в гл. VIII на рис. 24. Сварку продольных и кольцевых швов сосудов со средней толщиной стенки выполняют, как правило, с двух сторон. Укладка первого слоя на весу требует тщательной сборки и ограничения зазора по всей длине шва. Поэтому роликовые стенды обычно оборудуют флюсовыми подушками, позволяющими производить сварку первого слоя шва без ограничения зазора в стыке. Такие флюсовые подушки удобно монтировать на тележках (см. гл. VIII, рис. 39), предусматривая между роликами стенда рельсовый путь для их передвижения к свариваемому стыку. После выполнения первого слоя изнутри обечайки на флюсовой подушке второй слой сваривают снаружи по ранее уложенному первому с полным проплавлением всей толщины стенки. При толщине стенки сосуда более 25 *мм* автоматическую сварку под флюсом обычно производят в несколько слоев. При сборке цилиндрических обечаек с днищами целесообразно использовать центрирующие устройства. Сварку этих кольцевых стыков выполняют так же, как и стыков между обечайками.

В серийном производстве сосудов используют поточные методы производства. Примером может служить изготовление котлов железнодорожных цистерн из стали Ст.3 на Ждановском заводе тяжелого машиностроения [1]. Цилиндрическую часть котла составляют из четырех листов 9280 × 1680 × 9 *мм* и одного листа 9280 × 2100 × 11 *мм*. На сборочном стенде листы собирают встык на прихватках с постановкой заходных и выходных планок. Собранное полотнище поднимается системой роликов, а затем транспортирующим устройством подается на стенд для сварки, где оно собранными стыками ложится на флюсовые подушки. Кромки прижимаются пневмоцилиндрами, расположенными на двух поперечных балках-порталах. Эти же балки служат направляющими для четырех сварочных головок, предназначенных для одновременной сварки всех швов полотнища. По окончании сварки полотнище передается на кантователь, переворачивается и поступает на вторую сварочную установку для одновременной сварки четырех стыков с другой стороны. Далее полотнище перемещается рольгангом в 10-метровые гибочные вальцы, где вальцуется вдоль швов в обечайку диаметром 2800 *мм* без предварительной подгибки кромок. Свальцованная обечайка мостовым краном переносится в сборочный станель, где стягивают и прихватывают кромки продольного стыка, а затем подается в установку для сварки и поворачивается так, чтобы продольный стык оказался в нижнем положении. Первый слой выполняется изнутри обечайки на флюсовой подушке, а второй снаружи после разворота обечайки. Сваренная обечайка поступает

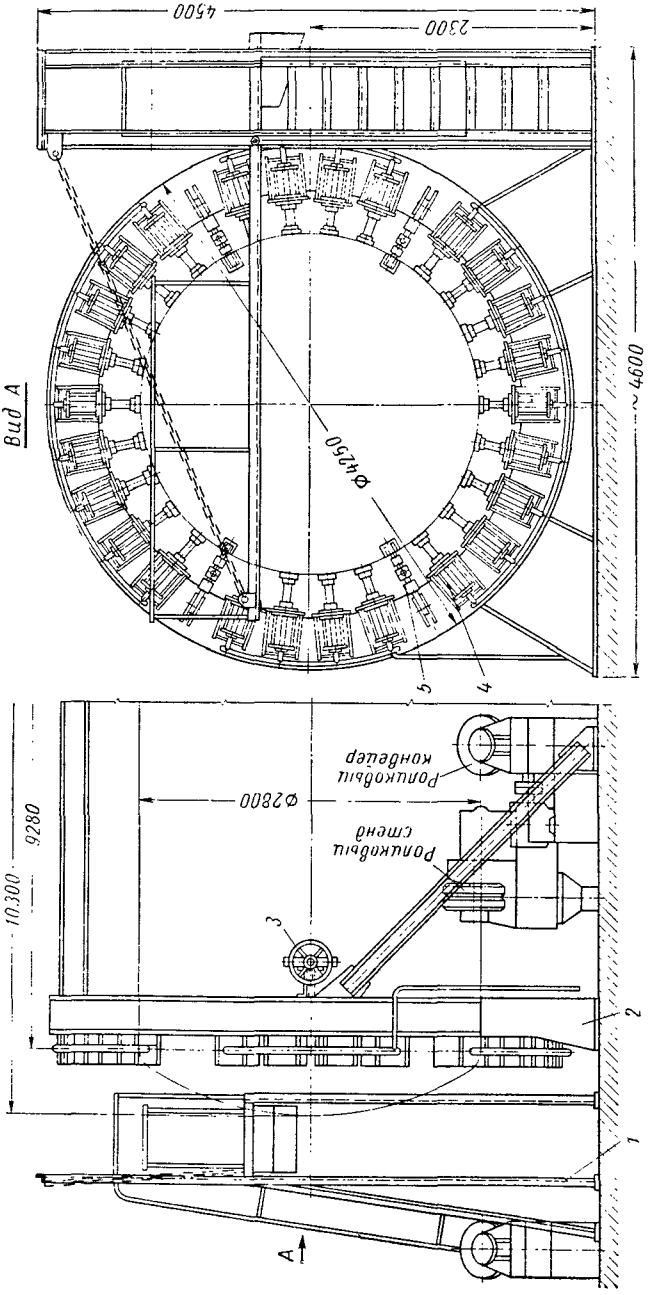


Рис. 29. Установка для сборки днищ с обечайкой

в гибочные вальцы для калибровки, а затем устанавливается на роликовый конвейер и попадает на место сборки с днищами (рис. 29), оборудованное двумя центраторами 2 с откидными рабочими площадками 1. К зажатой боковыми домкратами 3 обечайке подводятся подвешенные на специальных захватах днища и прижимаются четырьмя откидными винтовыми прижимами 5. Выравнивание кромок перед прихваткой осуществляется с помощью 26 радиальных пневматических цилиндров 4, расположенных на каждом центраторе. После прихватки

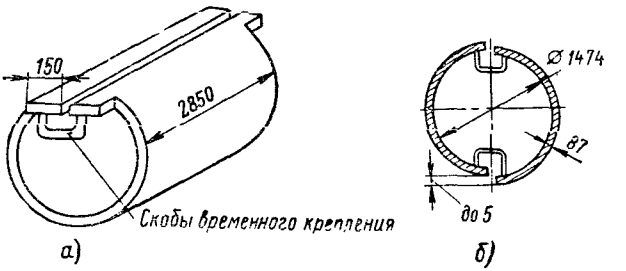


Рис. 30. Схемы сборки толстостенных обечаек

обечайка освобождается от закрепления и передается конвейером на стенд для сварки изнутри, оборудованный двумя флюсоременными подушками. Изготовление цилиндрической части котла завершается на стенде сварки наружных швов с двумя сварочными головками, расположенными на поворотных консолях. На каждом из этих двух рабочих мест вращение обечайки со сварочной скоростью обеспечивается с помощью подъемных поперечных роликоопор, приподнимающих обечайку над роликами конвейера.

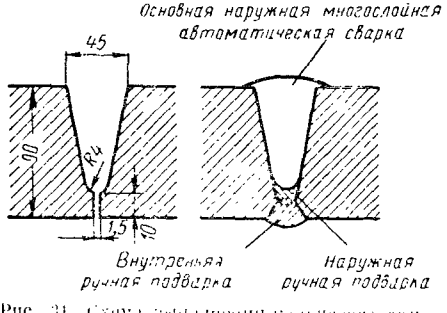


Рис. 31. Схема выполнения кольцевого стыка обечаек многослойным швом

При изготовлении толстостенных сосудов (толщина свыше 40—60 *мм*) наиболее эффективным оказывается способ электрошлаковой сварки, позволяющий получить надежное проплавление всего сечения за один проход. Продольные швы толстостенных обечаек, как правило, выполняют электрошлаковой сваркой. В зависимости от размеров сосуда и имеющегося в наличии гибочного оборудования листовую заготовку гнут в нагретом состоянии вдоль длинной или вдоль короткой кромки листа. В первом случае уменьшается количество более трудоемких кольцевых швов в сосуде, а во втором — менее трудоемких — продольных. На рис. 30, *а, б* показаны сечения обечаек с одним и двумя продольными стыками, величина зазора фиксируется приваркой скоб. Если обечайку после сварки продольных швов необходимо править, ее нагревают до 1000—1050° С, а охлаждение на воздухе при калибровке используют одновременно для осуществления процесса нормализации.

Кольцевые швы выполняют многослойными сваркой под флюсом или электрошлаковой сваркой в один проход. Полное проплавление при многослойной сварке обеспечивают укладкой в разделку нескольких подварочных слоев с внешней стороны (рис. 31), зачисткой корня шва с помощью пневматического

зубила или резака и наложением внутреннего подварочного шва. После этого производят многослойное заполнение внешней разделки.

Сборка кольцевого шва под электрошлаковую сварку должна быть достаточно точной, так как местная депланация криволинейных кромок стыка свыше 3 *мм* может привести к нарушению уплотнения и вытеканию шлаковой ванны. Поэтому сборке обычно предшествует проточка внешней и внутренней поверхности обечаек у кромок на ширине 70—100 *мм* от торца. Собирают стык при помощи планок, которые устанавливают «на ребро» поперек кольцевого шва и приваривают к поверхности обечаек. Если в качестве внутреннего формирующего устройства используют медные охлаждаемые подкладки, изогнутые по радиусу свариваемого изделия (см. гл. VIII), то внутри обечайки дополнительно устанавливают скобы временного крепления. Внутренний ползун применяют тогда, когда допускает форма изделия, в этом случае внутренних скоб не ставят.

При изготовлении барабанов котлов, сосудов высокого давления и реакторов большое значение придают термообработке. Окончательная термообработка полностью сваренного сосуда часто ограничивается высоким отпуском. При приварке днищ электрошлаковой сваркой иногда требуется нормализация для улучшения структуры зоны шва. В этом случае возникает опасность, что при нагреве до столь высоких температур (900—1000° С) могут возникнуть деформации от собственного веса, искажающие форму сосуда. Предотвратить эти деформации можно путем предварительной герметизации готового сосуда и создания в нем избыточного внутреннего давления углекислого газа 2—3 *кГ/см*^{2}. Такое мероприятие не только сохраняет форму сосуда, но и предотвращает образование окалины на его внутренней поверхности. Для термообработки обычно используют печи большого размера. Если сосуд не может быть подвергнут термообработке целиком из-за отсутствия печи требуемого размера или из-за необходимости выполнения монтажных стыков, то применяют местную или общую термообработку с использованием индукционных или иных нагревателей.

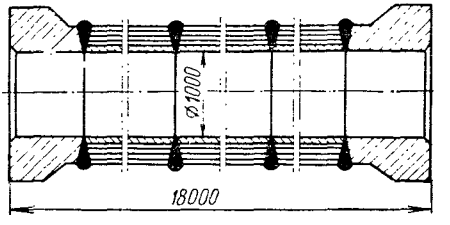


Рис. 32. Схема конструкции многослойного сосуда

При изготовлении толстостенных сосудов из двухслойных сталей основной слой сваривают электрошлаковой сваркой. Наплавку коррозионно-стойкого сплава производят только после термообработки сваренного узла и контроля. Сосуды, предназначенные для работы при очень высоком давлении, целесообразно выполнять многослойными. За рубежом такие сосуды изготовляют для давления до 2000 *кГ/см*^{2} и выше. При этом путем предварительного натяжения каждого слоя стремятся создать такое распределение напряжений, которое при рабочем нагружении сосуда внутренним давлением обеспечит равномерную работу всех слоев. Конструктивное оформление таких сосудов и способы создания начальных напряжений при изготовлении многослойных обечаек могут быть различны. Один из способов предусматривает изготовление центральной обечайки толщиной 25—30 *мм*, приварку к ней края стальной ленты, навивку ленты на обечайку в несколько слоев с натяжением и закреплением свободного конца ленты к корпусу продольным швом. Многослойные обечайки сваривают между собой встык кольцевыми швами, к обоим концам цилиндрической части сосуда приваривают днища или кованые фланцы для крепления крышек (рис. 32). Для сохранения полезных предварительных напряжений, созданных за счет натяга или механической обтяжки слоев и усадки от продольных и кольцевых швов, многослойные сосуды после сварки термообработке не подвергают.

СВАРНЫЕ ТРУБЫ

Трубы для магистральных трубопроводов выполняют с помощью дуговой сварки под флюсом, швы располагают либо по образующей, либо по спирали. При прямом шве формовка заготовки штамповкой в прессах позволяет выпускать трубы большей длины (12 *м*), чем формовка гибкой в вальцах. Трубу диаметром до 820 *мм* сваривают одним продольным швом, а при диаметре более 820 *мм* — двумя.

На Челябинском трубном заводе заготовительные операции выполняют в поточных линиях, работающих в автоматическом цикле [6]. Листоукладчик захватывает листы и по одному подает их на рольганг, направляющий их сначала в правильную многовалковую машину, а затем в кромкострогальный станок. Одновременная обработка обеих кромок листа до проектного размера со снятием фасок происходит при движении листа через станок. Операции фор-

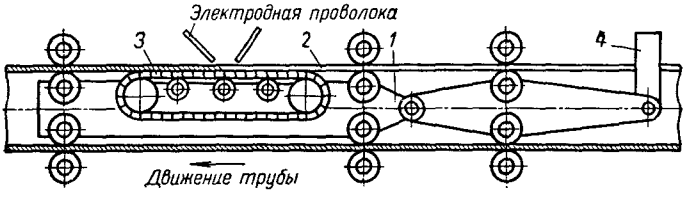


Рис. 33. Схема сварки наружного шва трубы на стане проходного типа

мовки выполняют на трех рабочих местах, где сначала в валковом стане осуществляют подгибку кромок, а затем на двух прессах последовательно производят предварительную гибочную операцию и окончательную формовку заготовки.

Сварку прямошовных труб выполняют с двух сторон, причем наружный шов укладывают первым на стане проходного типа. Заготовки труб поступают на приемный рольганг, где подъемными кантующими роликами разворачивают разъемом вверх по оси направляющего ножа (рис. 33). При подаче в стан трубная заготовка надвигается на оправку *1*, подвешенную к направляющему ножу *4* и опирающуюся роликами на внутреннюю поверхность трубы *2*. Движение трубы через стан со сварочной скоростью обеспечивается приводными горизонтальными валками стана, причем щель между кромками по мере продвижения заготовки выбирается за счет бокового давления вертикальных неприводных валков и в зоне сварки зазор отсутствует. Вытекание сварочной ванны предотвращается установленным на раме оправки *1* гусеничным башмаком *3* (см. гл. VIII, рис. 37). Сварка под флюсом производится двумя дугами, горящими в одной сварочной ванне, что обеспечивает хорошее формирование шва при скорости сварки 170—190 *м/ч* для стенок толщиной 7 *мм* и 115—135 *м/ч* для стенок толщиной 12 *мм*. Для уменьшения размеров кратера концевые участки швов длиной 150—200 *мм* выполняют одной дугой с одновременным снижением скорости сварки. Потери на обрезку концов труб в этом случае невелики.

К установке для сварки внутреннего шва труба поступает по рольгангу и подается внутрь подвижных люлек, поднимающих и поворачивающих трубу швом вниз. Люльки смонтированы на подвижной тележке, с помощью которой труба со скоростью сварки надвигается на сварочную головку, прикрепленную к штанге длиной 12 *м*. Контроль за направлением электродов по оси шва производится сварщиком по разогретому участку наружного шва под сварочной ванной при помощи зеркала. После осмотра и устранения дефектов труб их обрезают, торцуют, и на длине 300 *мм* снимают усиление шва. Калибровку, раздачу и гидроиспытание производят в прессе-расширителе (экспандере). Для

этого трубу *1* (рис. 34) заключают в толстостенную матрицу *2* и в нее вводят конусные заглушки, уплотняющие и калибрующие ее концы. Внутренним гидравлическим давлением создается раздача порядка 1,0—1,2%, чем достигается правка трубы по всей длине и калибровка по диаметру. Затем давление снижают до испытательного и дают выдержку при этом давлении около 30 *сек* с одновременным обстукиванием трубы молотками.

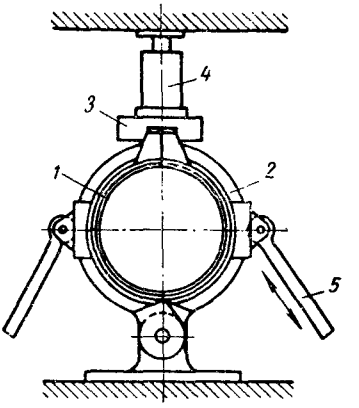


Рис. 34. Схема пресса-расширителя: *1* — труба; *2* — матрица; *3* — замок; *4* — гидравлический домкрат; *5* — тяга

Трубы с двумя продольными швами собирают из двух предварительно отформованных корыт, подаваемых укладчиком на две параллельные нитки входных рольгангов сборочного устройства. Кромки заготовок выравнивающим приспособлением устанавливаются в одной горизонтальной плоскости, и в таком положении корыта рольгангами подаются в раскрытое сборочное устройство (рис. 35, *а*). Штоки пневмоцилиндров *1* (рис. 35, *б*), поворачивая рычаги *2*, устанавливают заготовки в исходное для подачи в сварочный стан положение, образуя цилиндрическую трубу с вертикальным разъемом, задаваемым деталями *3* и *4*. Подача собранной трубы в сварочный стан осуществляется упором цепного заталкивателя со скоростью, несколько превышающей скорость сварки. При этом направляющий нож непрерывного стана для сварки первого наружного шва попадает в зазор между верхними кромками корыт, направляя стык под сварочную головку. Доведя трубу до положения, в котором она захватывается горизонтальными приводными валками сварочного стана, цепной заталкиватель выключается, а затем возвращается в исходное положение. Сваренная первым наружным швом заготовка поворачивается разъемом вверх и по рольгангу поступает на стан для сварки второго наружного шва. Так же последовательно один за другим выполняются и оба внутренних шва, приемы их выполнения такие же, как и для труб с одним швом.

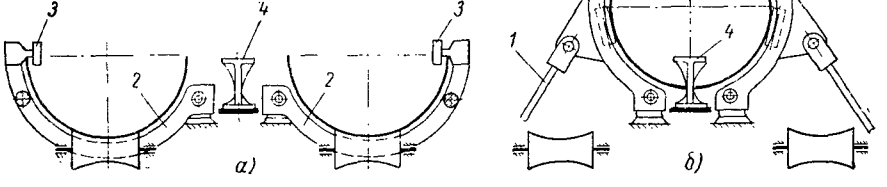


Рис. 35. Устройство для сборки трубы из двух корыт

Трубы со спиральным швом можно изготовлять из относительно узкой и дешевой полосы, прокатываемой на непрерывных станах. Этот метод позволяет получать тонкостенные трубы с отношением диаметра к толщине стенки свыше 100 и обеспечением требуемой точности размеров и формы без специальных операций правки и калибровки. На рис. 36 изображена схема стана Ждановского завода им. Ильича, предназначенного для выпуска газопроводных труб со спиральным швом диаметром 720—1020 *мм*, толщиной стенки 6—12 *мм* и длиной 8—24 *м*. Полоса подается к стану в виде рулонов весом 6—8 *т*. После

отгиба конца полосы и задачи ее в многовалковые правильные вальцы *2* разматывание рулона *1* осуществляется со скоростью, превышающей скорость сварки. Этим достигается накапливание полосы в компенсационной петле *5*, необходимое для обеспечения непрерывной работы сварочного участка. Концы полосы обрезаются гильотинными ножницами *3*, сварка производится под флюсом на флюсомедной подкладке *4*. Дальнейшие операции после компенсационной петли осуществляются со сварочной скоростью, создаваемой задающим станом. Полоса протягивается через парные дисковые ножи *6*, обрезающие продольные кромки под сварку. Настройка стана для получения требуемого диаметра трубы достигается разворотом формовочной машины и выходного моста, перемещающихся на катках по криволинейным рельсовым путям. Сворачивание в трубу осуществляется подающей машиной *7* заталкиванием полосы во втулочно-роликовое устройство формовочной машины *8* снизу. Спиральный шов выполняется сваркой под флюсом тремя сварочными головками. Две из них закреплены на общей штанге *9*, вводимой внутрь трубы, третья головка *10* расположена снаружи. Первый внутренний шов, приваривающий к сформованной трубе кромку полосы

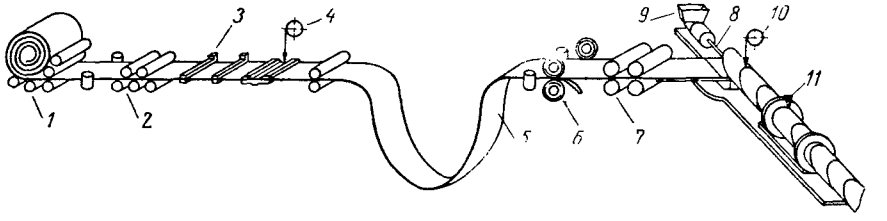


Рис. 36. Схема стана для изготовления труб из ленты спиральным швом

в момент ее захода в формовочную улитку, имеет малое сечение и является технологическим. Его назначение — устранить возможность взаимного перемещения кромок и предотвратить вытекание сварочной ванны при сварке наружного рабочего шва. Внутренний рабочий шов варит двухэлектродная головка, обеспечивая хорошее формирование и полный переплав технологического шва. Такая технология позволяет гарантировать отсутствие кристаллизационных трещин при сварке низколегированных сталей типа 15Г2С до скоростей порядка 110 *м/ч*. Выходящая из стана непрерывная труба подвергается ацетилено-кислородной резке *11* на трубы мерной длины. Требуемый допуск на диаметр (±4 *мм*) и кривизну (не более 1,5 *мм* на 1 *м*) для труб диаметром 1020 *мм* обеспечивается такой технологией без последующей калибровки.

Широко применяемым и производительным способом изготовления труб средних и малых диаметров из углеродистых хорошо свариваемых сталей с содержанием углерода не более 0,4% является сварка сопротивлением. В СССР этот вид сварки применяют для труб диаметром до 152 *мм*, осуществляя непрерывный процесс в полностью механизированных поточных линиях. Из рулона лента разматывается, наращивается, формуется и, проходя сварочный узел, сваривается с помощью вращающегося трансформатора с дисковыми электродами. В зависимости от частоты переменного тока (50—250 *гц*) и толщины стенки трубы максимальная скорость сварки может быть 10—60 *м/мин*.

При использовании тока высокой частоты (до 450 *кгц*) контактной сваркой сопротивлением можно изготовлять трубы из легированных и нержавеющих сталей, а также из алюминия, меди и их сплавов. Токоподвод осуществляется контактами, скользящими вдоль кромок трубы перед местом сварки. Несмотря на высокую производительность (скорость сварки достигает 120 *м/мин*), этот метод для изготовления труб ответственного назначения еще не получил широкого распространения из-за трудности контроля качества.

Индукционная сварка по сравнению с контактной обладает тем преимуществом, что трубы можно сваривать из горячекатаной неочищенной ленты, так как индукционный нагрев не требует наличия контакта с поверхностью изделия. Индукционную сварку линейным индуктором применяют главным образом на средней частоте (1,0 –10 *кгц*) при производстве труб небольшого диаметра (60–219 *мм*) из малоуглеродистой стали с толщиной стенок 1,5—10 *мм* при скорости сварки около 60 *м мин*.

Несмотря на развитие высокопроизводительных методов сварки токами высокой частоты (контактной, индукционной) сварные трубы из специальных сталей и цветных металлов и сплавов изготовляют главным образом с помощью аргоно-дуговой сварки со скоростью 1,2—2,6 *м мин*. Это объясняется большей надежностью и простотой методов контроля.

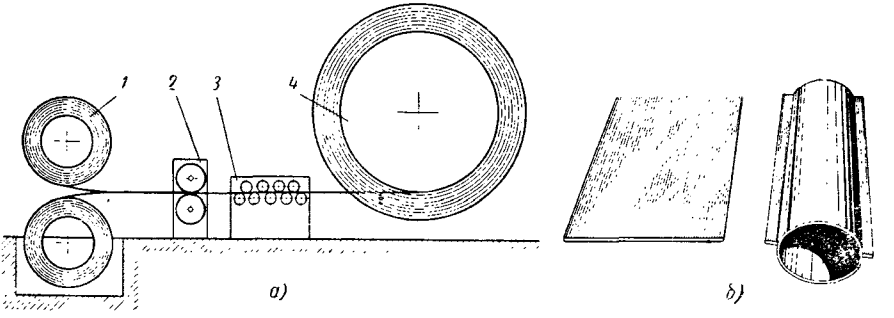


Рис. 37. Плоскосворачиваемые трубы: *а* – схема станка; *б* — плоская заготовка и труба после раздутия

Весьма производительно изготовление водогазопроводных труб малого диаметра из малоуглеродистой стали печной сваркой. На непрерывных станах процесс полностью механизирован, скорость сварки достигает 500 *м мин*.

При прокладке промысловых и газосборных трубопроводов применяют плоскосворачиваемые трубы. Схема изготовления таких труб показана на рис. 37, *а*. Две стальные ленты *1* накладывают одну на другую и сваривают двумя продольными швами на роликовой контактной машине *2*. По мере сварки трубная заготовка проходит правильное устройство *3* и свертывается в рулон *4*. Для контроля плотности швов свернутой трубы рулон закрепляют в жесткой обойме и к одному из ее концов присоединяют сеть сжатого воздуха, а к другому — манометр. На месте укладки трубопровода рулон разматывают и трубу раздувают (рис. 37, *б*). Отдельные плети труб соединяют между собой путем сварки их плоских концов до раздутия, либо с помощью фланцевых соединений. Такие трубы могут иметь толщину стенок до 4 *мм*, диаметр до 400 *мм* и длину до 300 *м*.

СВАРКА СТЫКОВ ТРУБОПРОВОДОВ

Укладка трубопроводов может быть либо непрерывная, либо секционная. В СССР на строительстве магистральных трубопроводов применяют главным образом секционный способ укладки труб. Трубы длиной 12 *м*, поступающие на полевые сварочные базы, соединяют в секции длиной 24—36 *м*, транспортируют на трассу и сваривают в плети. Соединения выполняют встык, использование подкладных колец не разрешается. Для сборки применяют центраторы наружные (гл. VIII, рис. 25) или внутренние. Применение внутренних центраторов позволяет механизировать операцию сборки более полно. Кроме того, собранный стык оказывается целиком доступным для сварки, позволяя выполнять корневой

шов от начала до конца без остановок и прихваток. При сборке поворотных стыков центратор внутрь трубы вводят обычно с помощью штанги. Для использования центратора в качестве вращателя штангу закрепляют в подшипниках и сообщают ей вращательное движение. При сборке неповоротных стыков перемещение центратора внутри трубопровода целесообразно осуществлять с помощью самоходного устройства.

При сборке и сварке секций на полевых базах целесообразно использовать механизированные линии типа МТЛ (рис. 38). Трубы с накопителя *1* поочередно при помощи гидравлических отсекателей укладывают на рольганг *3*. Сборку выполняют с помощью внутреннего центратора *2*, закрепленного штангой и используемого в качестве вращателя. Первая труба рольгангом *3* надвигается на центратор и фиксируется первым рядом центрирующих элементов. Вторая труба подается рольгангом до соприкосновения с первой и фиксируется разжатием второго ряда жимков центратора. Используя центратор как вращатель, два

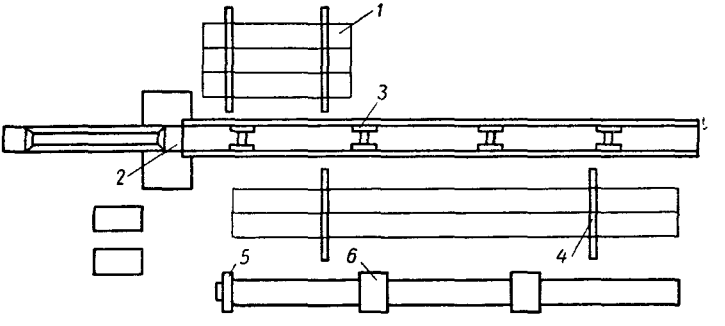


Рис. 38. Схема механизированной линии для сварки поворотных стыков труб (МТЛ)

сварщика одновременно выполняют корневой шов полуавтоматами в среде углекислого газа или ручной дуговой сваркой. После сварки первого слоя двухтрубная секция отводится рольгангом вперед, на ее место на центратор надвигается третья труба, и цикл сборки стыка и сварки первого слоя повторяется. После этого собранная трехтрубная секция перегружателем передается на промежуточный стеллаж *4* и поступает на второй стенд *6*, где стыки окончательно сваривают автоматами под флюсом с помощью торцового вращателя *5*. Над местом сборки стыков предусмотрено укрытие в виде застекленного домика. В случае непогоды на этом рабочем месте стыки можно сваривать полностью, т. е. выполнять не только корневой шов, но и последующие слои автоматом под флюсом.

Выполнение неповоротных стыков магистральных трубопроводов большого диаметра продолжает оставаться весьма трудоемким. Использование трубоукладчиков и внутренних гидравлических центраторов обеспечивает механизацию процесса сборки, однако сварку по-прежнему выполняют, как правило, вручную. Заметное повышение темпа прокладки трубопроводов дает расчленение процесса сварки стыков на ряд последовательных операций. Так, применительно к выполнению неповоротных стыков трубопровода диаметром 1020 *мм* с толщиной стенки 10—12 *мм* при поточно-расчлененном методе одновременно работают бригада сборщиков и четыре бригады сварщиков (по 3 человека). Впереди движется бригада сборщиков, собирая стыки с помощью внутреннего центратора. Двигаясь за ними от стыка к стыку, каждая бригада сварщиков выполняет свой слой шва, а каждый сварщик — определенный участок этого слоя.

При укладке трубопроводов диаметром 114—529 *мм* эффективно применение прессовых методов сварки. Для контактной сварки оплавлением предназначены

установки типа ТКУС и ТКУП. Основным агрегатом стационарной установки ТКУС является неразъемная сборочно-сварочная головка, имеющая кольцевой трансформатор и механизм центровки стыкуемых кромок с гидравлическим приводом зажима, оплавления и осадки труб. Передвижная установка ТКУП, используемая для сварки стыков на трассе, имеет разъемную сварочную головку, которая подвешивается на стреле специального трактора. Для труб диаметром 114—168 *мм* перспективным является использование дугоконтактного способа сварки, предусматривающего осадку после нагрева кромок сварочной дугой, горящей в зазоре между их торцами и вращающейся с большой скоростью под действием магнитного поля.

Огромное количество стыков труб приходится выполнять при сооружении заводов нефтяной, химической, металлургической и атомной промышленности. Сборку и сварку большинства этих стыков выполняют в трубозаготовительных цехах, а на монтаже сваривают только стыки, соединяющие готовые секции или узлы. В условиях цеха сборку узлов производят на столах-стендах, оснащенных приспособлениями, позволяющими собирать элементы в определенном диапазоне типоразмеров. Сварку собранных узлов выполняют под флюсом или в среде углекислого газа с использованием вращателей и манипуляторов. В крупных трубозаготовительных цехах при выпуске больших партий узлов одинаковых размеров используют специализированные установки дуговой автоматической сварки, а также применяют контактную сварку встык. Неповоротные монтажные стыки заводских трубопроводов сваривают вручную или специальными автоматами в среде защитных газов. Использование таких автоматических головок, обегающих стык, особенно необходимо в местах труднодоступных для выполнения, а также в условиях, опасных для человека.

КОРПУСНЫЕ ЛИСТОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Характерными представителями этого типа конструкций являются кузова цельнометаллических вагонов и корпуса судов. Общим для них является использование плоских и криволинейных полотнищ с последующим объединением их в жесткую пространственную конструкцию, способную воспринимать статические, вибрационные и динамические нагрузки.

Кузов пассажирского вагона собирают и сваривают из предварительно изготовленных крупногабаритных узлов: крыши, боковых стен, настила пола, концевых и тамбурных стен. Плоские узлы вагона — боковые стенки и настил пола собирают на специальных стендах. Сначала раскладывают и сваривают между собой листы обшивки, затем на них устанавливают элементы жесткости, прижимают к обшивке и прихватывают. Сварку обшивки с элементами жесткости выполняют посредством самоходных портальных двухточечных контактных машин с двусторонним подводом тока. На рис. 39 изображена установка для сварки настила пола, которая перемещается по всей длине неподвижного свариваемого узла. Беспрепятственное перемещение сварочной машины *1* портального типа с двусторонним подводом тока обеспечивается специальными убирающимися опорами *5*. По мере выполнения сварки и перемещения портала штанги управления *2*, встречая на своем пути краны пневматической системы *3* и *4*, автоматически убирают опоры *5*. При этом изделие временно поддерживается направляющими роликами *6* станины портала сварочного агрегата. После прохождения портала опоры поднимаются снова.

Крыша вагона представляет собой корытообразную конструкцию с элементами жесткости зетового сечения. Сборку и сварку крыши производят целиком или из отдельных секций. Схема поточной линии для изготовления секций крыши вагона электропоезда показана на рис. 40. Полотнище обшивки секции собирают на столе стенда *3*, где по фиксаторам укладывают средний лист *2* и два листа округлений *1*. Нахлесточное соединение листов сваривают под флюсом, для прижатия листов и направления сварочной головки вдоль шва

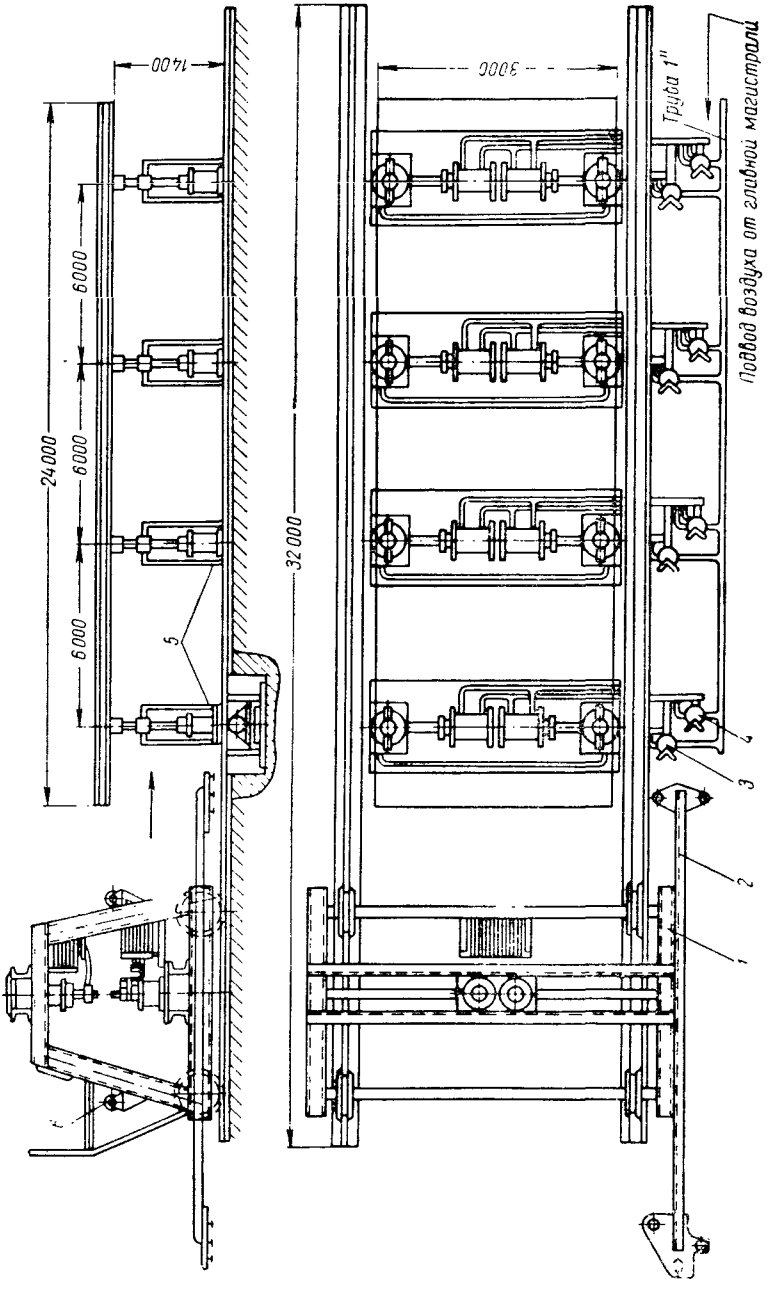


Рис. 39. Установка для сварки настила пола вагона

используют самоходный портал *4*. Сборку секций выполняют в стапеле *5*. Дуги крыши укладывают и прижимают к местным шпангоутам дуг стапеля. На дуги мостовым краном накладывают полотнище обшивки, приварка ее выполняется специальной контактной машиной *6* портального типа.

В основе существующих методов постройки судов лежит предварительное изготовление частей корпуса судна в виде сборочных элементов, секций и блоков. Большинство сборочных элементов состоит из простых листовых деталей или из прокатных и составных балок и рамок, имеющих обычно сечение тавра. При сборке и сварке листовых полотнищ широко используют электромагнитные стенды (см. гл. VIII, рис. 33 и 34). При толщине листов до 10 *мм* односторонюю сварку с принудительным формированием обратной стороны шва можно выполнять с помощью сварочных тракторов ТС-30 и ТС-32. В этом случае сборку листов ведут с обязательным зазором 2—3 *мм* на стеллаже, обеспечивающем свободный доступ с нижней поверхности стыков.

При изготовлении плоскостных секций применяют способ раздельной сборки и сварки набора. На полотнище первым устанавливают набор главного направления и приваривают его угловыми швами автоматической сваркой. Затем устанавливают набор другого направления, приваривают его к полотнищу полуавтоматами и в последнюю очередь сваривают элементы набора друг с другом.

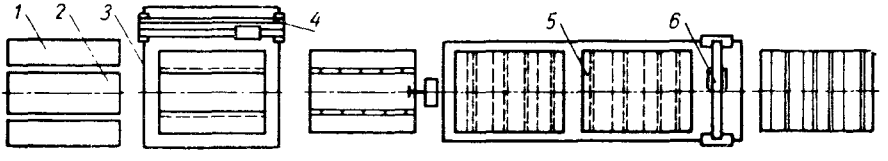


Рис. 40. Схема поточной линии сборки и сварки секций крыши вагона электропоезда

Для сборки секций с погибью используют постели, образуемые набором лекал, закрепленных на жестком основании и воспроизводящих обводы изготавливаемой секции. Рабочую кромку лекал для облегчения обработки делают в виде «гребенки», в местах сварных швов предусматривают вырезы. Ввиду большой стоимости специальных постелей, предназначенных для изготовления секций только определенного типоразмера, широкое применение получили разборные и универсальные постели.

При изготовлении секций, имеющих кривизну, листы обшивки собирают на прихватках с минимальными зазорами, прижимая и закрепляя их к лекалам постели. Сварку стыков выполняют на весу автоматами под флюсом. Затем производят сборку и приварку набора и других элементов секции. После освобождения от закреплений секцию снимают с постели, переворачивают, огневой строжкой зачищают корни стыковых швов обшивки и производят их подварку. Отдельные плоские и объемные секции перед подачей на общую сборку корпуса часто укрупняют в блок-секции. Изготовление их осуществляют на постелях-кондукторах, либо на сборочных тележках, которые одновременно используют и для транспортирования блока на стапельное место.

При сборке и сварке на стапеле, с целью уменьшения сварочных деформаций общего искривления корпуса, применяют три следующих способа:

1) пирамидальный (рис. 41), при котором корпус последовательно формируется из секций. Сначала устанавливают и сваривают первую, вторую и третью днищевые секции, затем следующие смежные секции, образующие пирамиду. При сравнительно небольшой длине эта первая пирамида имеет достаточно жесткое сечение, что снижает общие деформации корпуса. Далее сборочно сварочные работы выполняют уступами в нос и корму;

2) островной, при котором на стапеле установка и сварка секций ведется одновременно в нескольких районах, называемых островами, причем каждый

остров собирают пирамидальным способом. Это позволяет вести работы широким фронтом; такой способ используют при сборке наиболее крупных судов;

3) блочный, когда сборка на стапеле осуществляется из крупных блоков, представляющих собой часть корпуса от киля до палубы. По сравнению с другими способами он обеспечивает наименьшие деформации. Его используют в основном при серийной постройке судов среднего размера.

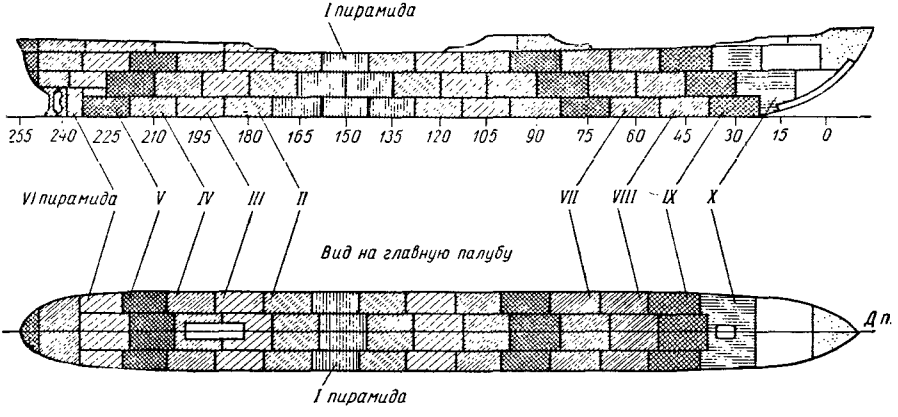


Рис. 41. Схема пирамидального способа сборки корпуса корабля

В судостроении правку местных деформаций как при изготовлении секций, так и на стапеле осуществляют нагревом газовой горелкой. Местные угловые деформации полотнищ толщиной 4—10 *мм* правят нагревом обшивки над каждым ребром жесткости со стороны, противоположной набору. Правку полотнищ толщиной 3 *мм* и менее производят нагревом полос между ребрами жесткости на расстоянии 100 *мм* от них.

СВАРНЫЕ ДЕТАЛИ МАШИН И ПРИБОРОВ

Для деталей машин наиболее характерными являются рамы, станины, валы и колеса. В тяжелом и энергетическом машиностроении такие детали изготовляют в условиях единичного или мелкосерийного производства. На рис. 42 показана рама клети прокатного стана, составленная из четырех литых заготовок стали 35Л. Места стыка выбраны из условия симметрии сварочных деформаций и относительной простоты формы каждого элемента. Сложное очертание двутаврового сечения в месте стыка заменено сплошным (разрез *А—А*) с целью удобства выполнения его электрошлаковой сваркой. Раму собирают в горизонтальном положении с помощью скоб, стыки сваривают попарно.

На рис. 43 показано изготовление сварной станины пресса усилием 4000 *т* из толстолистового проката, массивной литой траверсы и кованой трубы [2]. Сварные соединения — стыковые, тавровые и угловые; большинство из них выполняют электрошлаковой сваркой. Последнее определяет некоторые особенности конструкции и последовательность выполнения сборочно-сварочных операций. Угловые и тавровые соединения элементов собирают при помощи косынок и диафрагм, стыковые — при помощи скоб. В местах, недоступных для постановки формующих медных охлаждаемых подкладок, применяют остающиеся стальные пластины. Последовательность выполнения сборочно-сварочных операций выбирают так, чтобы концы каждого из электрошлаковых швов можно

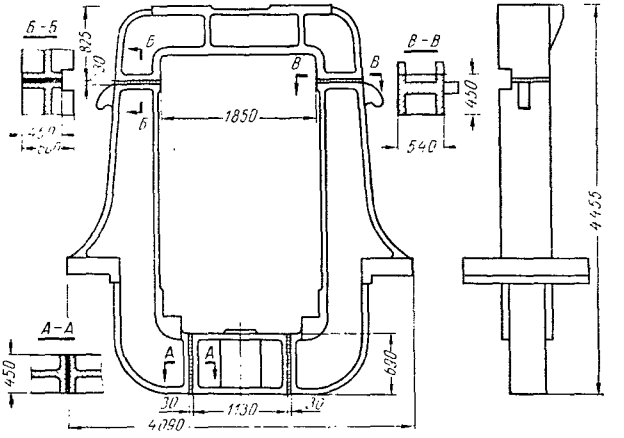


Рис. 42. Рама вертикальной клети

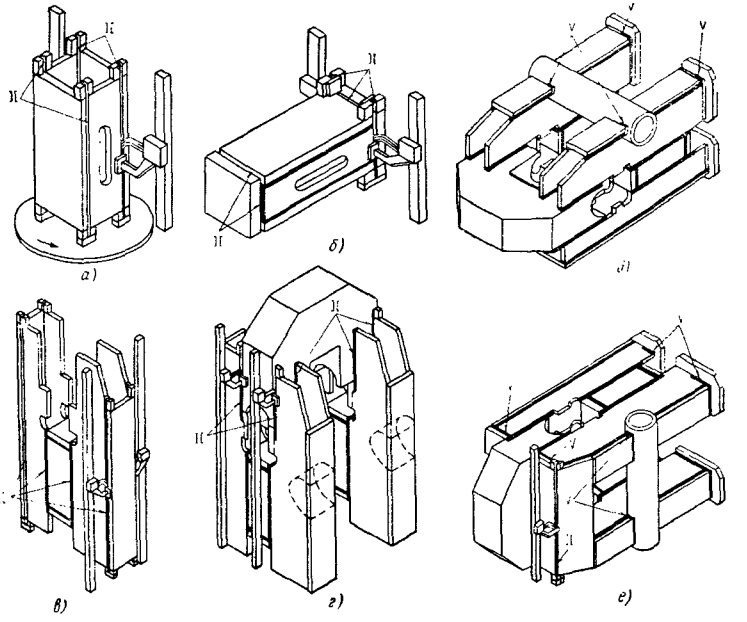


Рис. 43. Последовательность сборочно-сварочных операций при изготовлении станины пресса усилием 4000 *т*: *а*, *б* — сварка тумбы; *в* — сварка полустойки; *г* — сварка полустойки с траверсой; *д*—*е* — установка и приварка остальных деталей

было вывести за пределы тела детали. Поэтому общей сборке сложной детали обычно предшествует сборка и сварка относительно простых узлов. При этом для уменьшения угловых сварочных деформаций желательно, чтобы каждый собранный под сварку узел имел замкнутое сечение. Следует заметить, что образование пазов под установку трубы резкой не плоских заготовок, а уже сваренного узла с удалением части шва, является приемом, характерным для конструкций, изготовляемых электрошлаковой сваркой. В этом случае выполнить длинный непрерывный шов с последующим удалением его части резкой оказывается выгоднее, чем сварить два более коротких шва.

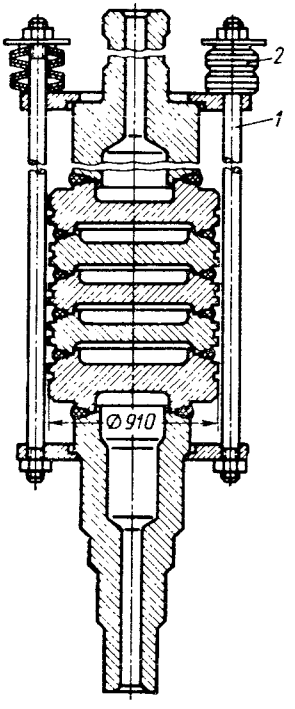


Рис. 44. Вал газовой турбины

При изготовлении деталей тяжелых машин завершающими операциями являются термическая и механическая обработка. Точность размеров станин и рам в основном обеспечивается за счет назначения припусков путем последующей механической обработки.

Характерными примерами сварных валов большого размера могут служить валы мощных турбин. Конструкция валов гидравлических турбин проста, это массивная труба с одним или двумя фланцами. Заготовки обечаек обычно получают ковкой, заготовки фланцев — ковкой или в виде стальных отливок, стыки между ними выполняют однопроходной электрошлаковой сваркой. На сборку кольцевых стыков заготовки поступают после предварительной механической обработки. При сборке длинных валов необходимо предусматривать некоторый излом оси в месте стыка с целью компенсации неравномерной величины поперечной усадки по периметру шва. Точность готового вала обеспечивается чистовой механической обработкой, выполняемой после нормализации и высокого отпуска.

Крупные валы паровых и газовых турбин изготовляют из жаропрочных сталей путем сварки из отдельных поковок — дисков и концевых частей. Наличие внутренних замкнутых полостей, смещение которых относительно оси вращения вызывает недопустимую неуравновешенность вала, приводит к необходимости соблюдения жесткого допуска на искривление его продольной оси. Это достигается точной сборкой и прецизионной технологией сварки. Кованые заготовки дисков после механической обработки центрируют друг относительно друга направляющими поясками, требуемая величина зазора в разделке обеспечивается постановкой проставок. Собранные элементы плотно стягивают между собой тягами *1* (рис. 44) с компенсирующими усадку пружинами *2*, и в вертикальном положении ротор подают на сварку. Для достижения равномерности поперечной усадки по периметру кольцевого шва сварку выполняют во много слоев. Каждый корневой шов укладывают одновременно двумя диаметрально расположенными сварочными головками аргоно-дуговой сваркой вольфрамовым электродом. Затем в этом же положении ряд слоев укладывают плавящимся электродом в среде углекислого газа. После заполнения той части разделки, которая необходима для обеспечения определенной жесткости ротора, его переносят в центровой вращатель с горизонтальным положением оси, и основную часть разделки заполняют многослойной сваркой под флюсом в нижнем положении. Такая технология позволяет предотвратить искривление оси настолько, что биение сваренного вала не превышает 0,5 *мм* на длине 5 *м*.

Сварные детали типа колес в тяжелом и энергетическом машиностроении достаточно разнообразны. Среди них рабочие колеса мощных гидротурбин выделяются как размерами, так и сложностью процесса изготовления. Так,

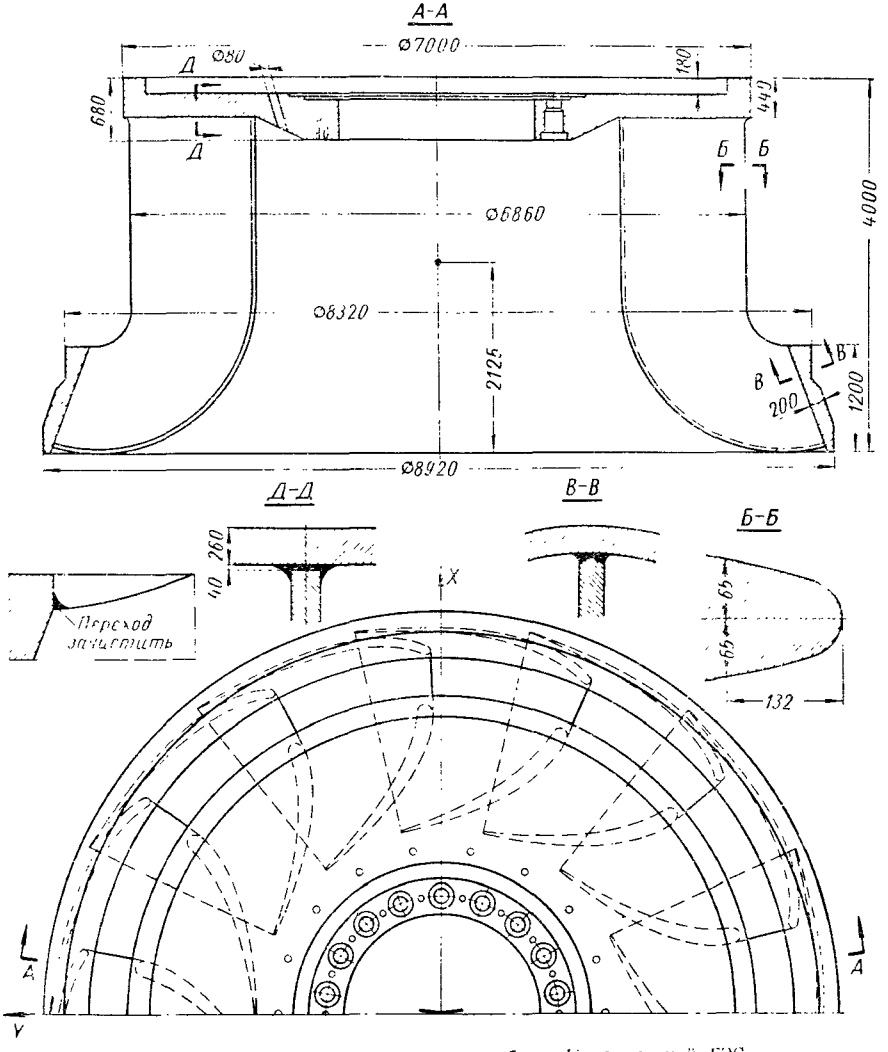


Рис. 15. Чертеж рабочего колеса турбины Красноярской ГЭС

например, рабочее колесо турбины Красноярской ГЭС (рис. 15) имеет диаметр свыше 8 м. Поэтому возможность его изготовления целиком без расчленения была обеспечена только благодаря наличию водного пути от места расположения завода-изготовителя до места монтажа. Это рабочее колесо состоит из верхнего и нижнего ободов и лопастей.

Верхний обод выполнялся из двух литых заготовок стали 20ГСЛ электрошлаковой сваркой с последующим высоким отпуском и механической обработкой. Лопасти из той же стали отливались в кокиле, точность их формы обеспечивалась рубочными и наплавочными работами. Для повышения стойкости против кавитационного износа часть выпуклой поверхности каждой лопасти наплавлялась ленточным электродом 30Х10Г10 под флюсом. Нижний обод собирался из четырех штампованных заготовок стали 22К, сваривался электрошлаковой сваркой и после высокого отпуска подвергался механической обработке.

Сборка начиналась с разметки внутренней поверхности верхнего обода по шагу и профилю и установки на ней лопастей с зазором под электрошлаковую сварку. Затем в верхнем ободе закреплялась ось с цапфами и с ее помощью собранный узел устанавливался на стойках кантователя с целью поворота каждого стыка в положение, удобное для выполнения его электрошлаковой сваркой плавящимся мундштуком. Плавный переход от тела лопасти к телу обода обеспечивался формой медных охлаждаемых подкладок. После сварки и промежуточного высокого отпуска производилась обработка торцов лопастей под сопряжение с нижним ободом и подготовка кромок под К-образную разделку. Сварка нижнего обода с лопастями осуществлялась одновременно 2—4-мя сварщиками, выполнявшими диаметрально противоположные стыки полуавтоматами в среде углекислого газа. Сваренное колесо перед окончательной механической обработкой подвергалось нормализации и высокому отпуску.

Применительно к изготовлению колес крупных гидротурбин такого типа возможны и другие конструктивно-технологические решения. Так, рабочее колесо Плявиньской ГЭС выполняли из двух частей, исходя из необходимости его перевозки по железной дороге, причем заводская сварка осуществлялась преимущественно вручную. На монтаже предусмотрено выполнять соединения стыков верхнего обода на болтах, а нижнего с помощью ручной сварки способом «поперечной горки» одновременно четырьмя сварщиками попарно «дуга в дугу». Подогрев перед сваркой до 120—200° С и последующий отпуск стыков обода выполняли с помощью индукторов.

Большинство деталей общего машиностроения можно выполнять сварными. Однако в условиях серийного и тем более массового производства целесообразность изготовления детали составной с помощью сварки не является бесспорной, а существенно зависит от технологичности ее конструкции. Так, например, широко применяют сварку заготовок, штампованных из листа. Технологичность таких штампо-сварных деталей достигается относительно высокой точностью размеров и формы штамповок, позволяющей исключить предварительную механическую обработку, удобством сборки и сварки тонких листов не только встык, но внахлестку и по отбортовке, а также возможностью получения весьма жестких деталей малого веса. Штампо-сварные конструкции с применением контактной сварки особенно широко используются в автомобилестроении при изготовлении кабин, кузовов и других деталей [4].

Характерным примером штампо-сварной детали может служить б ензиновый бак автомобиля. К штампованным половинкам приваривают штуцеры, шайбы, перегородки, собирают из двух половин корпус бака, прихватывают их и затем сваривают по фланцу герметичным роликовым швом на специальных контактных машинах.

Определенные достоинства штампо-сварных деталей, естественно, не исключают эффективное использование заготовок, полученных другими технологическими методами. На рис. 46 показан блок цилиндров тепловозного дизеля, выполненный из листовых элементов, усиленных приварными деталями и соединенных между собой в жесткую пространственную конструкцию. Большое количество элементов, составляющих блок, делает целесообразным предварительное укрупнение их в подузлы. Этим обеспечивается доступность и удобство выполнения отдельных сварных соединений. Однако для сложной пространственной конструкции чередование сборочных и сварочных операций может привести к неблагоприятному суммированию погрешностей и росту отклонений

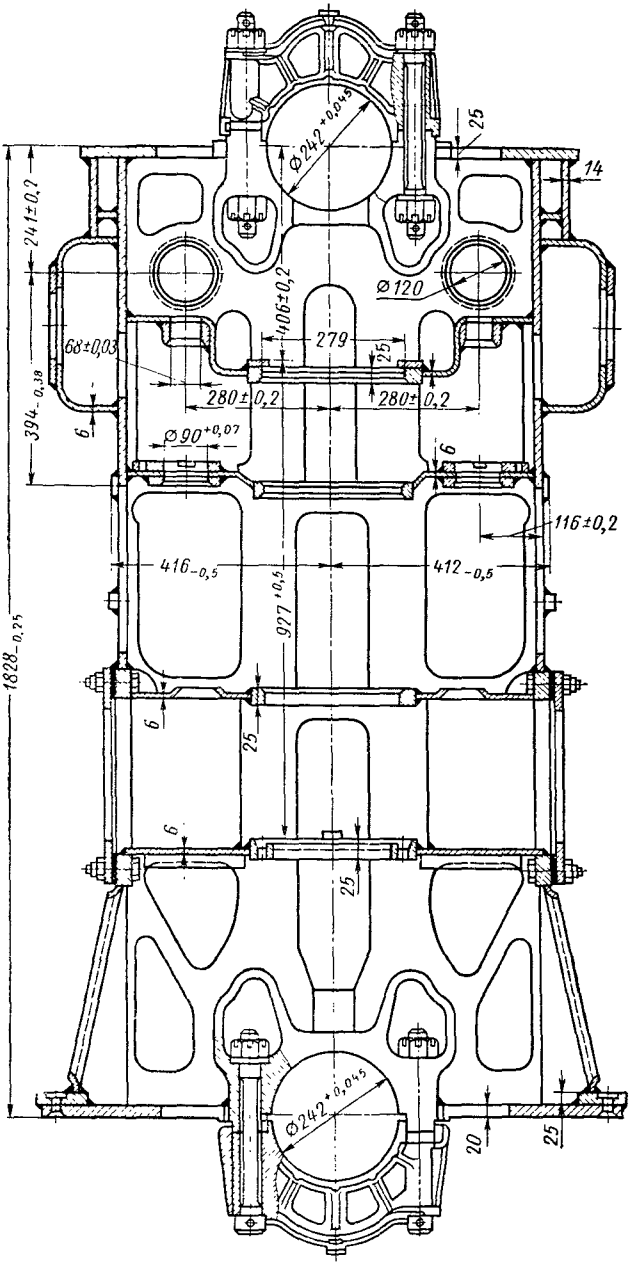


Рис. 46. Поперечный разрез блока цилиндров тепловозного дизеля

размеров и формы детали. В условиях серийного производства это крайне нежелательно, так как требует увеличения припусков на последующую механическую обработку или проведения операции правки. Поэтому укрупнение элементов блока цилиндров в подузлы ограничено приваркой различных элементов (опор коленчатых валов, фланцев, усиливающих накладок) к плоским листовым заготовкам. Общая сборка выполняется в жестком приспособлении, и в этом же приспособлении блок цилиндров подвергается сварке. Для этой цели используют специальные сборочно-сварочные стенды (рис. 47). Вращающаяся часть стенда представляет собой кондуктор, в котором собирают под сварку все подузлы блока. Для точного расположения собираемых элементов и надежного их фиксирования нижняя рама кондуктора *2* и верхняя съемная балка *1* имеют стойки и фиксаторы для установки вертикальных листов и валы для их расцентровки. Для выверки и установки горизонтальных листов предусмотрены стойки

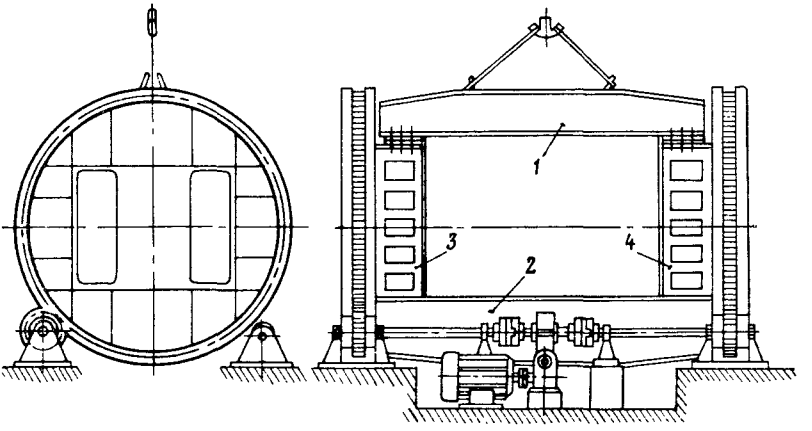


Рис. 47. Стенд для сборки и сварки блока дизеля

с линейками. Правая *4* и левая *3* боковые стенки кондуктора для установки торцовых листов блока оснащены откидными кронштейнами. Базовые места стенда рассчитаны на сборку и сварку по технологическим размерам, обеспечивающим после усадки при сварке нужные размеры блока. Большинство швов блока — угловые; оптимальные условия их выполнения — под флюсом в положении «в лодочку». С помощью кантователя (рис. 47) такое положение обеспечивается только при наложении горизонтальных швов, а сварку вертикальных швов приходится выполнять в другом приспособлении. При расположении кантователя на платформе, позволяющей наклонять его вместе с изделием в другой плоскости на 30° в каждую сторону, можно обеспечить выполнение швов обоих направлений на одном рабочем месте.

Для сварных деталей типа валов, осей и роликов характерным является наличие кольцевых швов, соединяющих отдельные заготовки друг с другом. В зависимости от размеров детали, материала заготовок и конструктивного оформления сварных соединений методы их сварки могут быть различны. Так, на рис. 48 показан карданный вал автомобиля, свариваемый электродуговой сваркой. Шлицованный конец *1* и вилка *3* карданa изготовлены горячей штамповкой из стали 40 и 40Х, труба *2* — из стали 35 и 45. Карданные валы диаметром более 40 *мм* сваривают под флюсом, диаметром 40 *мм* и менее — в среде углекислого газа. Сборку осуществляют по посадочным поверхностям механически обработанных заготовок, для их сварки используют специальные установки,

Из-за малой протяженности кольцевых швов производительность таких установок существенно зависит от затрат времени на вспомогательные и установочные операции. С целью их сокращения стараются совмещать операции во времени, выполняя однотипные кольцевые швы несколькими сварочными головками одновременно. Для подачи изделия под сварочные головки используют приспособление, схематически показанное на рис. 49. Собранные карданные валы *1* устанавливают в приспособление на позицию *А*. При повороте барабана *2* на угол 90° изделие поступает под сварочные головки *4* на позицию *Б*. При этом одновременно включаются привод вращения детали с помощью муфты *3* и питание сварочных головок. После завершения сварки обоих швов барабан снова поворачивается на 90°, подавая под сварку следующий вал. Весь цикл автоматизирован, за исключением установки и съема деталей.

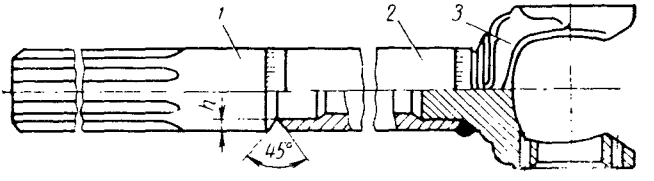


Рис. 48. Карданный вал автомобиля

Зубчатые колеса, шкивы, барабаны и другие детали подобного типа обычно изготовляют с помощью дуговой сварки. Применительно к зубчатым колесам расчленение детали на части и выбор метода их соединения определяются как различием требований к свойствам металла обода, центра и ступицы, так и соображением облегчения точной обработки зубьев. Так, например, блоки шестерен авиационных двигателей расчленяют из-за необходимости обеспечить доступность зубьев для шлифования. Для получения швов с глубоким и узким проплавлением при минимальных остаточных деформациях перспективным является использование электронолучевого способа. При изготовлении колес из штампованных или гнутых тонкостенных элементов наряду с дуговой эффективно используют контактную сварку. Примером могут служить автомобильные колеса. Колесо грузового автомобиля (рис. 50, *а*) состоит из диска *1* и обода *2*. В поточной линии заготовка обода в виде полосы специального профиля проходит операции: вальцовку *I*, выправку *II*, спрямление концов *III*, обрезку концов *IV*, сведение концов *V*, сварку встык методом оплавления *VI*, снятие грата *VII*, скругление *VIII*, обдирку грата наждачным кругом *IX* и калибровку *X* (рис. 50, *б*). Диск колеса штампуют из листа, запрессовывают в обод на прессе и сваривают под флюсом или в углекислом газе непрерывным угловым швом в автоматической линии, описанной в гл. IX. Ободы и диски колес легковых автомобилей имеют меньшую толщину и их сваривают точками на специальных многоэлектродных машинах типа ТМК-6-300. Обод с запрессованным в него диском укладывают на приемное устройство машины, и все операции осуществляются автоматически. Производительность машины ТМК-6-300 составляет 120—200 колес в час в зависимости от толщины свариваемых элементов.

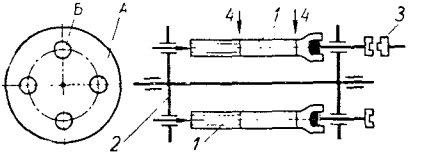
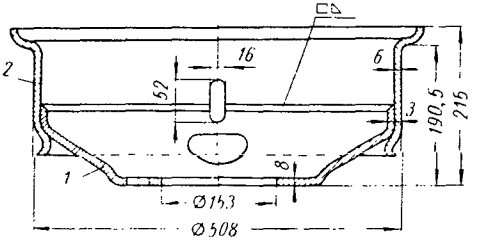


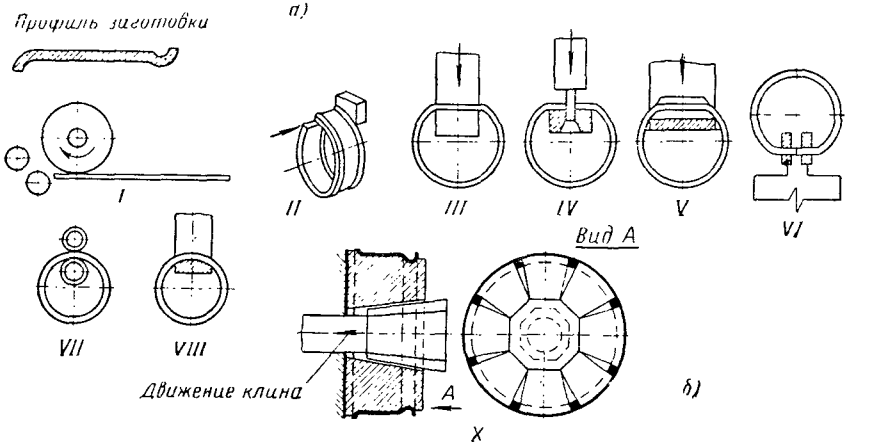
Рис. 49. Схема четырехпозиционного приспособления для сварки карданного вала автомобиля

При изготовлении деталей приборов приходится сваривать самые разнообразные материалы и их сочетания при толщине элементов от нескольких десятков ангстрем до нескольких миллиметров. Упругие чувствительные элементы

давления (мембраны, сильфоны) изготовляют обычно из бронзы или нержавеющей стали толщиной 0,05—0,3 *мм*. К сварным соединениям этих элементов предъявляют требования прочности и плотности при условии минимального сварочного нагрева. При аргоно-дуговой сварке для плотного прижатия свариваемых кромок, уменьшения общего нагрева изделия и предотвращения прожогов используют «холодильники» в виде медных дисков (рис. 51). Сварку обычно выполняют на то-



а)



б)

Рис. 50. Колесо грузового автомобиля: *а* — чертеж колеса; *б* — последовательность операций при изготовлении обода

ках в несколько ампер с сопловой защитой зоны шва или с применением стеклянных накладных микрокамер для уменьшения сдувания аргона. При роликовой конденсаторной сварке из-за меньшего нагрева «холодильники» могут не применяться.

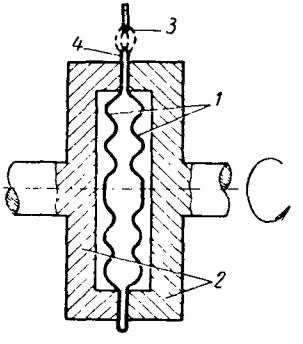


Рис. 51. Схема сварки мембраны: *1* — элементы мембраны; *2* — медные зажимы-холодильники; *3* — сварочная дуга; *4* — шов

При изготовлении полупроводниковых приборов приварка герметизирующих корпусов является одной из заключительных операций, и поэтому воздействие процесса сварки на уже собранный прибор должно быть минимальным. Ограничение деформации корпуса достигается как применением методов сварки, исключающих или ограничивающих нагрев (например, холодной или конденсаторной сварки), так и за счет конструктивного оформления путем создания выточек, уменьшения жесткости фланцевой части, образованием гофр и т. д.

При изготовлении электронных приборов (радиоламп, тиратронов и т. д.) для соединения тонких проволочек, лент и фольги применяют, главным образом, конденсаторную сварку, перспективным является использование микроплаз-

менной, электронолучевой и лазерной сварки. Для точной фиксации элементов при их сварке используют специальные приспособления или предварительное образование фиксирующих выступов и впадин на соединяемых элементах.

Для выполнения монтажных электрических соединений в приборостроении также все шире используют сварку. Соединение элементов диаметром 0,3–1 *мм* обычно осуществляют путем скручивания выводов и оплавления их дугой при касании угольным карандашом. Сварное соединение имеет при этом вид шарика диаметром 1,5–2,0 *мм*.

СВАРКА СТЕРЖНЕЙ И РЕЛЬСОВ

Процесс изготовления арматуры слагается из заготовительных операций, сварки стержней, сеток или плоских каркасов и укрупнительной сборки и сварки пространственных каркасов. Стержни для уменьшения отходов сваривают в бесконечную плеть на стыковой машине, а затем разрезают на мерные заготовки. Сетки составляют из взаимно перпендикулярных стержней, для их изготовления нередко используют автоматические линии. Плоские каркасы состоят из продольных элементов (поясов) и соединительной решетки в виде отдельных стержней или непрерывной змейки. Пространственные элементы обычно собирают из отдельных плоских элементов. Контактная сварка является наиболее производительным способом сварки арматуры, но ее применение обычно ограничивается заводами и полигонами сборного железобетона. При изготовлении каркасов монолитного железобетона и выполнении монтажных соединений сборного железобетона применяют главным образом электродуговую, ванную и электрошлаковую сварку.

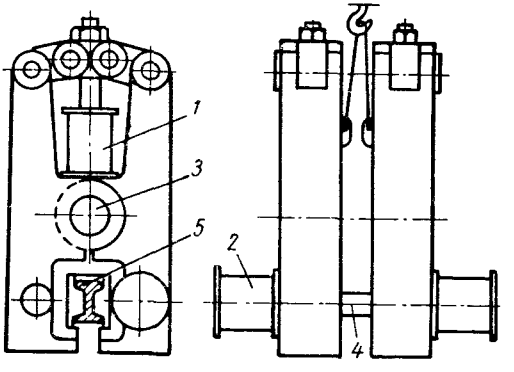


Рис. 52. Схема подвесной сварочной головки для сварки стыков рельсов в пути

Для монтажной сварки сборные железобетонные элементы жилых зданий обычно имеют закладные детали, расположенные в местах примыкания одного элемента к другому. При монтаже зданий эти закладные детали сваривают ручной дуговой сваркой либо непосредственно, либо при помощи дополнительных элементов.

В промышленных и энергетических сборных железобетонных сооружениях стыковку элементов осуществляют сваркой арматурных стержней, выступающих из каждого сборного элемента. При выполнении таких соединений, помимо ручной сварки, все шире применяют ванный и электрошлаковый методы сварки. Сварка может производиться при горизонтальном и вертикальном положении стержней и под углом друг к другу. Для этой цели применяют съемные инвентарные формы, а при ванной сварке также стальные остающиеся формы-подкладки.

Сварку рельсов выполняют преимущественно оплавлением с подогревом на контактных стыковых машинах мощностью 300–600 *ква*. Весь цикл подготовки рельсов, сварки и последующей обработки стыков производят в поточных механизированных линиях специальных рельсосварочных предприятий и рельсосварочных поездов. Их задачей является сварка плетей бесстыкового пути, сварка новых рельсов в звенья длиной 25, 37 и 50 *м*, а также сварка годных

старых рельсов, снятых с пути. Наряду со сваркой рельсов в стационарных условиях, значительное развитие получила контактная сварка в пути с помощью передвижных машин ПРСМ. Конструкция сварочной головки с контурным трансформатором схематически показана на рис. 52. После опускания головки на стык, перемещение штоков цилиндров *1* вызывает поворот рычагов вокруг оси *3* и зажатие стыкуемых рельсов *5*. Перемещение при оплавлении и последующей осадке осуществляется гидравлическими цилиндрами *2* вдоль направляющих *4*.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антонец Д. И., Жигула А. В., Полоцкий Р. Г. Поточная линия изготовления сварных цистерн емкостью 60 м³. «Сварочное производство», 1960, № 6.
2. Куркин С. А. Технология изготовления сварных конструкций. М., Машгиз, 1962.
3. Мацкевич В. Д. Сборка и сварка корпусов судов. Л., «Судостроение», 1968.
4. Мирлин Г. А. Сварка в автостроении. М., Машгиз, 1963.
5. Рулонирование листовых конструкций. Министерство строительства РСФСР, ЦБТИ, М., 1962.
6. Технологические инструкции по производству электросварных прямошовных труб ⌀ 529—820 мм. Челябинский трубопрокатный завод. Челябинск, 1965.

ГЛАВА VIII

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Оборудование для производства сварных конструкций разделяется на следующие основные группы:

1. Оборудование для заготовительных работ по изготовлению деталей сварных конструкций.
2. Основное сварочное оборудование [1].
3. Механическое сварочное оборудование.
4. Механизированные и автоматические станки и линии [2].
5. Оборудование для контроля сварных соединений [1].

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

Классификация оборудования для изготовления деталей сварных конструкций приведена на рис. 1, а технические данные в табл. 1—7. Справочные материалы по оборудованию для термической резки даны в первом томе настоящего справочника. При изготовлении деталей сварных конструкций для их штамповки и механической обработки применяется оборудование общего назначения, справочные данные по которому приводятся в соответствующих источниках.

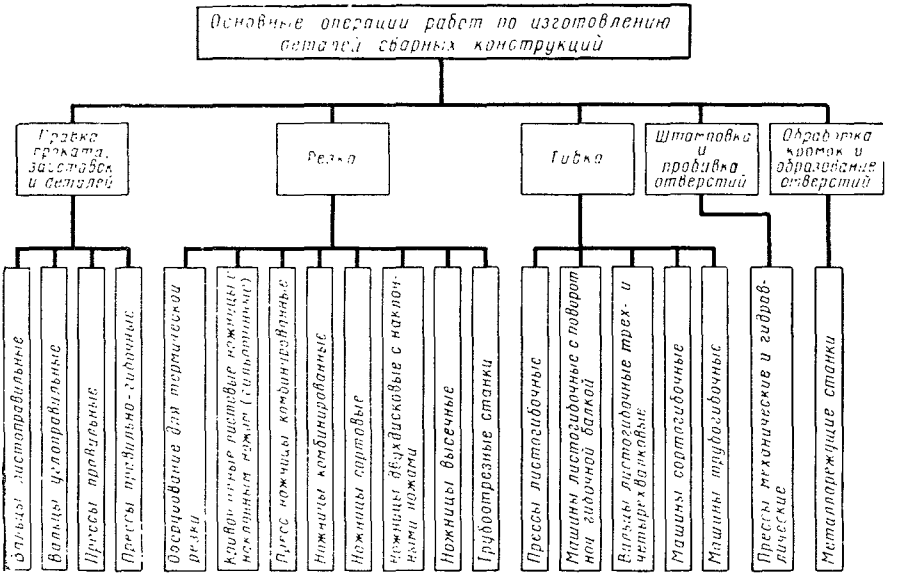


Рис. 1. Классификация оборудования для изготовления деталей сварных конструкций

[1] Рассмотрено в первом и втором томах настоящего справочника.
[2] См. гл. IX.

1. Технические данные ножниц кривошипных листовых с наклонным ножом (гильотинные ножницы)

Показатели	Модель										
	Н3310	Н3312	Н3314	Н413	НГ474	Н475	Н3218В	Н3211	НБ478	Н418А	Н483
Наибольшие размеры разрезаемых листов при $\sigma_в$ = 50 кГ/мм² в мм:											
толщина	1,0	1,6	2,5	2,5	4	6,3	6,3	12,5	16	20	32
ширина	1000	1600	1600	1600	2000	2000	3200	3200	3200	3200	3200
Ход ножа в мм	34	34	50	50	71	80	105	123	140	170	210
Число ходов ножа в минуту	100	100	65	45	65	40	60	40	30	20	20
Расстояние от кромки неподвижного ножа до станины в мм	100	100	300	250	300	300	500	500	500	500	700
Угол наклона подвижного ножа	0°50′	0°50′	1°20′	1°30′	1°20′	1°59′	1°30′	1°40′	2°10′	2°10′	3°
Наибольшая длина листа, обрезаемого по упору, в мм	500	500	500	500	600	500	750	1000	1000	1000	1000
Расстояние от уровня пола до верхней кромки нижнего ножа в мм	850	850	850	900	800	800	800	800	800	800	800
Габаритные размеры в мм:											
длина	2000	2600	2550	2400	2915	2900	4486	4840	4750	5040	5285
ширина	1395	1400	1600	1445	1765	1970	2705	3080	3550	3550	4300
высота	1540	1540	1550	1340	1870	2175	1700	2260	2300	2660	2660
Вес в *т*	2,08	2,554	2,83	1,8	3,6	4,5	10	20	27	32,36	39,35
Мощность привода в *квт*	1,0	1,7	3,5	1,7	4,5	7	10	18,5	28,5	28	40
Завод-изготовитель	Таганрогский КПО			Стрыйский КПО им. С. М. Кирова	Ленинаканский КПО	Львовский алмазного инструмента и Саранинский завод КПО	Азовский КПО	Чимкентский прессовый автомат им. М. И. Калинина		Азовский КПО	

2. Технические данные пресс-ножниц комбинированных, ножниц комбинированных и сортовых

Показатели	Пресс-ножницы комбинированные			
	Н5220	НВ533	Н5222	Н633А
Наибольшие размеры разрезаемого материала при $\sigma_в = 45$ кГ/мм² в мм:				
толщина листа	10	16	16	25
сечение полосы	16×110	20×140	20×140	30×160
диаметр круга	35	45	45	65
сторона квадрата	28	30	40	55
сечение уголка	80×80×8	120×120×12	120×120×12	150×150×18
номер швеллера и двутавра	10	18	18	30а
диаметр пробиваемого отверстия	25 (при δ = = 10 мм)	28 (при δ = = 16 мм)	28 (при δ = = 16 мм)	35 (при δ = = 25 мм)
Число ходов ползунов в минуту	55	45	45	30
Габаритные размеры в мм:				
длина	1700	1725	1885	2450
ширина	630	582	582	750
высота	1270	1950	1950	2400
Вес в *т*	1.25	2.1	2.14	5.0
Завод-изготовитель	Одесский им. XVI партсъезда и Ленинаканский КПО	Таганрогский КПО	Кувандыкский КПО	Одесский им. XVI партсъезда

Показатели	Пресс-ножницы комбинированные	Ножницы комбинированные		Ножницы сортовые
	Н5225	Н543	Н5422А	Н142б
Наибольшие размеры разрезаемого материала при $\sigma_в = 45$ кГ/мм² в мм:				
толщина листа	32	13	16	—
сечение полосы	40×180	18×120	20×140	—
диаметр круга	75	40	45	35
сторона квадрата	65	35	40	28
сечение уголка	200×200×20	100×100×12	120×120×12	80×80×8
номер швеллера и двутавра	33	14	18	10
диаметр пробиваемого отверстия	42 (при δ = = 32 мм)	—	—	—
Число ходов ползунов в минуту	28	40	45	50
Габаритные размеры в мм:				
длина	3200	1090	1785	1425
ширина	2750	520	582	550
высота	2640	1590	1815	1480
Вес в *т*	9.85	1.152	1.885	0.8
Завод-изготовитель	Азовский КПО	Киевский экспериментальный механический	Таганрогский КПО	

3. Технические данные ножниц высечных и двухдисковых одностоечных с наклонными ножами

Показатели	Ножницы высечные			Ножницы двухдисковые одностоечные с наклонными ножами		
	Н532	Н533	Н535	Н441	Н452Б	Н470
Наибольшая толщина разрезаемого листа при $\sigma_в$ = 45 кГ/мм² в мм	2,5	4	6,3	2,5	6,3	10
Наибольшая толщина листа при отбортовке и гибке в мм	—	—	—	2	5	8
Наибольший ход верхнего ножа в мм	5,6	7	10	—	—	—
Число ходов верхнего ножа в минуту	1450 и 940	1200 и 800	800 и 510	—	—	—
Вылет ножниц в мм	850	1000	1200	1000	1000	1800
Расстояние от уровня пола до верхней плоскости нижнего ножа в мм	800	796,5	920	850		
Скорость резания в м/мин	—	—	—	7,5—2,5	7,5—2,5	7,5—2,5
Диаметр ножей в мм	—	—	—	70	120	160
Габаритные размеры в мм:						
длина	1500	1800	2830	3230	6120	6310
ширина	525	629	970	860	920	1030
высота	1500	1964	2380	1450	2020	2158
Вес в т	0,45	0,99	1,87	1,7	2,1	4,57
Мощность привода в квт	1,3	2,8	4,5	1; 1,3; 1,7	2; 3; 3,5; 4,5	4,6; 6; 7; 9
Завод-изготовитель	Львовский алмазного инструмента			Таганрогский КПО	Серпуховский КПО им. 8 лет Октября	Азовский КПО

4. Технические данные листогибочных машин с поворотной гибочной балкой

Показатели	И242	И2Н4	И2Н6	И2Н8
Наибольшие размеры изгибаемого листа при $\sigma_в$ = 45 кГ/мм² в мм:				
толщина	1,6	2,5	4	6,3
ширина	1600	2500	2000	2500
Наибольший угол изгиба в град	120	120	110	120
Наименьший внутренний радиус изгиба при наибольшей толщине листа в мм	2,4	2,75	6	12
Наименьшая высота отгибаемой кромки при наибольшей толщине листа в мм	12	12,5	15	25
Мощность привода в квт	1,7	4,5	4,5	7
Габаритные размеры в мм:				
длина	2650	3950	5050	8886
ширина	1190	1330	1450	1690
высота	1450	1560	1850	2955
Вес в т	2,15	3,3	4,85	7,57

Примечание. Изготовитель — Львовский завод алмазного инструмента

5. Технические данные листогибочных прессов

Показатели	Прессы листогибочные кривошипные				Правильно-гибочный гидравлический пресс конструкции Уралмашзавода
	И1330	И1330А	И133Б	И1334Б	
Номинальное усилие в *т*	100	100	160	250	1200
Длина стола и ползуна в *мм*	2550	4050	5050	5050	7100 (длина подвижного стола)
Ширина стола в *мм*	200	200	250	250	3000
Высота стола над уровнем пола в *мм*	800	800	800	800	
Ход ползуна в *мм*	80	80	100	100	1200
Наибольшее расстояние между столом и ползуном в его верхнем положении в *мм*	320	320	400	400	2100
Величина регулировки расстояния между столом и ползуном в *мм*	100	100	125	125	
Число ходов ползуна в минуту	10 и 30	10 и 30	8 и 24	8 и 24	
Габаритные размеры в *мм*:					
длина	3000	5050	5500	5480	3282
ширина	1820	1820	3150	3700	9750
высота	2935	3200	5500	5000	6300
Вес в *т*	9,1	10,6	26,5	35,4	331
Мощность привода в *квт*	14	14	18,5	20	—
Завод-изготовитель	Азовский КПО		Чимкентский прессов-автоматов им. М. И. Калинина		

6. Технические данные машин листогибочных трех- и четырехвалковых

Показатели	Машина листогибочная трехвалковая С256А	Механизм для вальцовки трехвалковый ВМС-85 (СТЦ-2301)	Машина листогибочная трехвалковая И2220	Вальцы листогибочные У В-2500	Машина листогибочная четырехвалковая 3611
Наибольшие размеры изгибаемого листа при $\sigma_t = 25$ *кг/мм²* в *мм*:					
толщина	2	3	10	10	25
ширина	1500	2100	2000	2500	2500
Наименьший радиус изгиба в *мм*	60	83	170	300	300
Скорость гибки в *м/мин*	10	7,4		3,72	7,15
Мощность привода в *квт*	2,8	3	7	4,5	58,2
Габаритные размеры в *мм*:					
длина	2310	3250	3800	4115	7695
ширина	750	1070	1050	1030	2330
высота	1220	1110	1380	1150	2015
Вес в *т*	0,87	2,4	3,58	3,875	41
Завод-изготовитель	Стрыйский КПО	Механический № 3 г. Москва	Славгородский им. 5-летия Октября	Завод монтажных заготовок г. Георгиу-Деж	Рязанский ТКПО

7. Технические данные трубогибочных машин

Показатели	Тип машины		
	с механическим приводом, модель ГСТМ-21Б	с индукционным нагревом	
Диаметр изгибаемых водогазопроводных труб в дюймах	1; 1¼; 1½; 2; 2½; 3	—	—
Размеры изгибаемых стальных бесшовных труб (диаметр × толщина стенки) в *мм*	34×3; 42×3; 48×3; 56×3,5; 76×3,5; 89×4,5	—	—
Размеры изгибаемых труб на машинах Уралмашзавода в *мм*:			
диаметр	—	50—219	127—426
максимальная толщина стенки	—	10	25
Максимальный угол гибки трубы в *град*	180	—	—
Минимальный радиус гибки по оси трубы в *мм*	85	1,5 *d*	1,5 *d*
Вес в *т*	1,4	13,4	26,1

Примечание. Машина ГСТМ-21Б изготовляется Сальским заводом КПО, машины с индукционным нагревом разработаны и изготовлены на Уралмашзаводе.

МЕХАНИЧЕСКОЕ СВАРОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Классификация механического сварочного оборудования приведена на рис. 2. Рассматриваемое оборудование разделяется также на типовое универсальное, рассчитанное на широкую номенклатуру свариваемых изделий и применяемое на предприятиях различных отраслей промышленности и специализированное, используемое при изготовлении одного или нескольких однотипных изделий. Разработка и централизованный выпуск типового универсального оборудования осуществляются согласно «Типажу механического сварочного оборудования и средств механизации сварочного производства на 1965—1970 гг.» [5]. Работа по типизации рассматриваемого оборудования еще не завершена как в части составления типажей и нормалей, так и в части создания типовых конструкций в рамках типажа. Типажные конструкции оборудования разрабатывает Всесоюзный институт сварочного производства (ВИСП).

Оборудование для установки и поворота собираемых и свариваемых изделий

Опорные приспособления. К опорным приспособлениям относятся плиты, столы и стеллажи.

Плиты применяют следующего назначения:

для сборочно-сварочных работ с пазами (для зажимных и фиксирующих приспособлений) в двух взаимно перпендикулярных направлениях (табл. 8) или в одном направлении;

для контроля и разметки повышенной точности с координатной сеткой;

для правки, зачистки и сварки гладкие пониженной точности.

Столы для сварщика используют при ручной и полуавтоматической сварке изделий мелких и средних размеров. Типаж [5] предусматривает две модели неповоротных столов: ССН-0,8×0,8 длиной и шириной 0,8 *м* и ССН-1,25×0,8 длиной 1,25 *м* и шириной 0,8 *м*.

Стол ССН-0,8×0,8, разработанный ВИСП, оборудован вентилятором, отсасывающим газы и пыль. Внутри корпуса размещены колчан для электродов,

шкаф для инструмента и две лампочки местного освещения. Столы могут поставляться без вентилятора; в этом случае их подключают к общецеховой вытяжной системе.

Стеллажи (рис. 3) изготовляют в зависимости от габаритов и веса свариваемых изделий.

Поворотные устройства. К поворотным устройствам относятся манипуляторы, позиционеры, вращатели, кантователи, роликовые стенды и поворотные столы.

Манипуляторы (рис. 4) предназначены для установки (наклона) изделий в наиболее удобное для сварки положение и вращения их со сварочной скоростью. Их применяют при автоматической, полуавтоматической и ручной сварке кольцевых швов и при наплавке тел вращения.

Позиционеры отличаются от манипуляторов тем, что имеют маршевое (установочное) вращение изделий, т. е. непригодны для автоматической сварки кольцевых швов и используются при ручной, полуавтоматической и автоматической сварке рамных и корпусных конструкций.

Технические данные манипуляторов и позиционеров приведены в табл. 9.

Вращатели (табл. 10) предназначены для вращения цилиндрических изделий со сварочной скоростью. Они отличаются от манипуляторов тем, что не имеют механизмов для наклона изделий и поэтому проще и дешевле их. Вращатели могут быть с вертикальной, наклонной или с горизонтальной (рис. 5) осью вращения.

Кантователи (табл. 11) применяют для поворота (кантовки) свариваемых изделий и установки их в наиболее удобное положение для сварки. Кантователи разделяют на двухстоечные, одностоечные, кольцевые, цепные и кантователи с домкратами.

Двухстоечные кантователи (рис. 6) наиболее распространены, просты по конструкции и универсальны. Для кантовки относительно небольших изделий они имеют ручной привод, в остальных случаях — механизированный. Заднюю стойку двухстоечных кантователей в зависимости от назначения выполняют стационарной, переносной или передвижной.

Для крупногабаритных изделий двухстоечные кантователи изготовляют с подъемными центрами.

Одностоечные кантователи представляют собой переднюю стойку двухстоечных кантователей. Эти механизмы применяют при сварке малогабаритных компактных рамных конструкций.

Цепные кантователи (рис. 7) применяют для сварки длинных балочных конструкций компактного сечения. Они отличаются простотой конструкции и не требуют крепления свариваемых изделий. Однако применение их при автоматической сварке нежелательно, так как изделие в кантователе не может быть установлено строго параллельно оси перемещения сварочного автомата. Для автоматической сварки балочных конструкций в последнее время создан [1] специальный рычажный кантователь.

Кольцевые кантователи (рис. 8) используют преимущественно при сварке крупногабаритных объемных конструкций.

Кантователи с домкратами применяют для кантовки крупногабаритных рамных конструкций. Они просты и компактны и обеспечивают безопасные условия работы при сварке весьма массивных и крупных изделий.

Роликовые стенды предназначены для вращения цилиндрических изделий с рабочей или маршевой скоростью при сборке, сварке и отделке. По типу привода их разделяют на приводные с рабочей (сварочной) скоростью, с установочной (маршевой) скоростью, с рабочей и маршевой скоростями и неприводные, по виду соединения роликоопор с соединительным валом (валами) и с приводными роликовыми секциями, по грузоподъемности — легкие, средние, тяжелые.

[1] ВПТИтяжмаш.

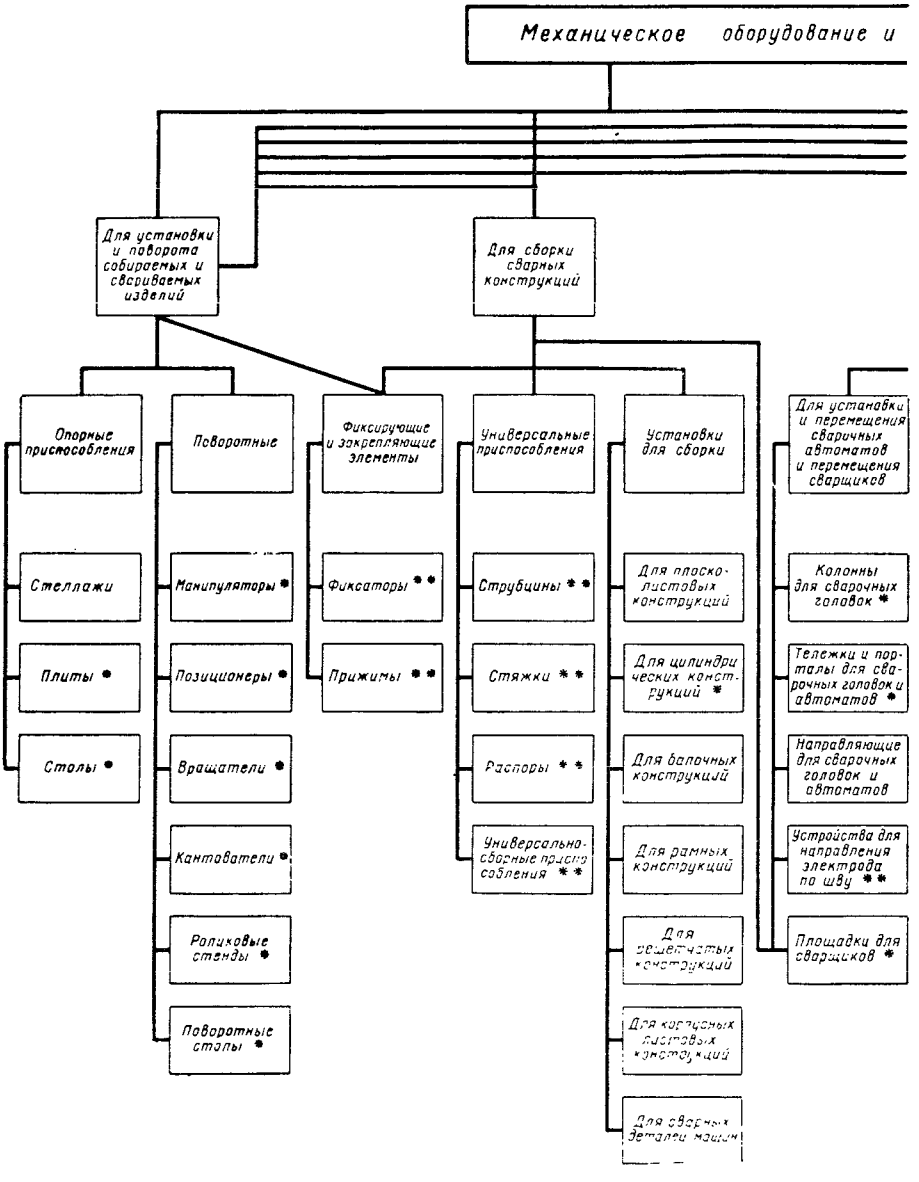
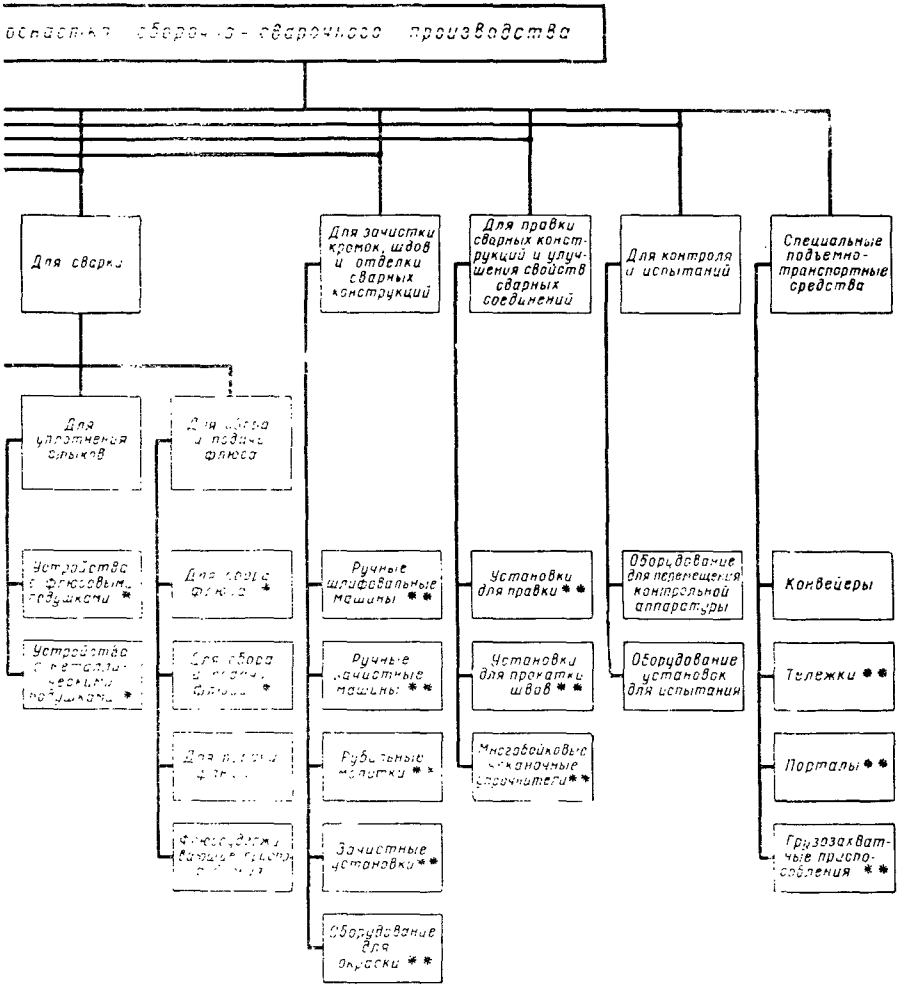


Рис. 2. Классификация механи-



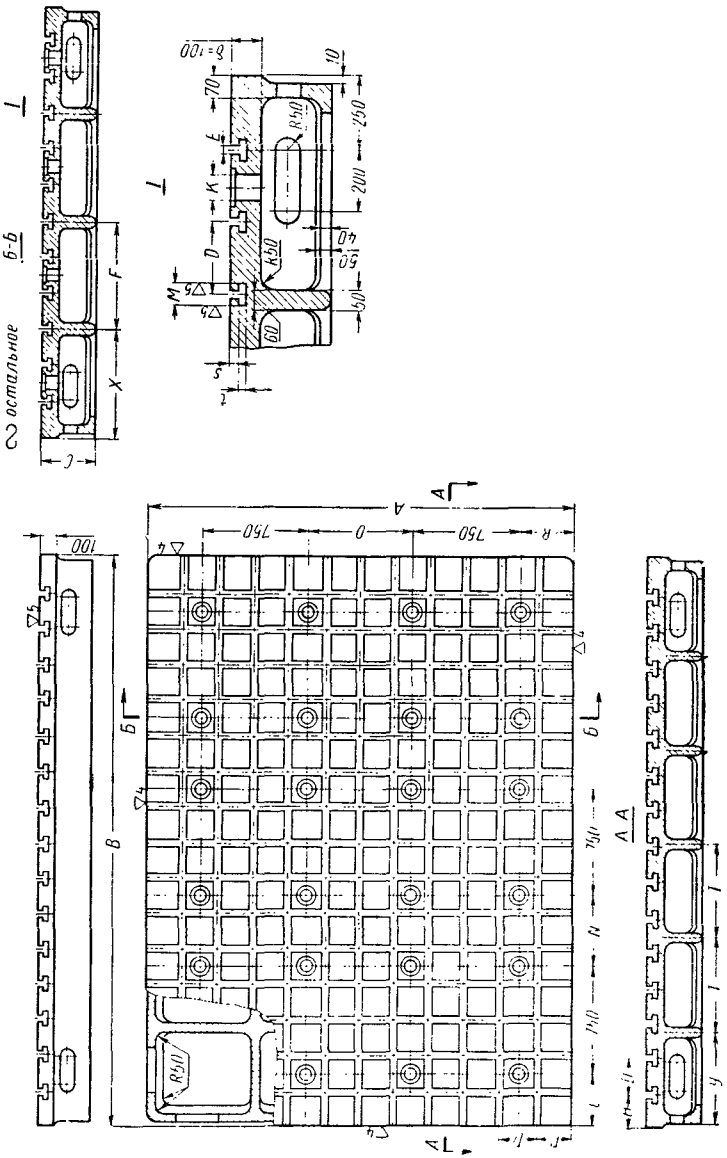
* Типаж разработан

** Требуется разработка типажа и нормалей

Звездочками не отмечены специализированное оборудование

ческого сварочного оборудования

8. Плиты Уралмашзавода для сборочно-сварочных работ



A	*B*	*C*	*D*	*K*	*P*	*N*	*F*	*G*	*I*	*H*	*L*	*E*	*N*	*O*	*M*	*s*	*t*	Вес в *т*
1500	1500	150	150	*	150	300	300	300	300	150	150	375	—	—	36	36	16	4,3
2000	3000	350	150	80	100	670	660	700	730	150	150	375	325	600	36	38	16	5,7
2000	3000	350	250	100	250	880	640	770	730	250	250	375	375	500	46	36	20	7,8
3000	4000	350	250	100	250	770	730	690	660	250	250	375	400	500	46	36	20	12,0
2000	6000	350	250	100	250	670	660	690	660	250	250	375	500	500	46	36	20	12,3
3000	6000	350	250	100	250	770	730	690	660	250	250	375	500	750	46	36	20	17,0

* Плита переносная и отверстий для заливки бетона не имеет

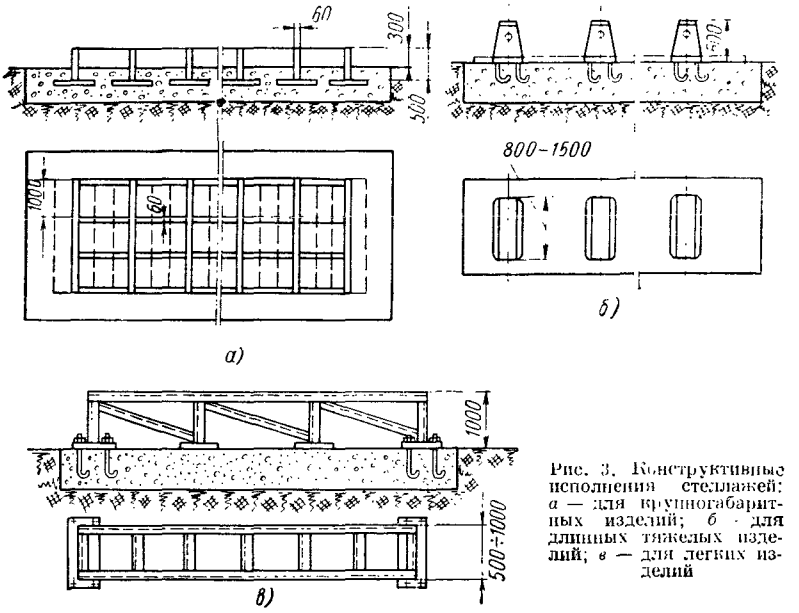


Рис. 3. Конструктивные исполнения стеллажей: *а* — для крупногабаритных изделий; *б* — для длинных тяжелых изделий; *в* — для легких изделий

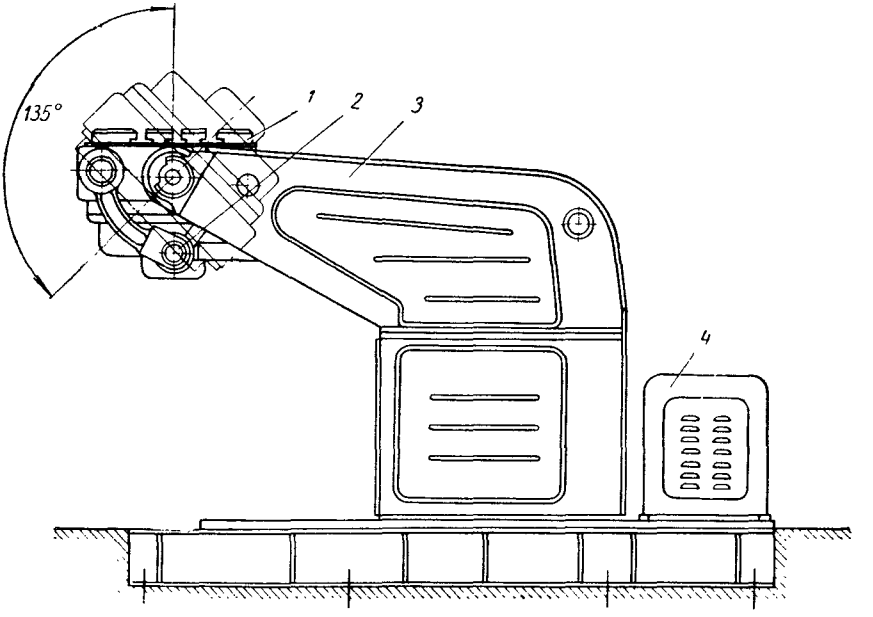


Рис. 4. Общий вид манипулятора М-8: *1* — стол; *2* — механизм наклона; *3* — станина; *4* — гидропривод

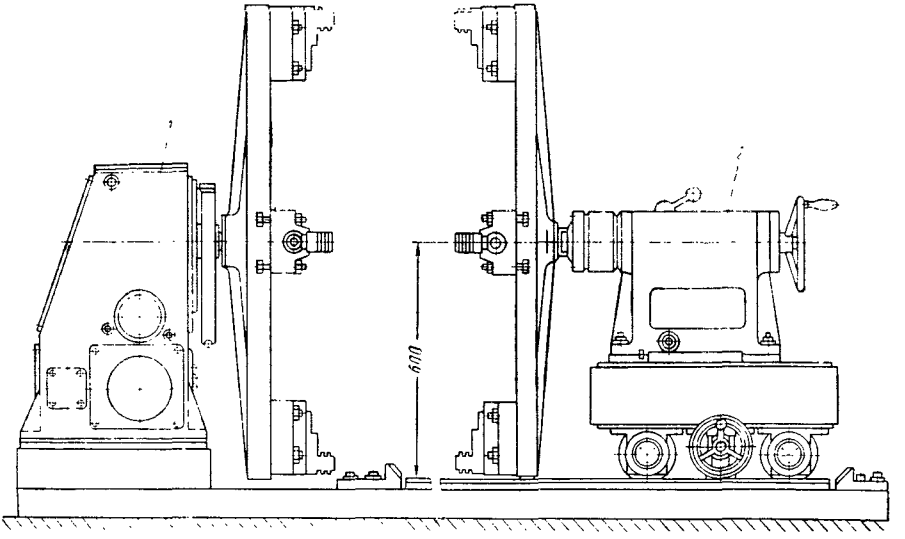


Рис. 5. Вращатель с горизонтальной осью вращения ВГ-0,25: *1* — передняя приводная стойка; *2* — задняя холостая стойка

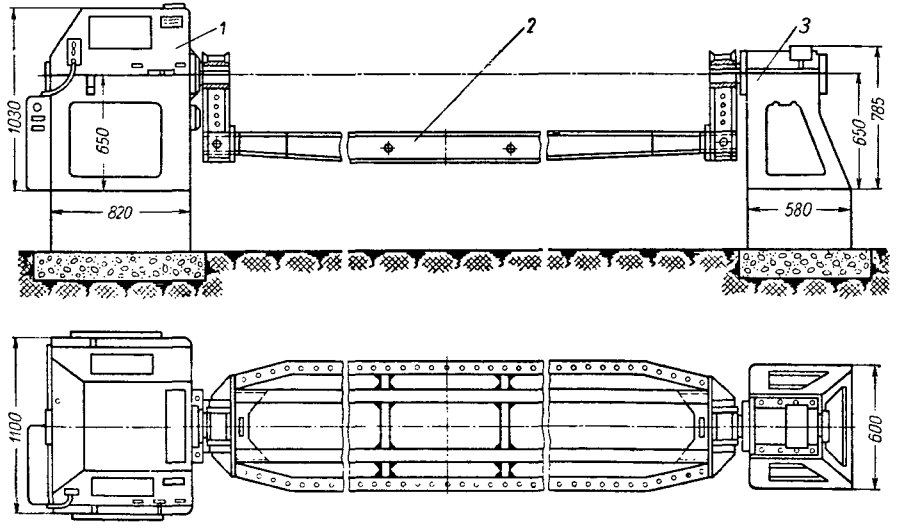


Рис. 6. Кантователь двухстоечный УДК-3: *1* — передняя приводная стойка; *2* — сменная рама; *3* — задняя холостая стойка

9. Технические данные манипуляторов и позиционеров

Показатели	Модель													
	М-0,06	М-0,12	М-0,25	М-0,5	П-0,5	М-1	П-1	УСМ-1200	М-2	П-2	М-4	П-4	УСМ-5000	М-8
Грузоподъемность *т*	0,06	0,12	0,25	0,5	0,5	1	1	1,2	2	2	4	4	5	8
Допустимый момент в *кГм*:														
относительно опорной плоскости стола	10	25	63	160	160	400	400	600 *	1200 *	1200*	3000*	3000*	2750*	8000*
на оси вращения стола	6	16	40	100	100	250	250	150	600	600	1600	1600	500	4000
Скорость вращения планшайбы в *об/мин*	0,125—3,15	0,1—2,5	0,08—2	0,08—2	1,95	0,04—1,01	0,958	0,056—2,262	0,0357—0,892	0,892	0,01—0,47	0,47	0,0264—0,942	0,008—0,5
Наибольший угол наклона стола в *град*	135	135	135	±180	±180	135	135	135	135	135	135	135	135	135
Габаритные размеры в *мм*:														
высота	800	800	800	1100	1100	950	950	1150	1240	1240	1290	1290	1330	1065
ширина	1020	1090	1200	1350	1350	1550	1550	1410	1850	1850	2650	2650	1790	1640
длина	1240	1190	1310	2310	2300	1690	1690	2350	1880	1880	2672	2672	2720	3640
Вес в *кг*	570	860	820	1200	1020	1750	1750	2370	2700	2700	4680	4210	5350	6980

* Допустимый момент на оси наклона стола.

Примечания: 1. Регулировка скорости вращения планшайбы манипуляторов у всех моделей — бесступенчатая.

2. Модели УСМ-1200 и УСМ-5000 изготовляют до освоения промышленного выпуска моделей М-1 и М-4.

3. Модели М-0,06; М-0,12; М-0,25 разработаны ВИСП, остальные — ВНИИтяжмаш.

10. Технические данные вращателей

Показатели	Модели					
	ВВ-0,25	ВВ-1	ВВ-4	ВГ-0,25	ВГ-1	ВГ-4
Грузоподъемность в *т*	0,25	1	4	0,25	1	4
Допустимый момент в *кГм*:						
на оси вращения	16	70	420	16	100	600
относительно опорной плоскости стола	—	—	—	63	400	2500
Скорость вращения планшайбы в *об/мин*	0,06—2	0,04—1,25	0,025—0,8	Диапазон регулирования 1:20	1:27	1:25
Габаритные размеры (длина× ×ширина×высота) в *мм*	965× ×900× ×745	1370× ×1250× ×800	1600× ×1600× ×800	4000× ×1631× ×1350	9000× ×1975× ×1950	15670× ×2000× ×2000
Вес в *кг*	540	715	1720	1680	4240	6037

Примечания: 1. Регулировка скорости вращения планшайбы — бесступенчатая.

2. Вращатели разработаны ВИСПом.

11. Технические данные кантователей

Показатели	Модель					
	КД-0,5	КД-1	КД-4	КДП-2	КДП-4	КДП-16
Грузоподъемность в *т*	0,5	1	4	2	4	16
Допустимый момент на оси вращения в *кГм*	80	200	800	400	800	4000
Высота центров в *мм*	800	1000	1000	500—1700	600—2000	800—2800
Скорость вращения шпинделя в *об/мин*	3	3	2	2,5	1,6	0,6
Длина свариваемых узлов в *мм*	1400—7000	2000—8000	2000—14000	До 10 000	До 13 000	До 18 500
Вес в *кг*	800	2650	3100	10 500	12 400	30 100

Примечания: 1. Длина кантователя зависит от длины свариваемых изделий.
2. Задняя стойка кантователей выполнена передвижной.
3. Кантователи разработаны ВИСПом.

На рис. 9 приведены схемы компоновки типовых роликовых стендов среднего и легкого типа, разработанных Институтом электросварки им. Е. О. Патона. Стенды предназначены для вращения с рабочей и маршевой скоростями при автоматической сварке цилиндрических изделий весом до 10 *т* (Т-15 и Т-17 для длинных изделий, Т-16, Т-18 и Т-19 — коротких). Стенды Т-15, Т-16 и Т-19

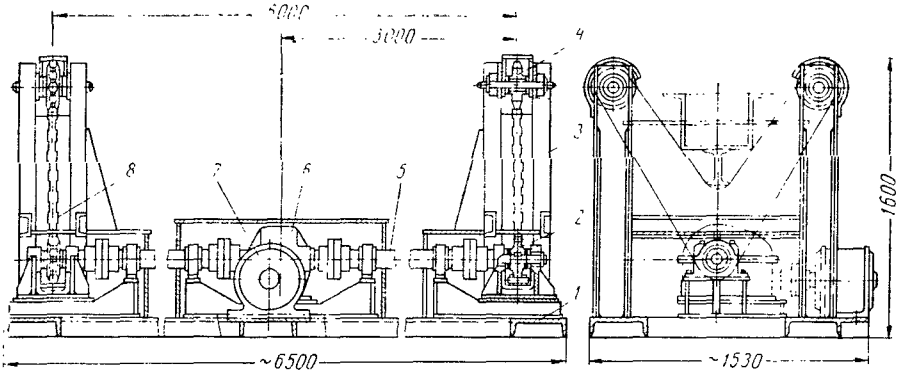


Рис. 7. Цепной кантователь: *1* — рама; *2* — приводная звездочка; *3* — стойка; *4* — холостая звездочка; *5* — вал; *6* — редуктор; *7* — электродвигатель; *8* — цепь

рассчитаны для вращения изделий, центр тяжести которых совпадает с осью их вращения, стенды Т-17 и Т-18 — для вращения изделий со смещенным центром тяжести относительно оси вращения. Стенд Т-19 позволяет вращать как цилиндрические, так и конические изделия. Количество роликоопор, а также расстояние между ними принимают в зависимости от размеров и веса свариваемых изделий. Стенды могут быть скомпонованы из роликоопор с перекидным роликом, что позволяет применить их для изделий с большим диапазоном диаметров. Стенды оборудованы типовым электромеханическим приводом Р-994 (рис 10) с двумя электродвигателями: асинхронным и постоянного тока. Асинхронный двигатель обеспечивает вращение изделий с маршевой скоростью 13 *м/мин*, двигатель постоянного тока — с регулируемым числом оборотов включается для вращения изделий с рабочей скоростью сварки 17—68 *м/ч*.

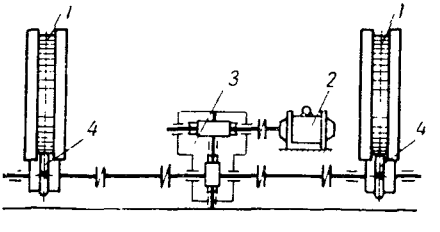


Рис. 8. Кинематическая схема кольцевого кантователя для сборки и сварки блоков днищевой: *1* — цевочное кольцо; *2* — электродвигатель; *3* — двухступенчатый червячный редуктор; *4* — звездочка

На рис. 11 изображен роликовый стенд тяжелого типа (грузоподъемностью до 60 *т*), разработанный ВНИИ тяжелого машиностроения. В зависимости от размеров и веса свариваемых изделий он набирается из разного количества приводных и холостых роликоопор с роликами, укрепленными на кронштейнах-балансирах.

В соответствии с типажом ВНИИом разработаны: приводы ПР-4 и ПР-63 и роликоопоры РП-1, РХ-1, РП-4 (рис. 12, *а*), РХ-4 (рис. 12, *б*), ПР-8 и РХ-8.

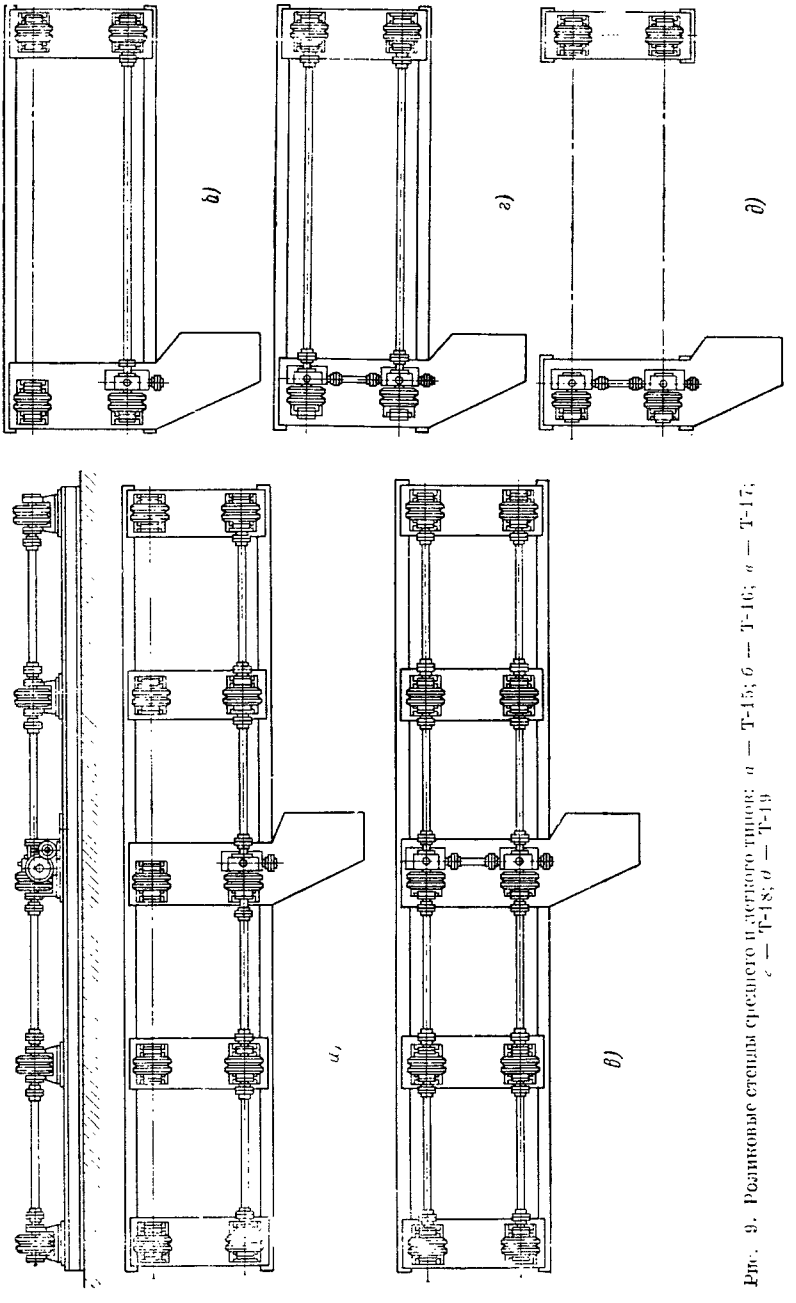


Рис. 9. Роликовые стенды среднего и легкого типов: *а* — Т-15; *б* — Т-16; *в* — Т-17; *г* — Т-18; *д* — Т-19

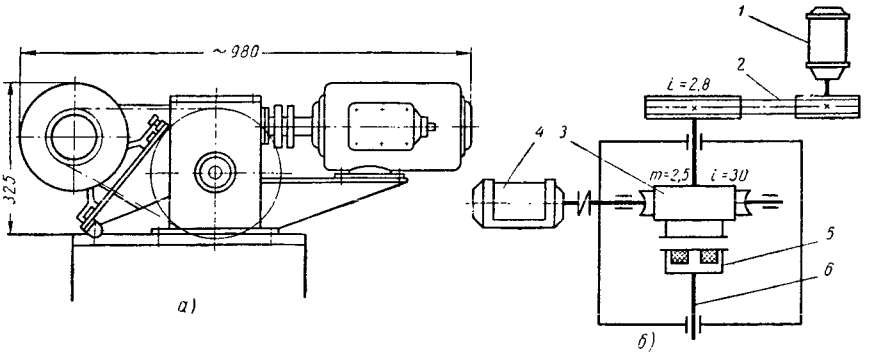


Рис. 10. Привод роликовых стендов Р-994: *а* — общий вид; *б* — кинематическая схема; *1* — асинхронный электродвигатель; *2* - клиноременная передача; *3* — червячная передача; *4* — электродвигатель постоянного тока; *5* — электромагнитная муфта; *6* — выходной вал

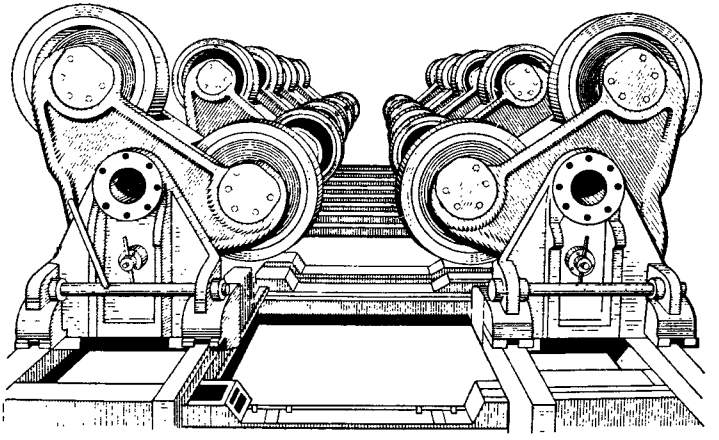


Рис. 11. Роликовый стенд тяжелого типа

Технические данные роликовых стендов с приводами ПР-4 и ПР-63

	ПР-4	ПР-63
Диаметры свариваемых изделий в *мм*	500—4000	800—4000
Диапазон рабочих скоростей сварки в *м/ч*	10—100	10—100
Маршевая скорость в *м/мин*	12	6
Регулирование рабочей скорости сварки	Плавное	
Стабильность рабочих скоростей на всем диапазоне регулировки в %	10	10
Габаритные размеры привода в *мм*	1220×940×720	1744×1260×895

Поворотные столы предназначены для поворота небольших изделий при ручной и полуавтоматической сварке. Столы типа СОН 0,06 высотой в пределах 600—900 *мм* и диаметром 800 *мм* разработаны ВИСИ.

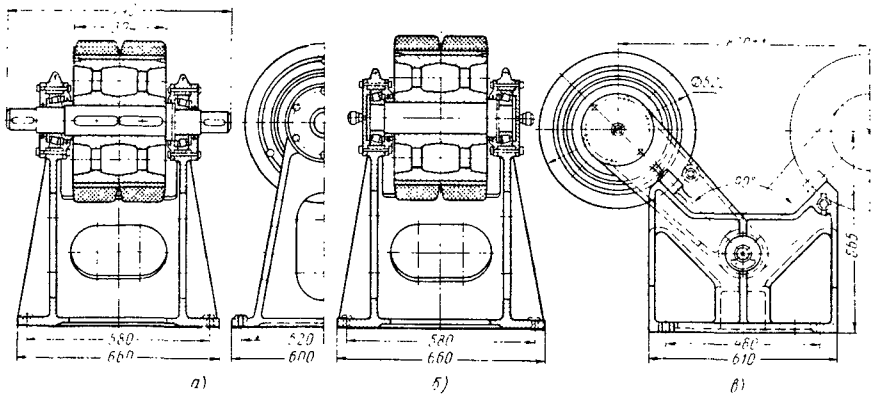


Рис. 12. Элементы роликовых стендов: *а* — роликоопора приводная РП-4; *б* — роликоопора холостая РХ-4; *в* — роликоопора холостая перекидная РХК-4

Оборудование для сборки сварных конструкций

Оборудование для сборки сварных конструкций целесообразно разделить на фиксирующие и закрепляющие элементы; универсальные переносные и съемные приспособления; комплексные сборочные установки и приспособления.

Фиксирующие и закрепляющие элементы. К фиксирующим элементам относятся упоры (постоянные, поворотные, откидные, выдвижные и съемные); установочные пальцы (постоянные, вставные и откидные); призмы (жесткие и регулируемые); шаблоны.

Постоянные упоры — это механически обработанные платики, бобышки или угольники, прикрепленные к основанию сборочного устройства сваркой или винтами и шпильками. Поворотные, откидные, выдвижные и съемные упоры (рис. 13) используют в тех случаях, когда собираемый узел невозможно или трудно вынуть из приспособления при применении постоянных упоров. Установочные пальцы служат для фиксации собираемых под сварку деталей по отверстиям в них. Призмы используют при сборке цилиндрических деталей. Шаблоны служат для установки мелких и средних по размерам деталей на относительно крупных узлах, особенно в мелкосерийном производстве. В большинстве случаев их выполняют съемными из листовой стали толщиной 3—4 *мм* и из листового алюминия толщиной 4—6 *мм*.

Закрепляющие элементы разделяются на прижимы с ручным приводом (винтовые, рычажные, рычажно-винтовые, эксцентриковые) и с механизированным приводом (пневматические, гидравлические и магнитные).

Винтовые прижимы (рис. 14) обеспечивают жесткое и надежное закрепление собираемых деталей, просты в устройстве и обслуживании. Серьезный недостаток — низкая производительность при их обслуживании.

Рычажные прижимы (рис. 15) являются быстродействующими и применяются в тех случаях, когда случайное раскрепление деталей не представляет опасности для работающих и не приведет к аварии.

Наибольшая производительность сборочно-сварочных приспособлений, облегчение условий труда и повышение точности и качества сборочных работ достигаются при использовании пневматических, гидравлических, пневмогидравлических, вакуумных и магнитных закрепляющих устройств. Пневматические прижимы (рис. 16) разделяют по виду приложения зажимного усилия — прямого действия и рычажные; по виду пневмопривода — на поршневые и диафрагменные; по способу крепления привода — на неподвижные, качающиеся

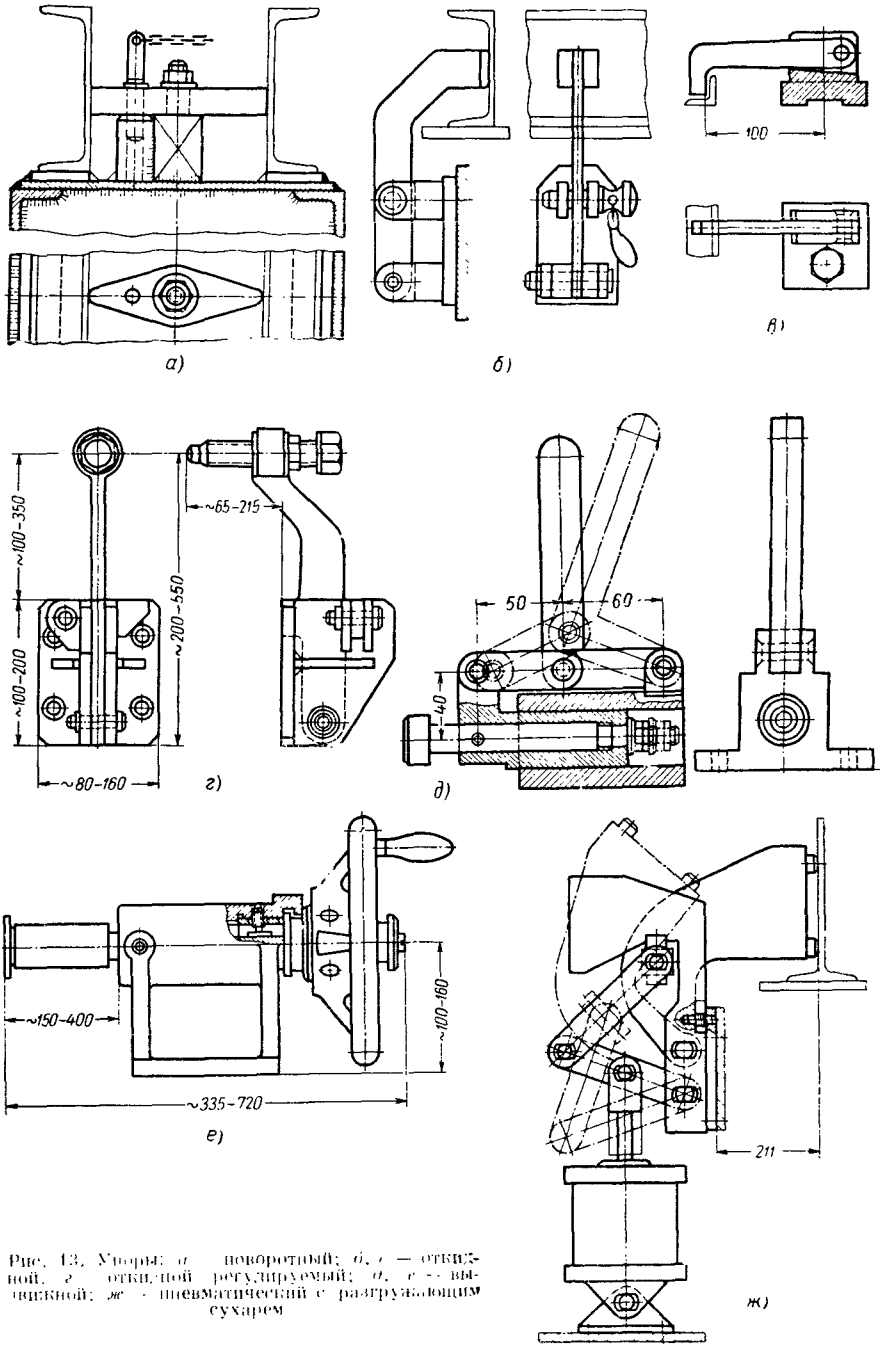


Рис. 13. Упоры: *а* — поворотный; *б*, *г* — откидной, *г* — откидной регулируемый; *д*, *е* — выдвижной; *ж* — пневматический с разгружающим сухарем

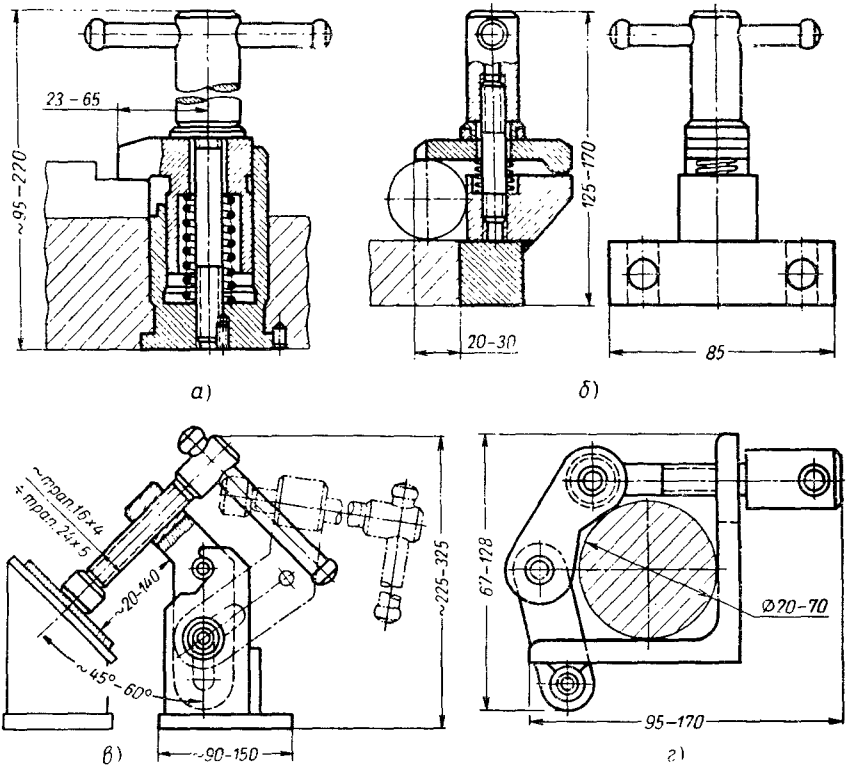


Рис. 14. Винтовые прижимы: *а* — с верхним прихватом; *б* — с поворотным прихватом; *в* — откидной с наклонным винтом; *г* — для стержней

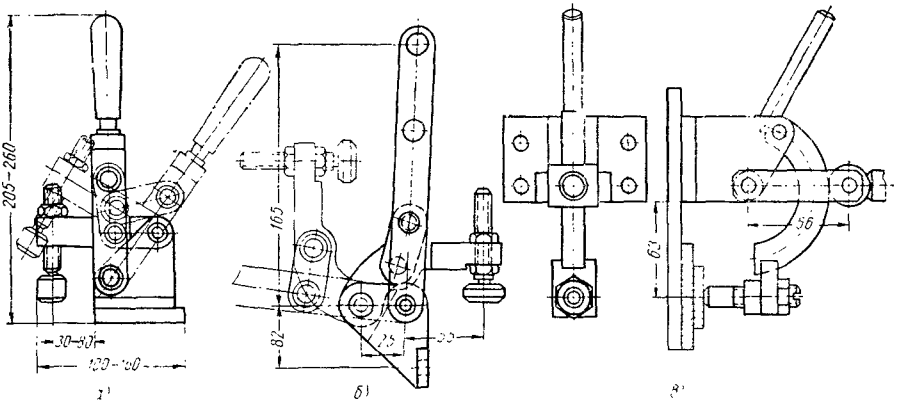


Рис. 15. Рычажные прижимы: *а* — с малым вылетом рычага; *б* — с фланцевым креплением; *в* — рычажно-эксцентриковый

и плавающие. Гидравлические прижимы позволяют значительно увеличить усилия при закреплении деталей. Пневмогидравлический привод позволяет увеличить скорость действия гидравлических прижимов.

При разработке сборочно-сварочных приспособлений конструкции и размеры пневматических цилиндров принимают по нормалям машиностроения МН 2936-62 — МН 2952-62 и гидравлических цилиндров — по нормалям машиностроения МН 2251-61 — МН 2253-61 и МН 2255-61

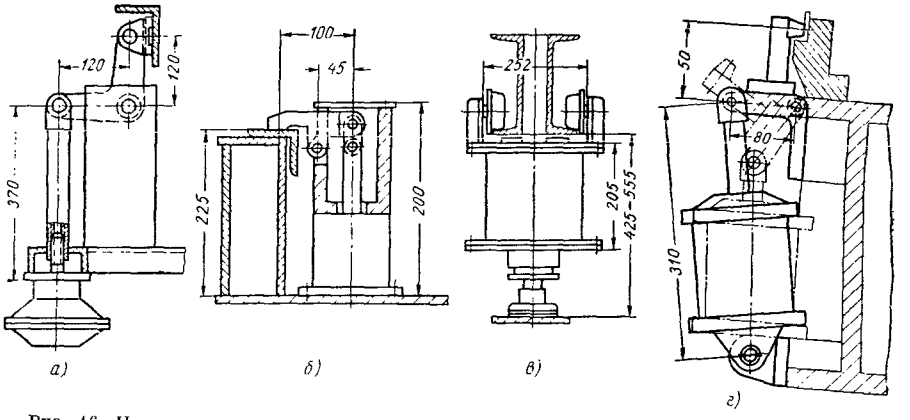


Рис. 16. Прижимы: *а* — с пневмокамерой; *б*, *в*, *г* — с пневматическими цилиндрами

Универсальные переносные и съемные приспособления. К универсальным приспособлениям относятся переносные струбцины, стяжки, фиксаторы, распоры, домкраты, а также универсальные сборные перепалаживаемые приспособления (УСП). Они могут быть ручными и механизированными. Типовые конструкции ручных универсальных приспособлений приведены на рис. 17. На рис. 18 изображены типовые электромагнитные фиксаторы, предназначенные для выравнивания кромок при сварке встык, фиксирования зазоров между кромками, прижима листов при сварке внахлестку и для удержания листов в вертикальном положении при сборке и сварке втавр. Фиксаторы разработаны институтом «Гидростроймеханизация» и имеют следующие технические данные:

Тип фиксатора	Одинарный	Угловой
Толщина свариваемых листов в *мм*	5–35	5–35
Усилие притяжения в *кГ*	500	500
Источник питания	Понижающий трансформатор с выпрямителем	
Род тока	Постоянный	
Напряжение питания в *в*	24	24
Габаритные размеры в *мм*	310×142×213	323×142×372
Вес в *кг*	19	36

На рис. 19 приведен регулируемый электромагнитный фиксатор, предназначенный для установки и фиксирования деталей под углом 30—150°. Фиксатор имеет следующие технические данные:

Усилие притяжения в *кг*	40
Род тока	Постоянный
Тип трансформатора	ОСО-0,25
Напряжение тока магнитов в *в*	36
Напряжение в питающей сети в *в*	380
Тип выпрямителя	АВС-90/71
Потребляемая мощность в *квт*	0,4
Вес (без электрооборудования) в *кг*	12

Рис. 17. Ручные универсальные приспособления: *а* — струбцина винтовая; *б* — струбцина винтовая с переставной опорой; *в* — струбцина с трещоткой; *г* — струбцина винтовая для сборки продольных кромок обечаек

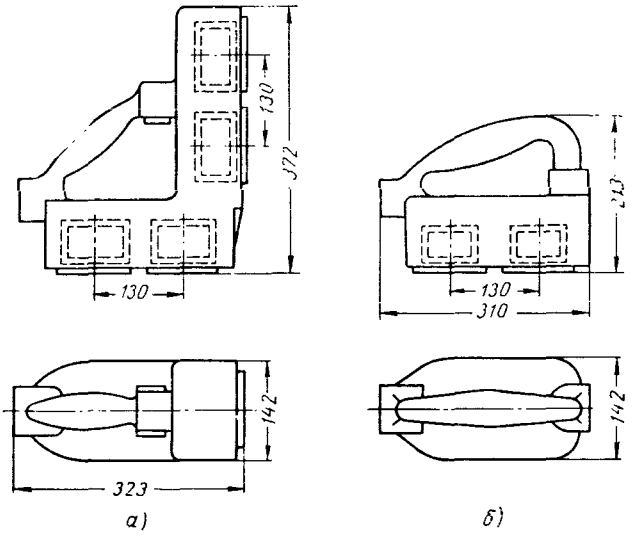


Рис. 18. Электромагнитные фиксаторы: *а* — угловой; *б* — одинарный

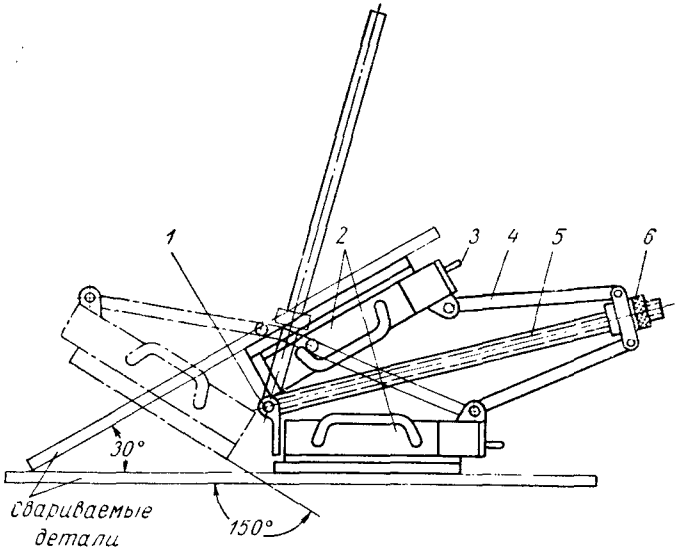


Рис. 19. Электромагнитный регулируемый фиксатор: *1* — шарнир; *2* — электромагнит; *3* — выключатель; *4* — шарнирная система; *5* — винт; *6* — гайка

На рис. 20 показан пример применения УСП, предназначенных для сборки и сварки металлоконструкций типа рам, каркасов, стоек из профильного и листового материала. Комплект УСП состоит из составных плит *1* и набора унифицированных приспособлений: рычажных и винтовых прижимов *2*, установочных

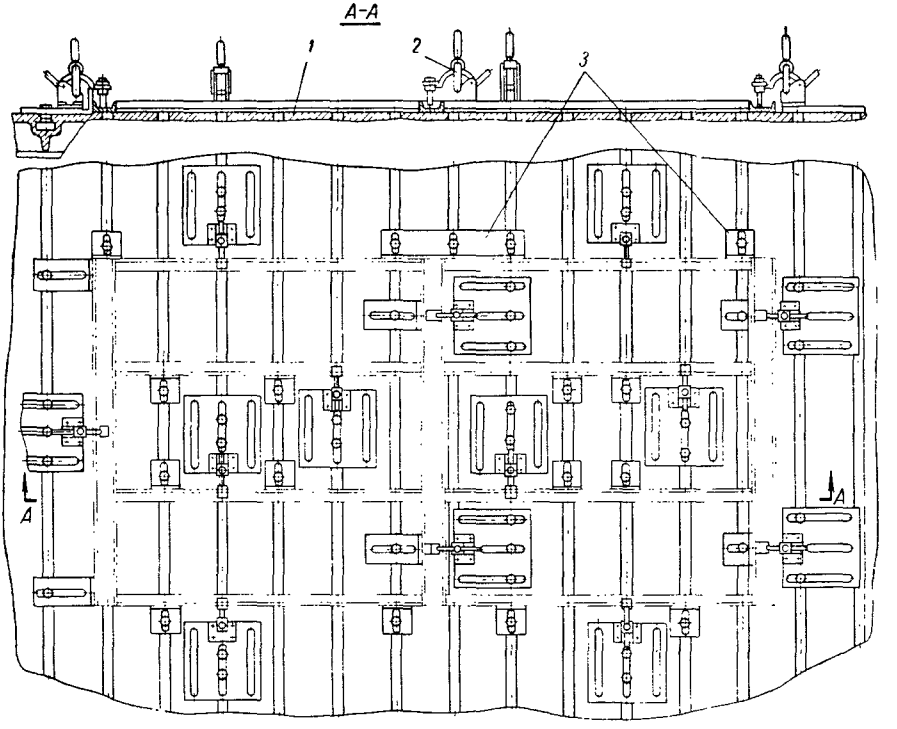


Рис. 20. Схема применения УСП на Таганрогском заводе электротермического оборудования

призм, упоров, угольников *3* и т. д. Плиты с продольными пазами и координатной сеткой монтируют на полу, выверяют по плоскости и заливают бетоном. УСП позволяют производить сборку и сварку пространственных конструкций. Для этого в комплект добавляют боковые вертикальные плиты, оснащенные упорами и прижимами. Комплект УСП имеет следующие технические данные:

Вес собираемых изделий в *кг*	До 3000
Наибольшие размеры собираемых изделий в *мм*	3000×3000×2000
Размеры плитного настила в *мм*	4000×4000
Размеры отдельных плит в *мм*	800×2000×150
Расточные между пазами (шаг) в *мм*	200
Время наладки для сборки:	
простого изделия (плоской рамы) в *мин*	40
сложного пространственного изделия (наладку ведут два человека) в *ч*	2—3

Сборочные установки. Сборочные установки, стенды и приспособления обычно представляют собой специализированные устройства, конструкция которых зависит от вида и размеров свариваемых изделий, требуемой точности изготовления, серийности и объемов выпуска.

Установки для сборки плосколистовых конструкций. Типовыми решениями таких установок являются электромагнитные стенды (см. рис. 32 и 33) и установки с катучими балками. Последние применяют для сборки листовых полотнищ встык и внахлестку, установки ребер, накладок и других деталей на листы, для сборки каркасов с листами. Катучие балки (рис. 21) имеют 1—4 пневматических прижима и колею до 15 *м*. Стенд с катучей балкой применяется, например, на вагоностроительном заводе им. Егорова для сборки и сварки боковин кузова цельнометаллического пассажирского вагона [2].

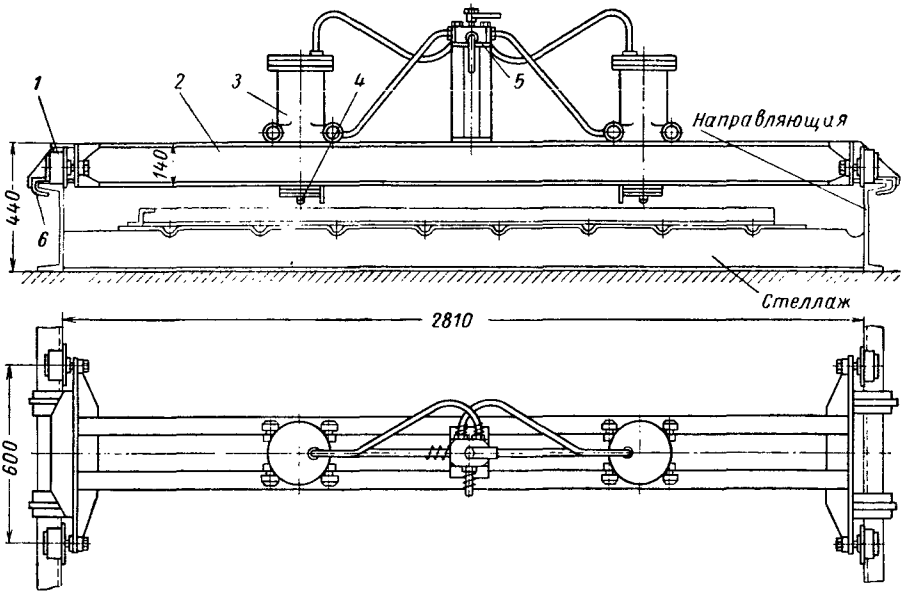


Рис. 21. Катучая балка для сборки плосколистовых конструкций: *1* — каток; *2* — рама; *3* — передвижной пневматический цилиндр; *4* — прижим; *5* — кран; *6* — захват

Установки для сборки цилиндрических изделий. На рис. 22 изображена установка для сборки продольных стыков обечаек, разработанная ВНИИстройдормашем. Установка состоит из портальной рамы *2*, двух гидравлических струбцин *4*, подвешенных на пружинных балансирах *6* к тележкам *7* вместе с гидропанелями управления *3*, гидравлической стяжки *5* и пневмогидросистемы *1*. Гидрострубцина состоит из двух зажимных *8*, одного выравнивающего *9* и одного стягивающего *10* цилиндров. Стяжка представляет собой гидроцилиндр с двумя накидными крючками и цепью. Обечайку с помощью наклонного стеллажа ставят на роликоопоры и поворачивают стыком вверх. Струбцины надевают на кромки обечайки и зажимают их. Перекос кромок выправляют с помощью стяжки, после чего их выравнивают и сводят посредством соответствующих цилиндров струбцин. Сведенные кромки прихватывают, начиная с середины стыка. Собранная обечайка снимается с роликоопор выталкивателем *11*.

На рис. 23 изображена установка для сборки обечаек по кольцевым стыкам, разработанная Волгоградским заводом им. Петрова. На роликовый стенд устанавливают две обечайки *1* и *11*. Скоба *3* вводится внутрь обечаек, и прижимом *9* обечайка *1* прижимается к упору *1*, затем прижимом *4* обечайка *11* досы-

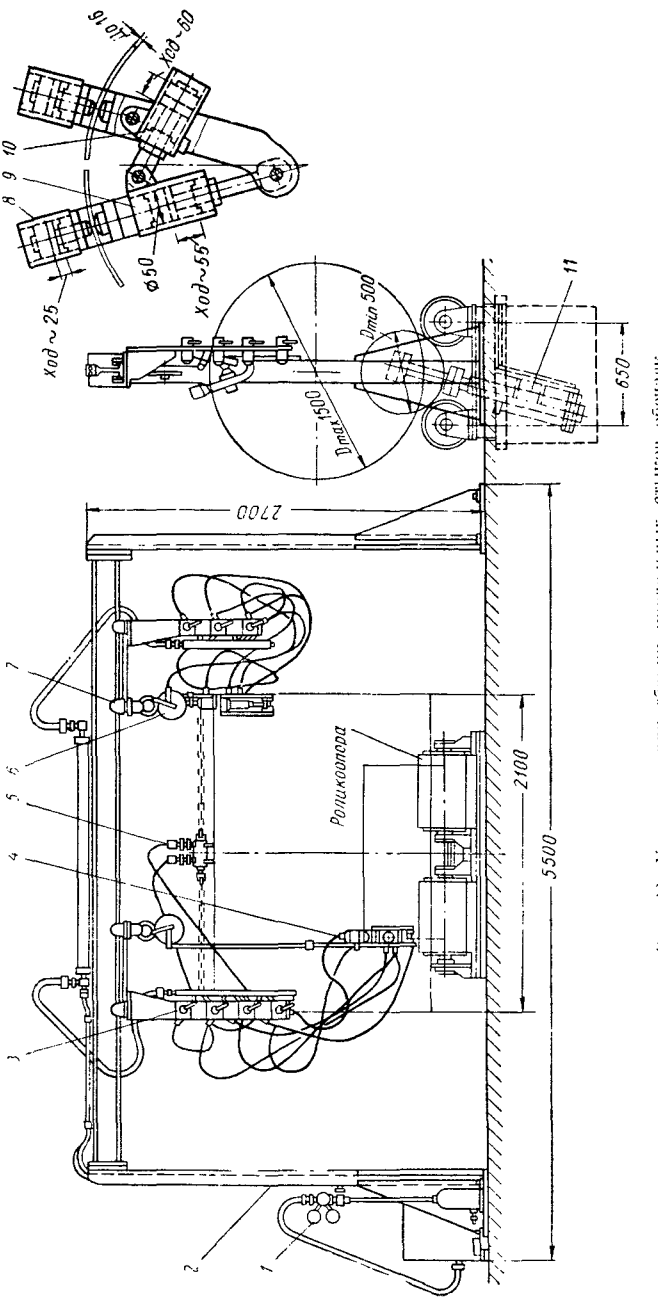


Рис. 22. Установка для сборки продольных стыков обечаек

лается и прижимается к обечайке *I*, после чего прижим *9* отводится. Далее прижимом *8* кромки обеих обечаек прижимаются к упору *2* и таким образом выравниваются. В этом положении производится прихватка. После этого прижим *8*

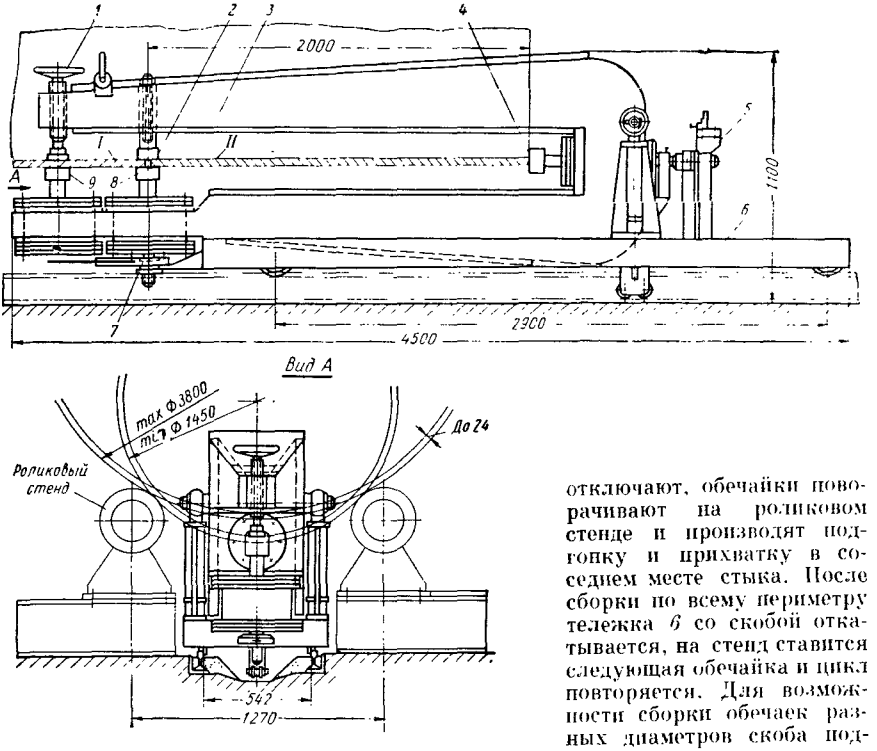


Рис. 23. Установка для сборки обечаек по кольцевым стыкам

отключают, обечайки поворачивают на роликовом стенде и производят подгонку и прихватку в соседнем месте стыка. После сборки по всему периметру тележка *6* со скобой откатывается, на стенд ставится следующая обечайка и цикл повторяется. Для возможности сборки обечаек разных диаметров скоба поднимается относительно тележки с помощью пневмопривода *5*. Передняя часть скобы при этом опирается штоком цилиндра на рычаг-трещотку *7*, который регулируется на разную высоту.

На Волгоградском заводе им. Петрова эксплуатируется аналогичная установка с гидравлическими прижимами для обечаек с толщиной стенок 10—70 *мм*. Эта установка имеет следующие технические данные:

Размеры собираемых обечаек в *мм*:	
диаметр	1600 - 3800
длина	До 2000
Длина собираемого сосуда в *мм*	До 15 000
Несовпадение кромок обечаек в *мм*	До 30
Давление эмульсии в гидросистеме в *кГ/см²*	200
Усилие прижимов в *кГ*:	
горизонтального	3500
для правки кромок	60 000
Усилие фиксирующего цилиндра в *кГ*	14 000
Ширина колеи тележки в *мм*	800
База тележки в *мм*	325
Скорость передвижения тележки в *м/мин*	20
Габаритные размеры установки в *мм*	5730×1300×1750

Сборка обечаек с днищами осуществляется на специализированных установках (см. гл. VII, рис. 29). Указанная установка имеет следующие технические данные:

Размеры собираемого изделия в *мм*:	
диаметр	2800
длина	10 300
толщина стенки	9—11
Усилие, развиваемое каждым цилиндром, в *кГ*	600
Давление воздуха в сети в *кГ/см²*	4
Ход поршня в *мм*	150
Габаритные размеры установки в *мм*	12 500×4600×4500

Для обеспечения соосности и совмещения торцовых кромок обечаек и труб при их сборке по кольцевым стыкам применяют наружные и внутренние центраторы. Наружный центратор (рис. 24) состоит из нескольких наружных *6* и внутренних *5* звеньев, шарнирно соединенных между собой и образующих вместе с крючками *3* замкнутую цепь. На внутренних звеньях укреплены ролики *4*, которыми цепь опирается на трубы. Замыкающий шарнир представляет собой крестовину *2* с натяжным винтом *1*. При сборке раскрытую цепь центратора подводят под трубы, на цапфы крестовины надевают крючки. При этом пластины цепи располагают симметрично по обеим сторонам от плоскости стыка. Затем цепь натягивают винтом *1*, а ролики *4* совмещают кромки обеих труб. Технические данные типовых центраторов приведены ниже.

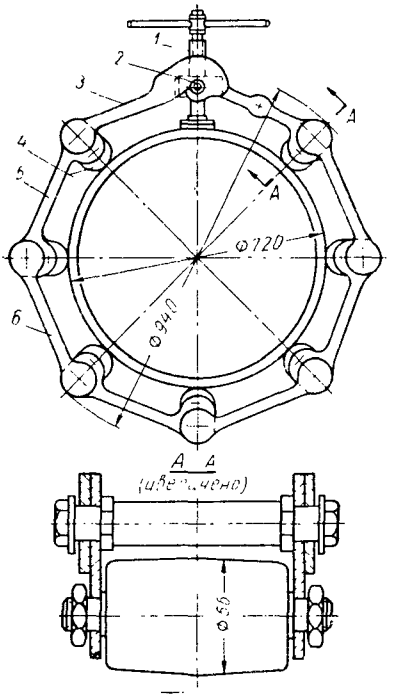


Рис. 24. Наружный центратор для сборки труб

Установки для сборки балочных конструкций. К этому типу оборудования относятся установки с передвижными сборочными порталами, неповоротные установки и кондукторы, поворотные кондукторы.

Установки с передвижными сборочными порталами применяют в условиях многономенклатурного выпуска, их можно использовать для сборки балок неограниченной длины.

Центраторы Института электросварки им. Е. О. Патона

Тип	Р-991-1	Р-990-1	Р-969-1
Размеры собираемых труб в *мм*:			
диаметр	720	820	1020
толщина стенок		9—10	
Габаритные размеры центраторов в *мм*:			
высота	1080	1180	1380
диаметр описанной окружности	940	1040	1240
ширина (вдоль трубы)	160	160	160

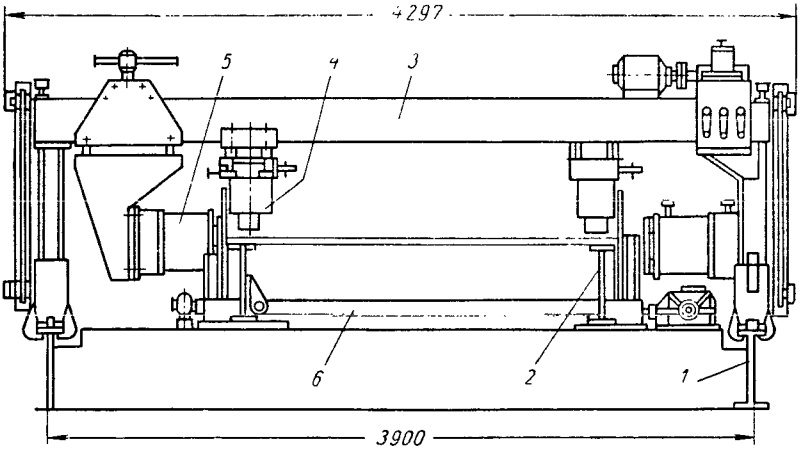


Рис. 25. Установка с самоходным порталом для сборки двутавровых балок

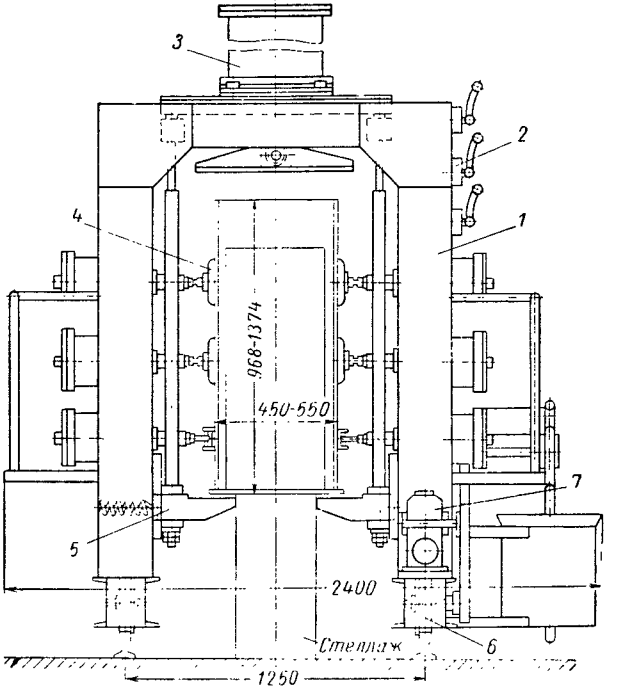


Рис. 26. Самоходный портал для сборки коробчатых балок

Универсальные центраторы треста Оргстрой

Тип	505	589
Диаметр собираемых труб в *мм*	478; 529; 630; 720; 820	920; 1020; 1120; 1220; 1320; 1420
Габаритные размеры центратора в *мм*:		
диаметр описанной окружности	$D+160$	$D+160$
ширина (вдоль трубы)	200	200
Вес в *кг*	27	34

Установка для сборки двутавровых балок (рис. 25), созданная на Новокузнецком заводе металлоконструкций, состоит из сварной рамы *1*, двух балок *2*, служащих постелью для стенки собираемого двутавра, самоходного портала *3* с двумя вертикальными *4* и двумя горизонтальными *5* пневматическими прижимами. Одну из опорных балок при помощи винтов *6* через привод можно устанавливать в соответствии с высотой собираемого двутавра. Один вертикальный и один горизонтальный прижимы могут перемещаться вдоль портала. Портал передвигается по рельсовому пути вдоль рамы. Полки балок укладывают на опорные винты, установленные на определенную высоту. Установка имеет следующие технические данные:

Размеры собираемых балок в *мм*:	
длина	До 15 000
высота	460—2000
ширина полки	До 600
толщина полки	До 50
Скорость передвижения портала в *м/мин*	36
Усилие, развиваемое прижимами, в *кГ*:	
вертикальными	2500
горизонтальными	5000
Габаритные размеры установки в *мм*	16450×4300×1750
Вес в *т*	13,8

На рис. 26 изображен самоходный портал для сборки коробчатых балок, разработанный ВНИИтяжмаш для краностроительных заводов. Портал состоит из сварного каркаса *1*, вертикального *3* и горизонтальных *4* прижимов с пневматическими цилиндрами, захватов *5* и ходовых колес *6*. Захваты вместе с вертикальными прижимами составляют замкнутую силовую систему, разгружающую каркас и ходовые колеса порталов от вертикальных усилий. Воздух подводится через краны *2*. Портал оборудован механизмом передвижения *7* с электродвигателем, червячным редуктором и цепной передачей. Портал устанавливают против мест прихватки (начиная с конца балки), включают боковые и верхний прижимы и производят прихватку боковых стенок, прилитых к горизонтальному поясу и диафрагмам. После этого прижимы отводят, портал передвигают вдоль балки к месту следующих прихваток, и цикл повторяется.

Технические данные порталов

Назначение	Для пролетных балок мостовых кранов	Для концевых балок мостовых кранов
Габаритные размеры собираемых балок в *мм*:		
ширина	450—550	342
высота	968—1374	640—780
толщина боковых стенок	6	6
Толщина горизонтального пояса в *мм*	6—14	6—8
Количество горизонтальных прижимов	6	2
Усилие прижимов в *кГ*:		
вертикальных	4000	1000
горизонтальных	1000	1000
Ширина колеи в *мм*	1250	700
База в *мм*	1250	600
Скорость передвижения в *м/мин*	37	Перемещение ручное
Габаритные размеры в *мм*:		
длина	2600	800
ширина	2400	1300
высота	2915	1600
Вес в *т*	2,0	0,8

В серийном и массовом производствах для сборки балочных конструкций используют специализированные установки и кондукторы. При необходимости кантовки балок в процессе их сборки кондукторы выполняют поворотными.

Примером типового решения неповоротного кондуктора для сборки балочных конструкций может служить кондуктор, созданный на Днепродзержинском заводе им. газеты «Правда» [2]. Собираемая балка размером 13760 × 520 × × 550 *мм* состоит из двух двутавров с вваренными между ними четырьмя диафрагмами и поперечными планками. К концам балки между двутаврами приваривают литые упорные кронштейны. Детали устанавливают по упорам и фиксаторам, а закрепляют пневматическими прижимами. Поворотные кондукторы для сборки балочных конструкций описаны в работе [2].

Установки для сборки рамных конструкций. Конструкция установок зависит от конфигурации рамы, а также от вида и масштаба производства. Обычно они узко специализированы.

Типовым решением может служить стенд для сборки и прихватки каркаса лонжерона автобуса, разработанный на Львовском автобусном заводе [2]. Каркас лонжерона представляет собой плоскую раму размером 9038 × 780 × × 220 *мм*, состоящую из двух продольных труб прямоугольного сечения и набора поперечин и раскосов. Точная установка элементов рамы осуществляется по неподвижным упорам и выдвижным штыревым фиксаторам, а прижим деталей — с помощью откидных рычажных пневматических прижимов.

Стенд для сборки объемной рамы разработан на Уралмашзаводе. Он используется для сборки и сварки ног вышки буровых установок [2]. Нога вышки представляет собой трехгранную ферму размером 42600 × 1800 × 1560 *мм*, расчлененную на четыре цельносварные секции, которые соединяют на фланцах болтами. Стойки фермы выполнены из труб диаметром 140 *мм* с толщиной стенки 8 *мм* и связаны между собой трубчатыми раскосами. Точная установка элементов рамы осуществляется с помощью призм и фиксаторов, а прижим — с помощью клинорычажных пневматических прижимов. После окончания сборки секций все соединения тщательно осматривают и сваривают. Сварка производится в стенде, что исключает коробление изделия.

Типовое решение поворотного стенда для сборки рам разработано ВНТИтяжмаш [2] и применено при изготовлении рам тепловоза ТГМ-3 размером 11800 × 3000 × 750 *мм*. Сборочная установка состоит из кондуктора, на котором размещены пневматические упоры и прижимы. Кондуктор установлен на кантователе с гидродомкратами. После сборки и прихватки производится сварка. При этом кондуктор с закрепленной в нем рамой поворачивается кантователем в удобное для сварки положение. Вдоль стенда проложены пути, по которым перемещаются тележки для сварщиков.

Механическое оборудование для сварки

Оборудование для установки и перемещения сварочных автоматов и перемещения сварщиков. Оно разделяется на следующие группы: колонны для сварочных головок, тележки и порталы для сварочных головок и автоматов, направляющие для сварочных головок и автоматов, устройства для направления электрода по шву, площадки для сварщиков. Устройства для направления электрода по шву рассмотрены в первом томе настоящего справочника.

Колонны применяют при автоматической сварке кольцевых и прямолинейных швов изделий, свариваемых на манипуляторах, вращателях и роликовых стендах. Колонны с подвесными несамоходными сварочными головками (рис. 27*) используют для сварки кольцевых швов, а с самоходными (рис. 28 *) — прямолинейных и кольцевых. Для сварки крупногабаритных изделий колонны выполняют с балконом. Технические данные типовых унифицированных колонн приведены в табл. 12.

* Ссылки даны на рисунке велосипедных тележек, имеющих унифицированные колонны.

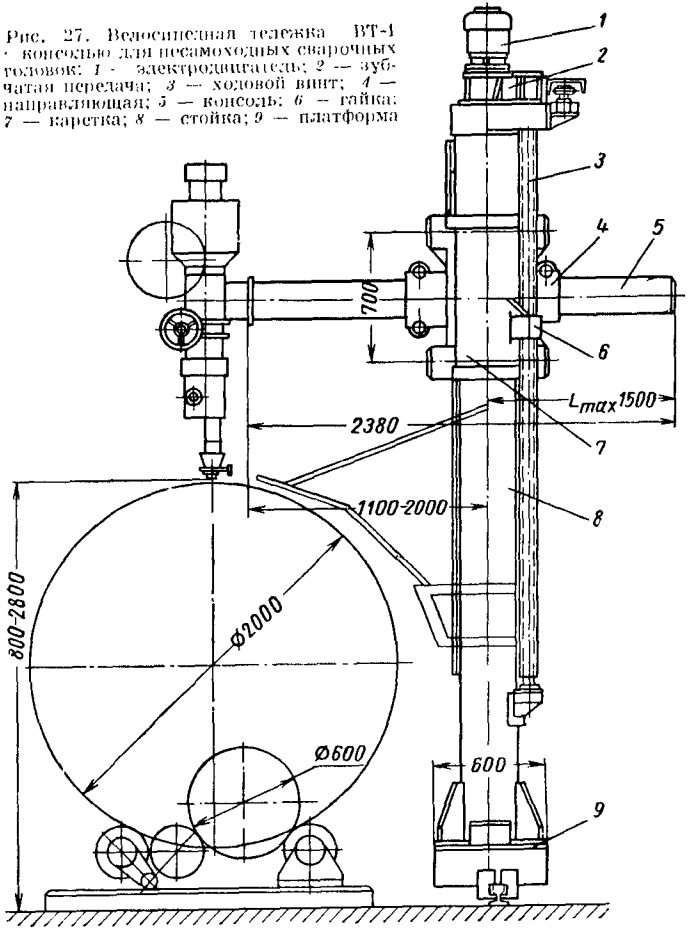


Рис. 27. Велосипедная тележка ВТ-1 с консолью для несамоходных сварочных головок: *1* — электродвигатель; *2* — зубчатая передача; *3* — ходовой винт; *4* — направляющая; *5* — консоль; *6* — гайка; *7* — каретка; *8* — стойка; *9* — платформа

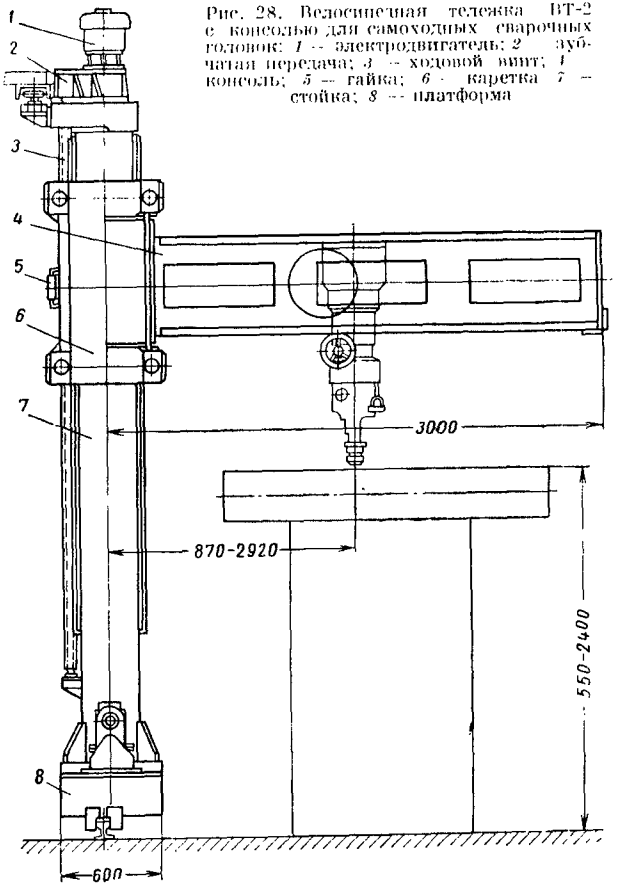


Рис. 28. Велосипедная тележка ВТ-2 с консолью для самоходных сварочных головок: *1* — электродвигатель; *2* — зубчатая передача; *3* — ходовой винт; *4* — консоль; *5* — гайка; *6* — каретка; *7* — стойка; *8* — платформа

12. Технические данные унифици

Показатели	Поворотные колонны				Велосипедные
	ПК-1 для несамоходных сварочных головок	ПК-2 для самоходных сварочных головок	ПК-4 для самоходных сварочных головок	ПК-3 с балконом	ВТ-1 для несамоходных сварочных головок
Тип сварочного автомата . .	АБ, А-384	АБС	АБС, А-874	ТС-35, АБС	АБ, А-384
Высота уровня сварки в *мм*	480—2160	480—1960	Для АБС 1360—4160 для А-874 1300—4300	2200—4800	800—2800
Расстояние от оси стойки до оси электрода в *мм*	1300—2200*	750—2750	4130*	2240—2440	1100—2000*
Наибольшая длина свариваемых прямолинейных швов в *мм*	—	2000	Для АБС 2800 Для А-874 2500	2500	
Скорость перемещения тележки:					
маршевая в *м/мин*	—	—	—	—	11
рабочая в *м/ч*	—	—	—	—	19—77
Скорость подъема и опускания консоли или балкона в *м/мин*	2,0	2.0	2.0	2.0	2.0
Скорость выдвижения консоли в *м/мин*	1,0	—	—	—	1.0
Угол поворота стойки с консолью в угловых градусах	360	360	270	270	—
Габаритные размеры в *мм*	2380××1000××4500	3750××1000××4530	3000××1350××6500	4300××3600××7300	2520×2380××4900
Вес в *кг*	2025	2250	4500	4500	2200

* Вылет консоли.

Примечания: 1. Тележки ВТ-1, ВТ-2, ВТ-4, ГТ-1 и ГТ-2 имеют бесступенчатую
2. Оборудование разработано институтом электросварки им. Е. О. Патона.

13. Технические данные площадок для сварщика

Показатели	Модель	
	ПСП-4	ПСУ-2/1,6
Грузоподъемность в *кг*	300	250
Высота подъема над полом в *мм*:		
наименьшая	1600	800
наибольшая	4000	2200
Вылет балкона от оси колонны в *мм*:		
наименьший	1650	0
наибольший	2600	1650
Размер балкона в плане в *мм*	1000×1750	1800×900
Колея в *мм*	1400	1400
База в *мм*	1900	1450
Габариты в *мм*	2500×2000×5000	1930×1540×1760
Вес в *кг*	2800	2100

Примечание. Площадка ПСП-4 разработана ВНИИОМ, площадка ПСУ-2/1,6 разработана ВНИИГПЖмаш.

рованных колонн и тележек

Тележки с консолью		Велосипедные тележки с балконом		Глаголные тележки		Портальные тележки для сварки сосудов диаметром в мм	
Вт-2 для самоходных сварочных головок	ВТ-4	ВТ-2Б	ВТ-3	ГТ-1 с неповоротной колонной	ГТ-2 с поворотной колонной	ПТ-1 1200—4000	ПТ-2 1000—6000
АБС	АБС, А-874	ТС-17, ТС-33, ТС-35	АБС, ТС-35	АБ, А-384	АБ, А-384	ТС-17Р, ТС-33, ТС-35, АБС, А-874	ТС-17Р, ТС-35
550—2400	Для АБС 1135—3935; для А-874 1475—4075	2000—4000	2200—4800	—	800—2800	—	—
870—2920	4130*	2100—2300	2300—2500	1100—2000*	1100—2000*	—	—
Не ограничена		2000	2500	Не ограничена			
11	10 (исполн. I и II)	11	10	13	11	5,8	6,0
19—77	18,5—74,5 (исполн. II)	—	—	19—77	19—77	—	—
2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,6	1,6
—	—	—	—	1,0	1,0	—	—
—	—	—	—	—	360	—	—
2520× ×3500× ×4900 2500	5200×3900× ×6000 5200	3000× ×3000× ×4900 1800	4500× ×3900× ×7000 5300	2520× ×2380× ×4900 2100	2540× ×2380× ×4960 2440	4100× ×6170× ×7750 13 500	6100× ×8750× ×8400 20 000

регулировку сварочный скорости.

Велосипедные, глаголные и портальные тележки (рис. 29) для сварки длинных прямолинейных швов снабжают приводом, обеспечивающим их перемещение со сварочной скоростью (рис. 27 и 28), а при сварке коротких прямолинейных, а также кольцевых швов — приводом, обеспечивающим их перемещение с маршевой скоростью. В последнем случае тележки оснащают самоходными сварочными головками или сварочными тракторами. Для крупногабаритных изделий тележки выполняют с балконом.

Технические данные типовых унифицированных тележек приведены в табл. 12. Эти тележки унифицированы также с рассмотренными выше колоннами.

Площадки (табл. 13) для подъема и опускания сварщика при сварке изделий на манипуляторах, позиционерах, кантователях и роликовых стендах могут быть подъемными (рис. 30) и универсальными (рис. 31). Универсальные площадки имеют вертикальное и горизонтальное перемещение балкона.

Оборудование для уплотнения стыков. Это оборудование предназначено для предотвращения протекания расплавленного металла и формирования швов и разделяется:

в зависимости от вида свариваемых швов — для прямолинейных и кольцевых швов;

в зависимости от конструкции формирующего приспособления — с флюсовыми подушками и с металлическими неостающимися подкладками.

Устройства с металлическими подкладками обычно используют для односторонней сварки стыковых швов.

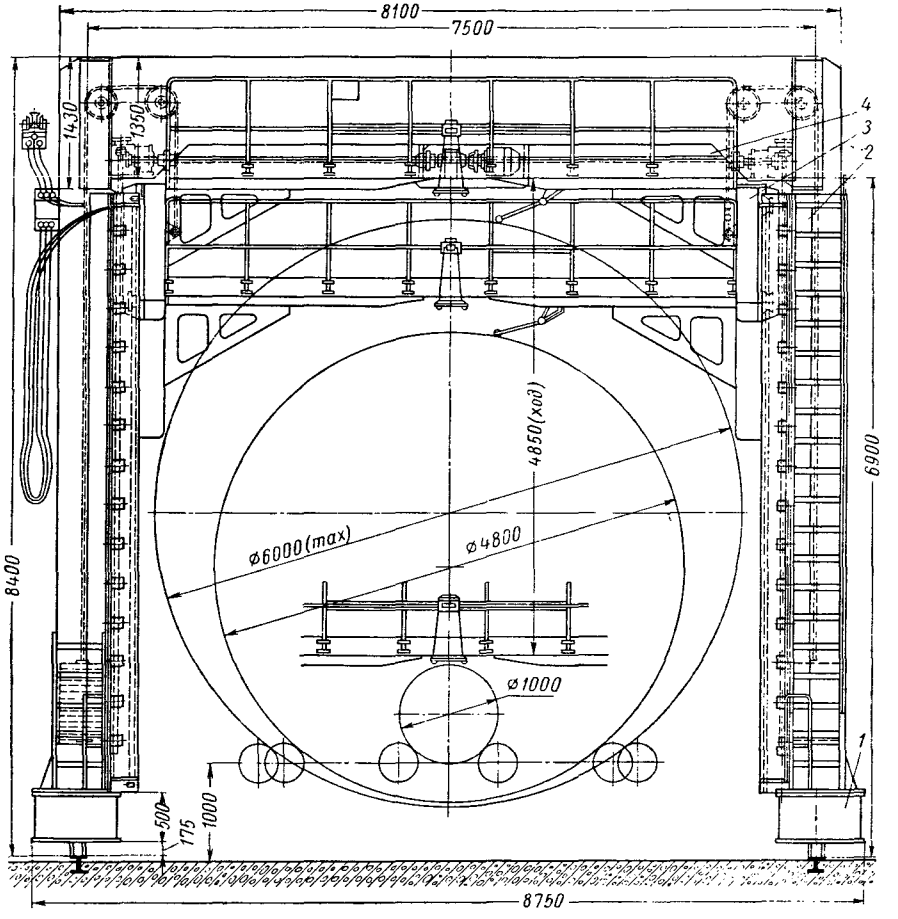


Рис. 29. Портальная тележка ПТ-2 для сварки сосудов *1* — платформа, *2* — колонна; *3* — каретка; *4* — балкон

Для уплотнения прямолинейных стыков применяют устройства с флюсовыми и металлическими подкладками стационарного и передвижного типа. Передвижные устройства используют для изделий с несколькими прямолинейными швами в условиях многономенклатурного производства, когда расположение стыков часто меняется. Устройства с флюсовыми подушками разделяются по способу поджатия подушки к стыку на пневматические, магнитно-пневматические, рычажные и винтовые. Наиболее надежными, в особенности для сварки длинных

прямолинейных швов, являются устройства с магнитным поджатием листов к подушке и системой рычажных толкателей, приводимых в действие пневматическим шлангом. На рис. 32 приведена типовая передвижная магнитно-пневматическая флюсовая подушка конструкции Центрального научно-исследовательского института технологии судостроения. Из таких подушек компонуют электромагнитные стенды для сварки крупногабаритных полотнищ. Технические данные типовых стационарных электромагнитных стендов (рис. 33) конструкции ИЭС им. Е. О. Патона приведены в табл. 14.

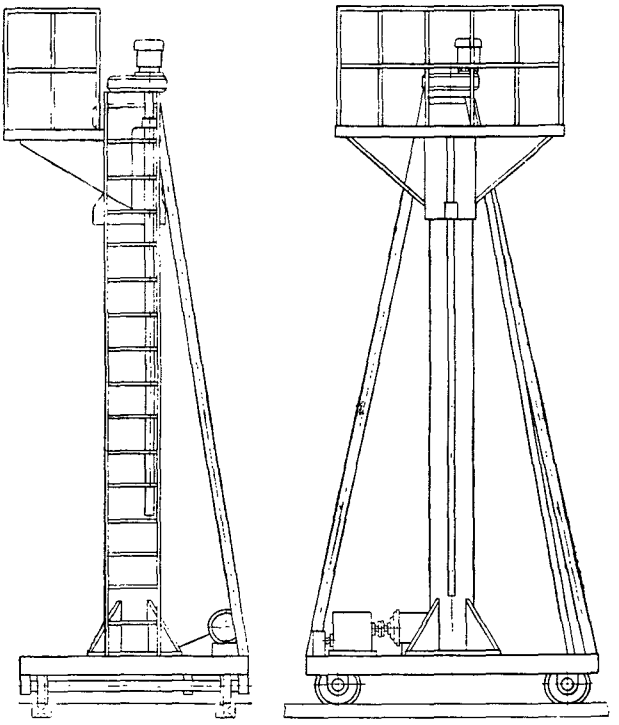


Рис. 30. Схема подъемной площадки для сварщика

Типовая передвижная пневматическая флюсовая подушка для прямолинейных швов ПФП-2 (рис. 34), разработанная ВИСИ, имеет следующие технические данные:

Длина свариваемых швов в *мм*	До 2000
Рабочее давление воздуха в *кГ/см²*:	
для подъема подушки	0,5–3,0
для поджатия флюса	0,3–2,0
Давление воздуха в сети в *кГ/см²*	4–6
Высота подъема подушки в *мм*	120
Габаритные размеры подушки в *мм*	2540×490×400
Вес в *кг*	229

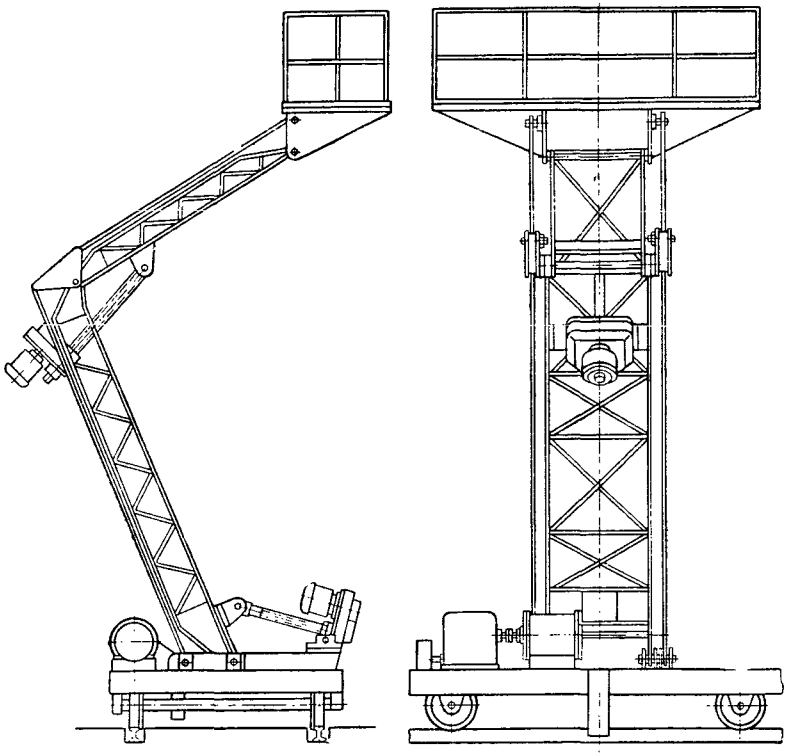


Рис. 31. Схема универсальной площадки для сварщика

14. Технические данные электромагнитных стендов

Показатели	Р-703	Р-624	Р-625	Р-752
Число свариваемых швов	1	2 продольных и 1 поперечный	3 продольных и 1 поперечный	4 продольных и 1 поперечный
Размер свариваемых полотнищ в *мм*	3600×3000	10000×4800	10000×6000	10000×7400
Мощность источника питания[1] электромагнита в *квт*	2,5	27	33	500 *а*, напряжение 35 *в*
Сила притяжения в *кг/м*	450	4000 (при толщине изделия 5 *мм*)		2000
Расстояние между продольными швами в *мм*	–	1100—1500	1100—1500	1400
Габаритные размеры в *мм*	6800×2650×630	10460×4860×590	10460×6390×590	10670×7970×790
Вес в *кг*	3220	14 300	19 100	18 500

[1] Генератор постоянного тока.

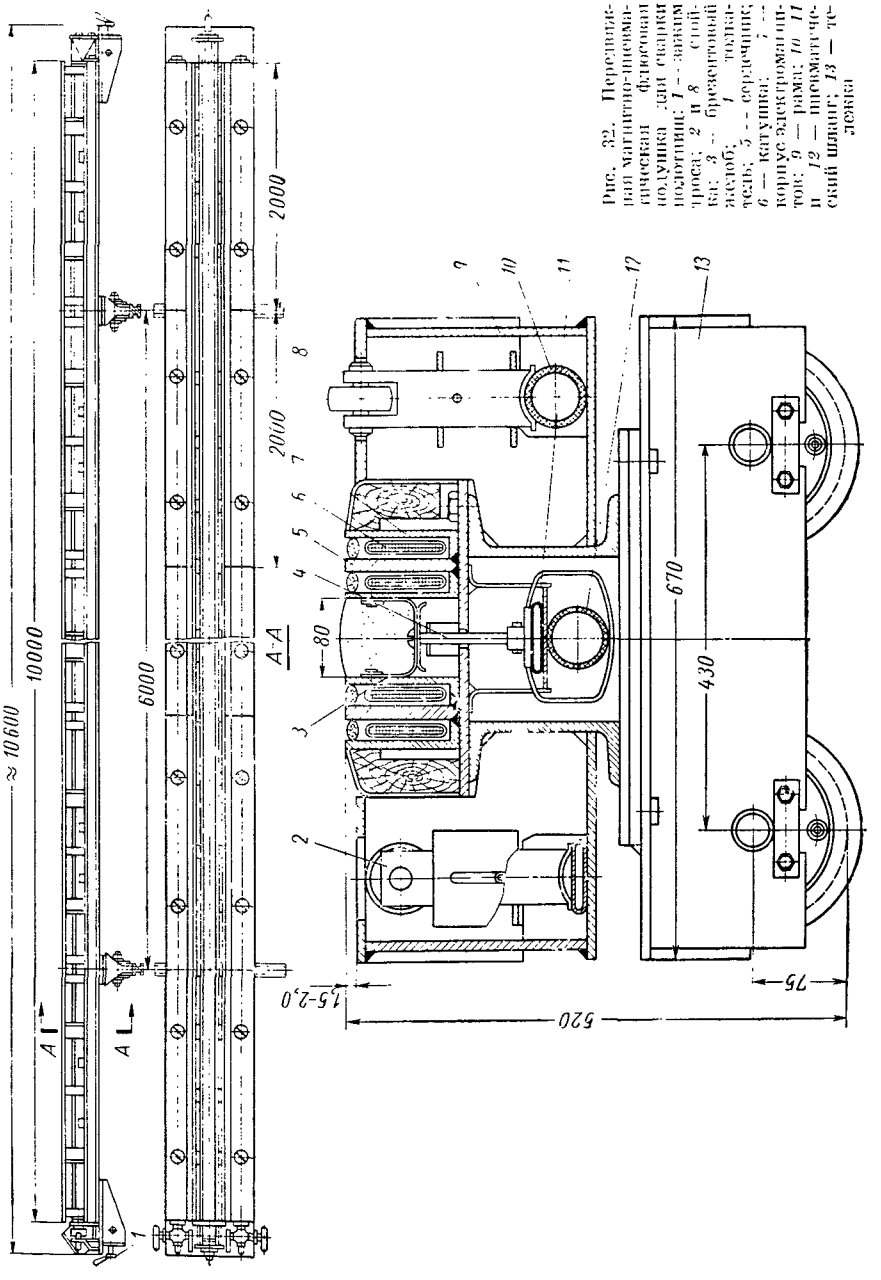


Рис. 32. Переставная магнитно-пневматическая флюсовая подушка для сварки поворотных *1* — каркас; *2* и *8* — стойки; *3* — бронзовый вкладыш; *4* — толкатель; *5* — сердечник; *6* — катушка; *7* — корпус электромагнитов; *9* — рамка; *10* — *11* и *12* — пневматический цилиндр; *13* — тележка

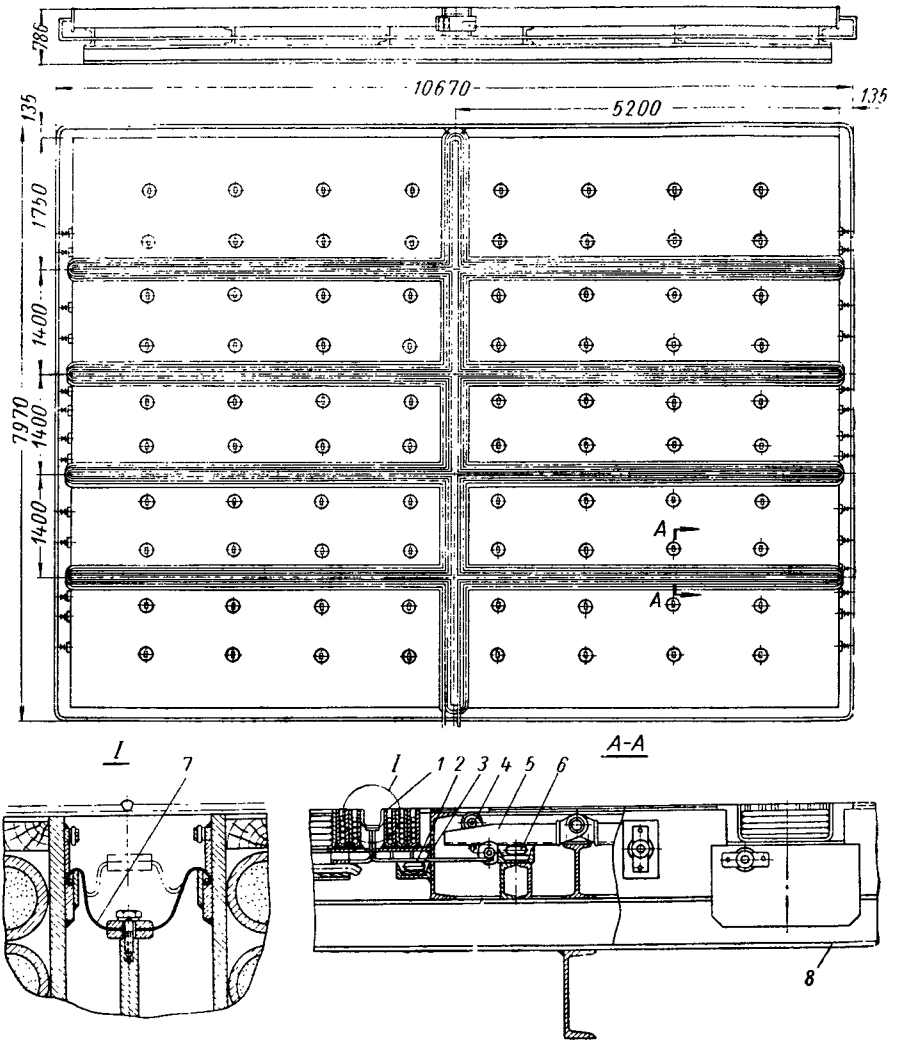


Рис. 33. Электромагнитный стенд Р-752 с пятью флюсовыми подушками: *1* — поперечная подушка; *2* — рычаг подушки; *3*, *6* — пневматический шланг; *4* — поворотный ролик; *5* — рычаг ролика; *7* — брезентовый желоб; *8* — рама

Технические данные типового устройства с металлическими подкладками (рис. 35) для сварки прямолинейных швов тонкостенных обечаек и листов, разработанного ИНАТом, следующие:

Длина свариваемых швов в *мм*	400—2200
Диаметр свариваемых обечаек в *мм*	160—1250
Толщина свариваемых листов в *мм*	0,5—6,0
Усилие прижима в *кГ*/*м*	50
Давление воздуха в сети в *кГ*/*см*²	4
Габаритные размеры в *мм*:	
длина	1255—3020
ширина	1000—1360
высота	700, 1250, 1400

Устройство выпускают трех исполнений (для обечаек диаметром: до 300, 900 и 1250 *мм*), отличающихся нормализованными подставками между основанием и стойками.

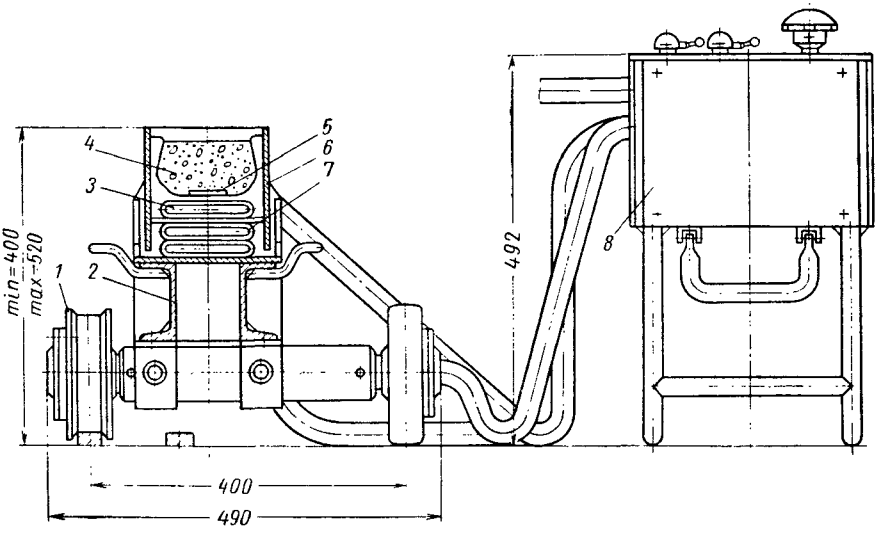


Рис. 34. Передвижная пневматическая флюсовая подушка ПФП-2: *1* — каток; *2* — тележка; *3*, *7* — пневматический шланг; *4* — флюс; *5* — диафрагма; *6* — корпус; *8* — пульт управления

На рис. 36 приведен типовой гусеничный башмак конструкции ИЭС им. Е. О. Патона, применяемый для сварки прямолинейных швов труб диаметром 529, 720 и 820 *мм* с толщиной стенки 7—12 *мм*.

Для уплотнения кольцевых стыков при автоматической сварке под флюсом применяют преимущественно флюсовые подушки, при электрошлаковой сварке — медные подкладки. Технические данные наиболее распространенных конструкций флюсовых подушек ременного типа (рис. 37), а также с эластичным лотком (рис. 38) приведены в табл. 15.

Флюсовая подушка (рис. 39) со шнековой подачей и поджимом флюса конструкции ЦНИИТМАШ применяется для кольцевых стыков спиральных труб диаметром 426, 478, 529 и 630 *мм*.

Медные подкладки для электрошлаковой сварки кольцевых швов диаметром 900 и 1300 *мм*, разработанные ИЭС им. Е. О. Патона, изображены на рис. 40.

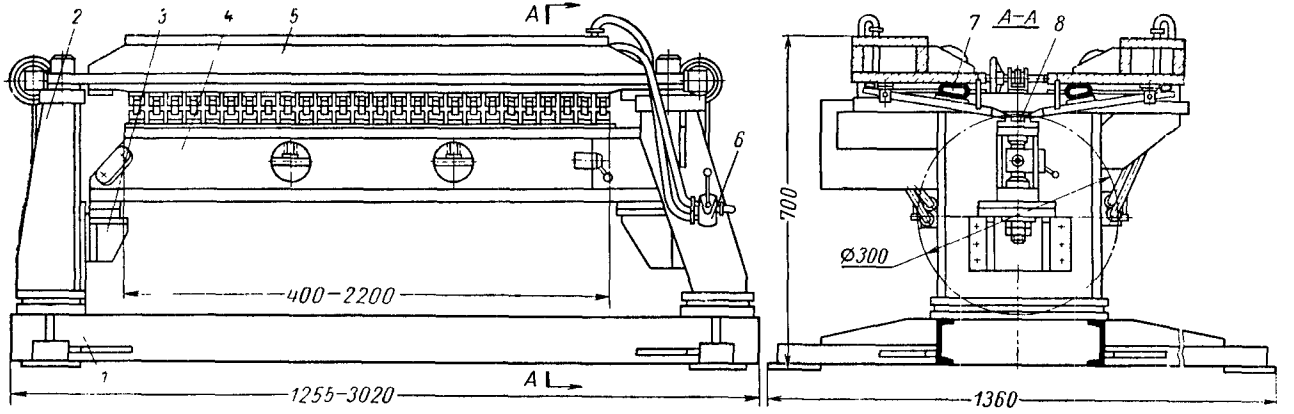


Рис. 35. Зажимное приспособление СНО с металлической подкладкой для сварки прямолинейных швов обечаек и листов: *1* — основание; *2* — стойка; *3* — кронштейн для фиксации консоли; *4* — поворотная консоль; *5* — прижимная балка; *6* — воздухораспределительный кран; *7* — пневматический шланг; *8* — подкладка

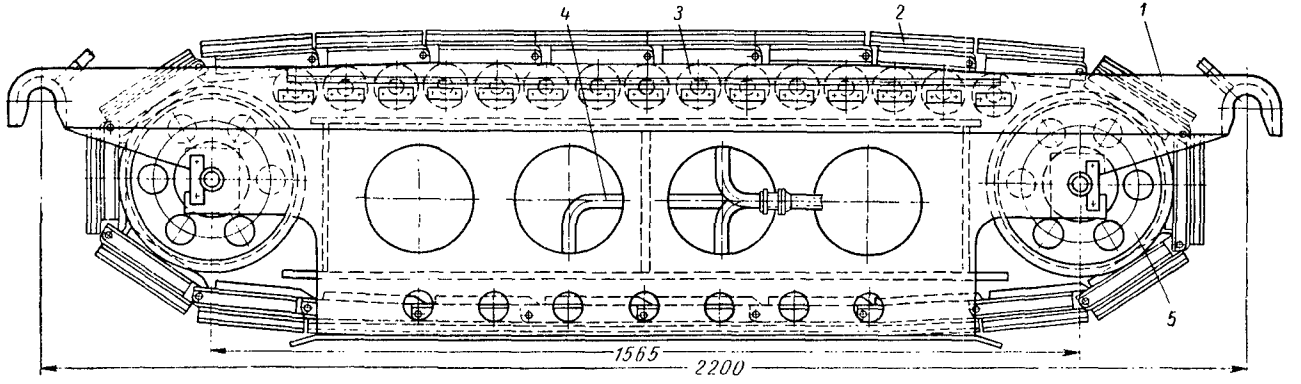


Рис. 36. Гусеничный башмак Р-894 для сварки прямолинейного шва труб: *1* — корпус; *2* — лента; *3* — опорный ролик; *4* — труба подачи воздуха для охлаждения ленты; *5* — направляющий ролик

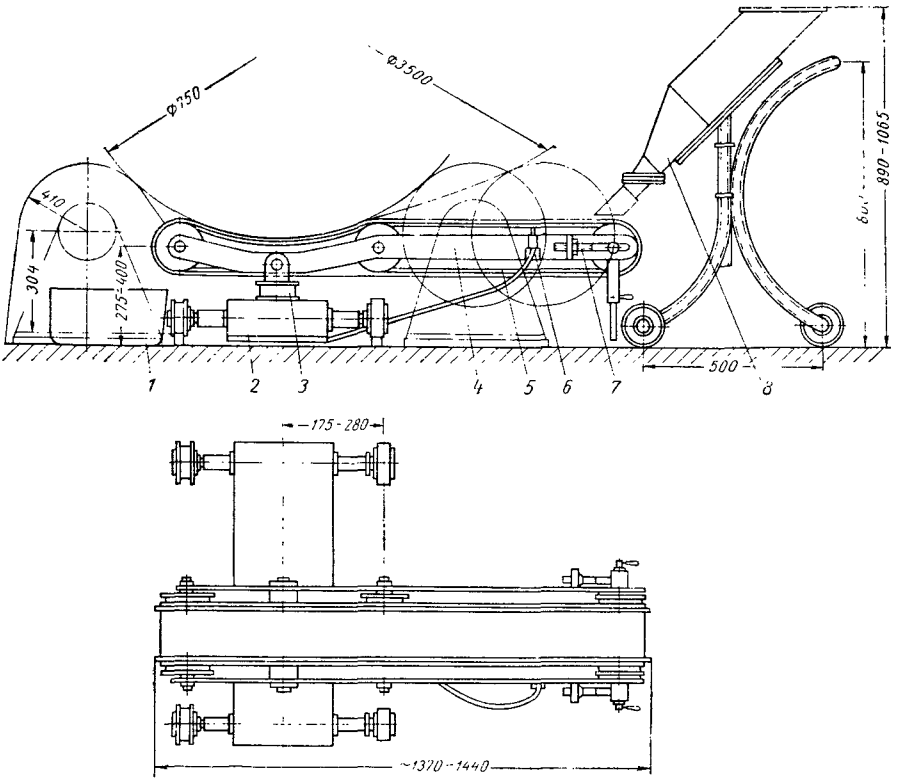


Рис. 37. Передвижная ременная флюсовая подушка для кольцевых швов ФК-1; *1* — ящик; *2* — тележка; *3* — пневматический цилиндр; *4* — рама; *5* — ремень; *6* — кран; *7* — натяжное устройство; *8* — бункер

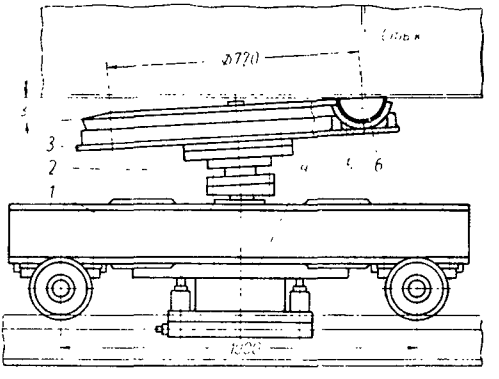


Рис. 38. Передвижная флюсовая подушка с кольцевым эластичным лотком для кольцевых швов: *1* — тележка; *2* — вал; *3* — диск; *4* — пневматический цилиндр; *5* — ложемент; *6* — лоток

Оборудование для сбора и подачи флюса в зону сварки (флюсоаппараты, флюсоподающие устройства и флюсоудерживающие приспособления).

Технические данные типовых флюсоаппаратов приведены в табл. 16.

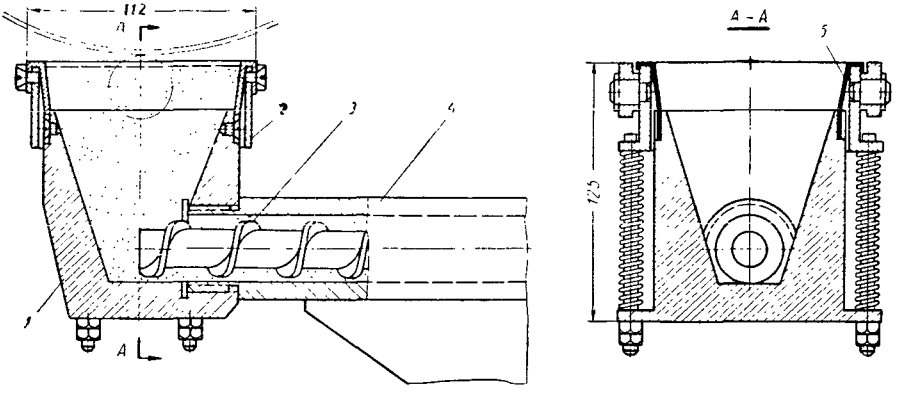


Рис. 39. Стационарная флюсовая подушка со шнековой подачей и поджимом флюса: *1* — головка; *2* — коробка с роликами; *3* — шнек; *4* — корпус шнека; *5* — тканевый рукав

15. Технические данные флюсовых подушек для сварки кольцевых швов

Показатели	Флюсовая подушка	
	ременного типа ФК-1	с эластичным лотком
Диаметр свариваемых изделий в *мм*	750 – 3500	700—4000
Давление воздуха в сети в *кГ/см²*	4—6	4—6
Колея тележки в *мм*	350 –560	1550
Габаритные размеры в *мм*	1440 × × 600 × ×480	1200 × × 1600× × 560
Вес в *кг*	120	435

Примечание. Подушка ФК-1 разработана ИЭС им. Е. О. Патона, подушка с эластичным лотком — ВНИИтяжмаш.

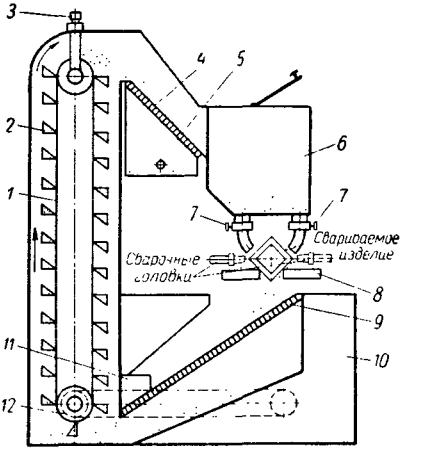


Рис. 41. Флюсоподающее устройство

Конструкция флюсоподающих устройств зависит от вида свариваемых изделий. В качестве примера на рис. 41 приведено приспособление, разработанное НИИТракторсельхозмаш и применяемое на заводах «Красный Аксай» и «Ростсельмаш» при сварке балок коробчатого сечения для сбора нерасплавившегося при сварке флюса и подачи его в зону сварки. Перед сваркой открывают заслонки *7* и подают флюс на площадки *8*. В процессе сварки свариваемое изделие перемещается и флюс ссыпается через сетку *9* на склиз *10*, откуда он захватывается черпаками *2* транспортирующей ленты *1*, имеющей

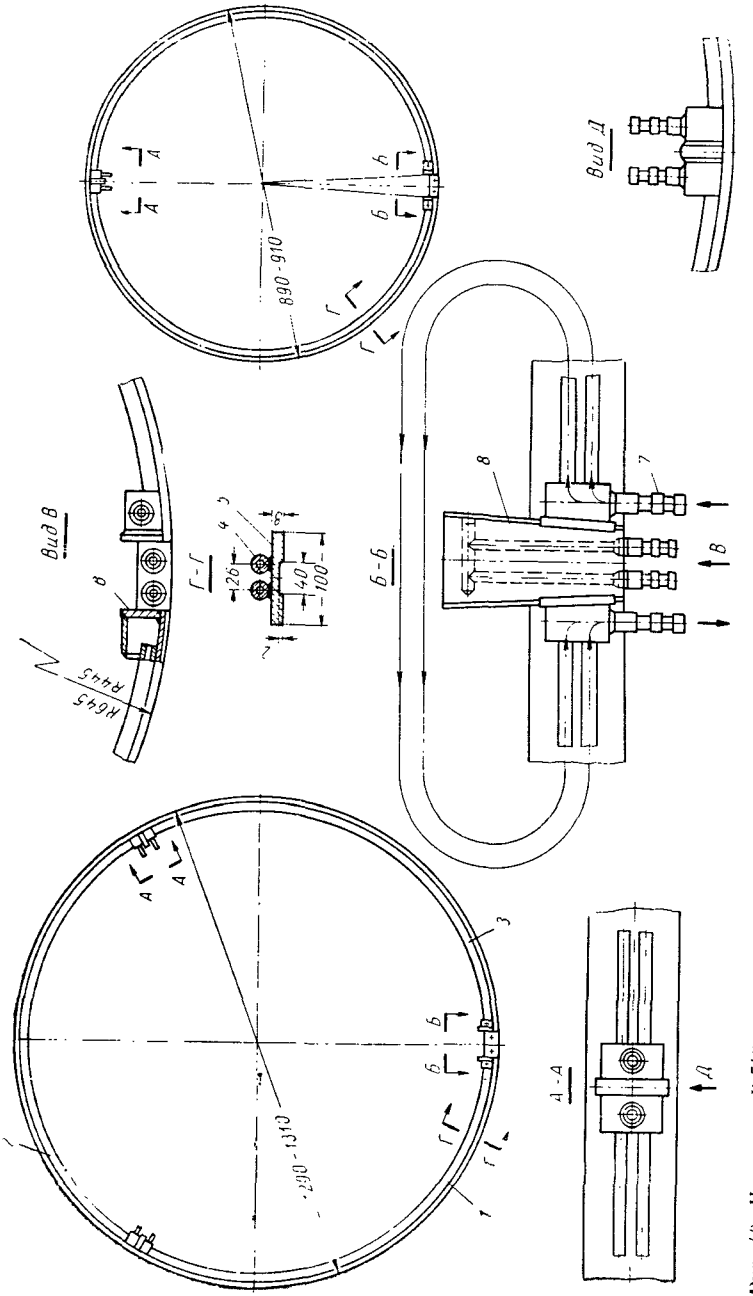


Рис. 40. Подкладка Р-742: *1, 2, 3* — секторы подкладки; *4* — труба для охлаждающей воды; *5* — латунная лента; *6* — коллектор; *7* — штуцер; *8* — клин

16. Технические данные флюсоаппаратов

Показатели	Р-550А	Р-895А	ФСП	А-875	А-184	А-361, А-384	Р-670	Р-675	Р-720	Р-855
Назначение	Для отсоса флюса, передвижной	Для отсоса флюса при отсутствии сжатого воздуха, передвижной	Для отсоса флюса, переносной		Для отсоса и подачи флюса к головкам АБС и АБ	Для отсоса и подачи флюса к двухдуговым автоматам А-330	Для отсоса и подачи флюса, универсальный, стационарный			Для отсоса и подачи флюса при внутренней продольной сварке труб
Система создания потока воздуха	Всасывающая				Смешанная	Всасывающая	Смешанная	Всасывающая		
Циркуляция флюса	Без циркуляции				Непрерывная	Периодическая	Непрерывная	Периодическая		
Производительность в *кг/мин*	17,5	6	6	10	7,5	17	8	10	12	20
Полезная емкость бункера в *л*	22	28	15	10	22	50	32	130	750	100
Высота всасывания в *м*	1	1	0,5	—	1,5	2,2	1,7	5	5	0,6
Длина всасывающей трубы в *м*	7	7	4	—	2,5	2,5	2,5	3,5	3,5	1,5
Давление воздуха в сети в *кГ/см²*	4,5—5	—	4,5—5	4,5—5	4,5—5	4,5—5	4,5—5	4,5—5	4,5—5	4,5—5
Удельный расход сжатого воздуха в *м³/кг*	0,05	—	0,05	0,08	0,16	0,05	0,11	0,11	0,11	0,05
Габаритные размеры в *мм*	1195×600×1480	1195×600×1500	550×220×290	700×250×350	—	—	—	—	—	2500×600×620
Габаритные размеры бункера в *мм*	⌀ 410×640	⌀ 410×640	—	—	⌀ 350×530	⌀ 520×1460	⌀ 420×1040	⌀ 600×2300	⌀ 1200×3200	—
Вес флюсоаппарата без флюса в *кг*	80	140	7	14	25	60	42	85	220	50

Примечание. Флюсоаппарат ФСП разработан Центральным научно-исследовательским институтом технологии судостроения, остальные флюсоаппараты разработаны ИЭС им. Е. О. Патона.

натяжной механизм *3* и привод *12*, подается вверх и проходит через сетку *4*; при этом из него отсеивается пыль, которая оседает в ящике *5*, а флюс попадает в бункер *6* и снова в зону сварки. Шлак, задерживаемый сеткой *9*, поступает в бункер *11*.

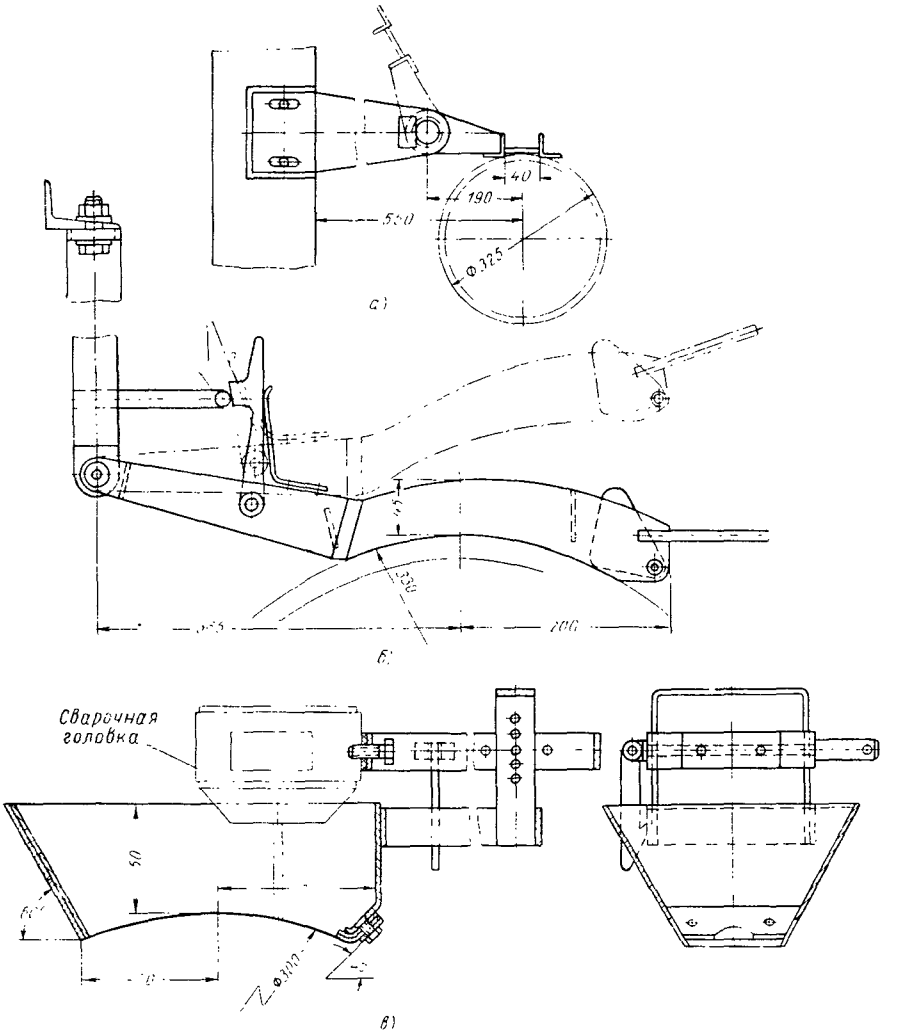


Рис. 42. Флюсоудерживающие приспособления

Флюсоудерживающие приспособления представляют собой простейшие устройства, состоящие из рамок, козырьков, щитков, ограничительных колец, щек и других ограждений, удерживающих флюс. Эти ограждения обычно шарнирно крепят к металлоконструкции сварочных установок

при помощи кронштейнов. В ряде случаев флюсоудерживающие приспособления крепятся непосредственно к свариваемым деталям с помощью струбцин. На рис. 42, *а* представлена конструкция с металлической рамкой для сварки продольных швов труб; на рис. 42, *б* и *в* — конструкция для сварки кольцевых швов труб.

Приведенные приспособления разработаны ИЭС им. Е. О. Патона.

Оборудование для зачистки кромок, швов и отделки сварных конструкций

К этому оборудованию относятся ручные шлифовальные и зачистные машины, пневматические рубильные молотки и зачистные установки (рис. 43—49 и табл. 17—19). Примером зачистной установки может служить фрезерный трактор ФТ-2 для снятия усиления сварных швов (рис. 50), разработанный и внедренный на Уральском заводе химического машиностроения (г. Свердловск) и имеющий следующие технические данные:

Размеры обрабатываемого шва в *мм*:	
ширина	До 45
усиление	До 8
Длина обрабатываемого шва без переключения кабеля в *м*	До 10
Диаметр обечаек при обработке внутренних продольных швов в *мм*	Св. 2000
Диаметр фрез в *мм*:	
внутренний	200
наружный	280
Скорость резания в *м/мин*	338
Скорость передвижения трактора:	
рабочая в *мм/мин*	680
маршевая в *м/мин*	10,7
Габаритные размеры трактора в *мм*	1680 × 765 × 1080
Вес в *кг*	2480

Оборудование для правки сварных конструкций и улучшения механических свойств сварных соединений

Оборудование для правки сварных конструкций разделяется в зависимости от вида и размеров свариваемых изделий.

Пресс (рис. 51) для правки крупногабаритных сварных металлоконструкций, созданный на Уралмашзаводе, выполнен передвижным, что позволяет применять его для изделий неограниченной длины и исключить трудоемкие крановые операции по перемещению и установке сварных узлов в процессе правки. На нем предусмотрено также и поперечное перемещение рабочего цилиндра по порталу. Пресс применен в трех исполнениях установок для правки различных по длине сварных узлов и имеет следующие технические данные:

Усилие в *т*	150
Рабочая жидкость	Масло
Рабочее давление в *кГ/см²*	200
Давление холостого хода в *кГ/см²*	20
Скорость штока в *м/мин*:	
максимальная вниз	1,3
минимальная вниз	0,1
максимальная вверх	4,8
минимальная вверх	0,37
Скорость передвижения в *м/мин*:	
пресса вдоль стеллажа	18
цилиндра вдоль портала	5
Максимальный ход цилиндра вдоль портала в *мм*	2650
Рабочий проспет в *мм*:	
по ширине	3000
по высоте	935
Максимальный ход пресса вдоль стеллажа в *м*:	
по длине стеллажа 11,75	9,1
» » » 9,4	6,75
» » » 7	4,4

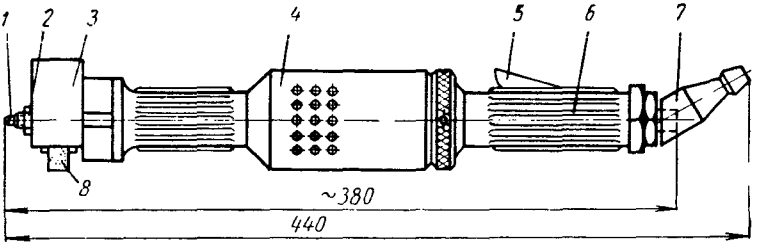


Рис. 43. Пневматическая шлифовальная машина ШПМ-08: *1* — шпиндель; *2* — гайка; *3* — кожух; *4* — корпус; *5* — пусковое устройство; *6* — рукоятка; *7* — штуцер; *8* — шлифовальный круг

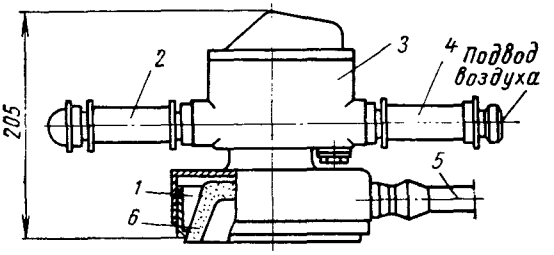


Рис. 44. Пневматическая шлифовальная торцевая машина ШРТМ: *1* — кожух; *2*, *4* — рукоятка; *3* — корпус; *5* — шланг пылесоса; *6* — шлифовальный круг

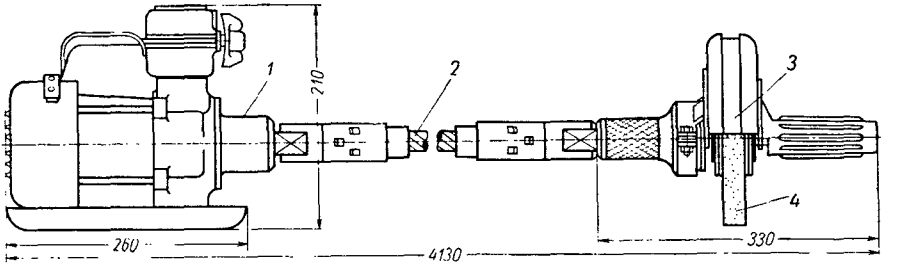


Рис. 45. Электрическая шлифовальная машина С-475: *1* — электродвигатель; *2* — гибкий вал; *3* — шлифовальная головка; *4* — шлифовальный круг

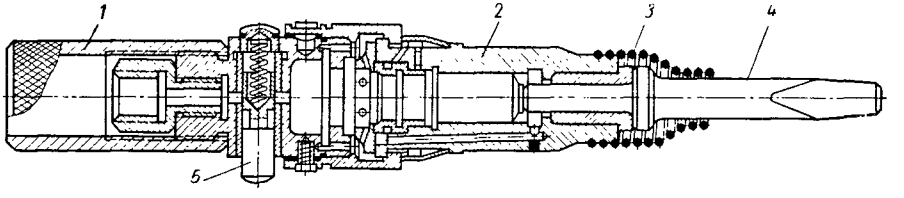


Рис. 46. Пневматический молоток МЗС: *1* — рукоятка; *2* — корпус; *3* — пружина; *4* — зубило; *5* — пусковое устройство

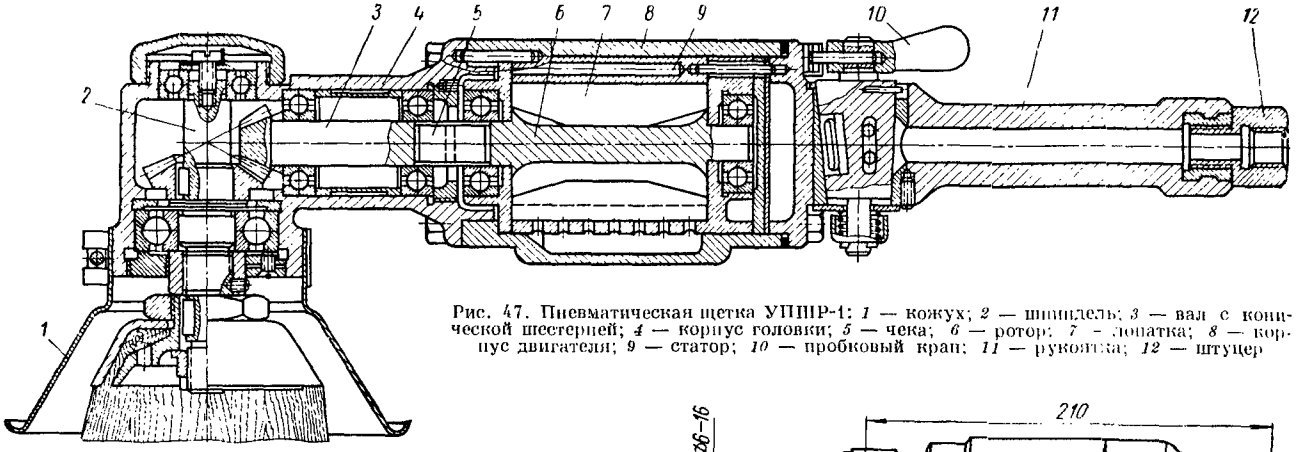


Рис. 47. Пневматическая щетка УПШР-1: *1* — кожух; *2* — шпиндель; *3* — вал с конической шестерней; *4* — корпус головки; *5* — чека; *6* — ротор; *7* — лопатка; *8* — корпус двигателя; *9* — статор; *10* — пробковый кран; *11* — рукоятка; *12* — штуцер

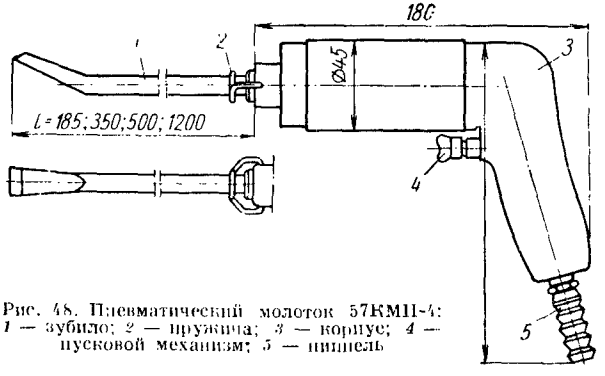


Рис. 48. Пневматический молоток 57КМП-4: *1* — зубило; *2* — пружина; *3* — корпус; *4* — пусковой механизм; *5* — шпиндель

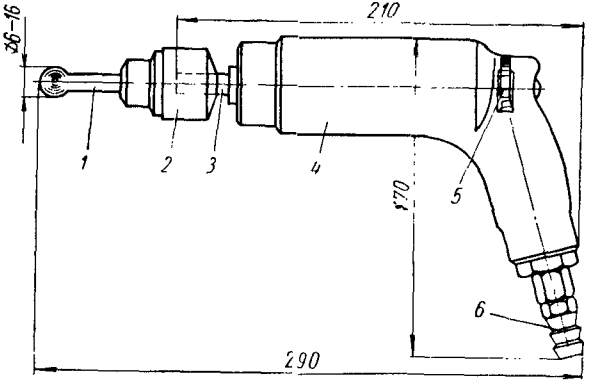


Рис. 49. Пневматическая машина СД-8М: *1* — фреза; *2* — патрон; *3* — шпиндель; *4* — корпус; *5* — пусковое устройство *6* — шпиндель

17. Технические данные ручных пневматических шлифовальных машин

Показатели	ИПМ25-50	ПИПМ-08	ПР-06А	И-2008	ПИПМ-08-90	ЗМП-1,5-150	ИПР-2	И-44А	ПИРТМ
Тип	Прямой							Торцовой	
Наибольший диаметр шлифовального круга в *мм*	25—50	60	60	80	90	150	150	125	140
Мощность в *л. с.*	0,25	0,65	0,4	0,8	1,2	1,5	1,4	1,4	1,5
Давление воздуха в сети в *ат*, *см*²	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Число оборотов шпинделя в минуту: *на холостом ходу*	16 000	12 000	14 000	9500	8000	5000	4500	4000—4500	4500
под нагрузкой	8000	6000—8500	6000	8000	4000	2500	3000	3500	3000
Расход воздуха под нагрузкой в *м*³/*мин*	0,4	0,4	0,65	0,88	0,9	1,3	1,7		1,7
Длина машины в *мм*	250	~380	406	467	480	625	585	212 (высота)	206 (высота)
Вес (без шлифовального круга) в *кг*	0,9	1,7	2,0	2,5	2,7	6	6,9	4,5	7,6
Организация, разработавшая конструкцию	Центральный научно-исследовательский институт технологии судостроения, г. Ленинград	Московский завод универсально-сборных приспособлений и инструмента	Завод «Пневматика», г. Ленинград	ЦКБ механизированного инструмента, г. Москва	Московский завод универсально-сборных приспособлений и инструмента		Завод «Пневматика», г. Ленинград	Завод «Пневмостроймашина», г. Свердловск	Центральный НИИ технологии судостроения, г. Ленинград
Завод-изготовитель	—	То же	То же	Московский завод прессформ и инструмента	То же		—	То же	—

18. Технические данные ручных электрических шлифовальных машин

Показатели	С-499А	С-475	ШПУ-6
Тип	Прямая	Прямая и угловая	Угловая
Наибольший диаметр шлифовального круга в *мм*	150	200	150
Мощность в *квт*	0,8	0,85	0,58
Напряжение в *в*	36	220	220
Частота тока в *гц*	200	50	180
Число оборотов шпинделя в минуту	3160	2800	4700
Длина в *мм*	585	330 (без электродвигателя и гибкого вала)	448
Вес без шлифовального круга и кабеля в *кг*	5,5	2,1 (без электродвигателя и гибкого вала)	8
Организация, разработавшая конструкцию	ЦКБ механизированного инструмента	Ярославский завод «Красный маяк»	Горьковский автозавод
Завод-изготовитель	Завод «Электроинструмент», г. Даугавпилс	Выборгский завод «Электроинструмент»	–

Примечание. Общий вес машины С-475 29,5 *кг*, длина гибкого вала 3520 *мм*.

19. Технические данные ручных пневматических зачистных машин и рубильных молотков

Показатели	Пневматическая зачистная машина (щетка) УПИЦР-1	Пневматические рубильные молотки		Пневматическая машина для фрезерования сварных швов (на базе ручной сверлильной машины СД8М)
		МЗС	57 КМП-4	
Тип	Угловая	Горизонтальный	С пистолетной рукояткой	С пистолетной рукояткой
Наибольший диаметр щетки в *мм*	110	–	–	–
Мощность в *л. с.*	0,7—0,8	Работа удара 0,15—0,20 *кГм*	Работа удара 0,33 *кГм*	0,15
Давление воздуха в сети в *кГ/см²*	5	5	5	5
Число оборотов (ударов) на холостом ходу в минуту	3800—4100	–	–	2000
Число оборотов (ударов) под нагрузкой в минуту	2500—3000	2800—3000	1800	
Расход воздуха под нагрузкой в *м³/мин*	0,8	0,3	0,15	0,55
Длина машины в *мм*	420	250	Длина без инструмента 180, высота 168	Длина без патрона 213, высота 170
Вес (без инструмента) в *кг*	3,4	1,0	1,6	1,9
Организация, разработавшая конструкцию	Центральный НИИ технологии судостроения		НИАТ	Томский электромеханический завод им. В. В. Вахрушева

Примечание. Клепальный молоток 57 КМП-4 с набором зубил и сверлильная машина СД8М с набором фрез (наибольший диаметр фрезы 16 *мм*) применены на Коломенском тепловозостроительном заводе им. В. В. Куйбышева.

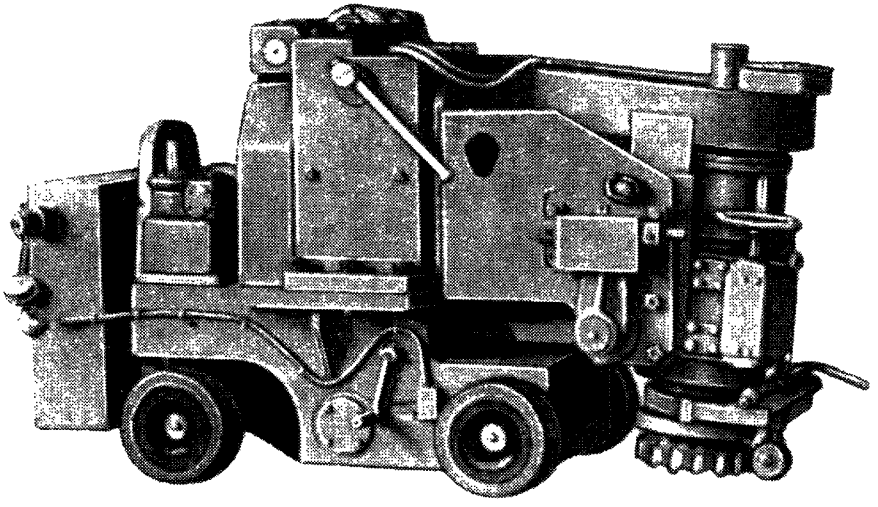


Рис. 50. Фрезерный трактор ФТ-2 для снятия усиления сварных швов

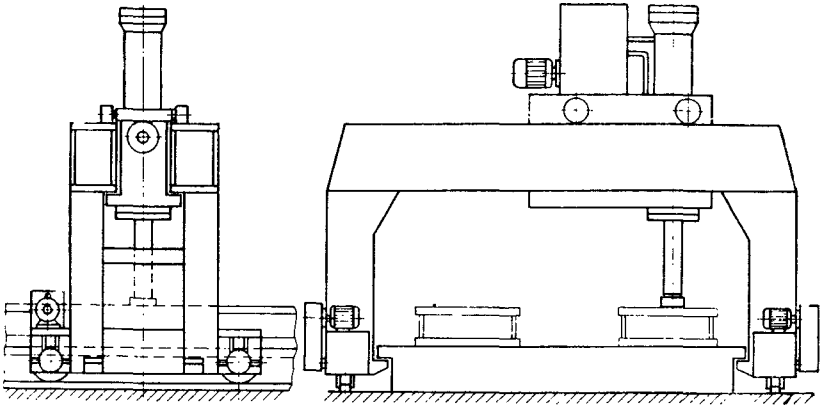


Рис. 51. Пресс для правки крупногабаритных металлоконструкций

На рис. 52 показана схема правки грибовидности полок сварных двутавровых балок с помощью машины, изготовленной Старокраматорским машиностроительным заводом им. Орджоникидзе и внедренной на Днепропетровском заводе металлоконструкций им. Бабушкина в поточной механизированной ли-

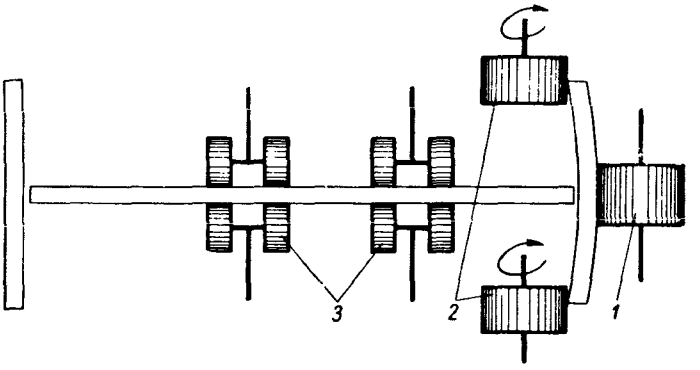


Рис. 52. Схема правки грибовидности двутавровых балок

нии. Грибовидность устраняется тремя вертикальными роликами: одним нажимным *1* и двумя подающими *2*. Балка в процессе правки опирается на четыре пары поддерживающих регулируемых роликов *3*. Машина имеет следующие технические данные:

Высота сварной балки в *мм*	500–2030
Размеры полки в *мм*:	
ширина	220–600
толщина	10–50
Предел прочности материала балки в *кГ/мм²*	50
Усилие нажимного ролика в *кГ*	170 000
Скорость продольного перемещения балки в *м/сек*	0,165
Габаритные размеры машины в *мм*	6672 × 3190 × 4835
Вес в *т*	50

Для исправления сварочных деформаций и пластического деформирования усиления сварных швов с целью улучшения свойств сварных соединений тонкостенных сосудов применяют специализированные станки для прокатки швов. Станок для прокатки прямолинейных швов типа СПШ, предназначенный для исправления сварочных деформаций и улучшения механических свойств продольных стыков тонкостенных оболочек, имеет следующие технические данные:

Наибольшая длина прокатываемых швов в *мм*	1775
Диаметр изделий в *мм*	600–3000
Диаметр прокатных роликов в *мм*	140–210
Наибольшая ширина рабочего пояска роликов в *мм*	40
Усилие прижима прокатных роликов в *т*	1–15
Скорость прокатки в *м/мин*	0,3–5,7
Габаритные размеры (длина × ширина × высота) в *мм*	10000 × 3000 × 3150
Вес станка в *т*	11

Станок для прокатки кольцевых швов типа СПКШ, предназначенный для исправления сварочных деформаций и улучшения механических свойств кольцевых стыков тонкостенных оболочек, имеет следующие технические данные.

Диаметр изделий в *мм*	350—2800
Наибольшая длина изделий в *мм*	1400
Наибольший вес изделий в *кг*	300
Усилие прокатки в *т*	1—15
Скорость прокатки в *м/мин*	0.5—10
Площадь, занимаемая станком, в *м²*	12
Вес станка в *т*	14

На рис. 53 изображены пневматические многобойковые чеканочные упрочнители конструкции ЦНИИТМАШ, применяемые для повышения усталостной

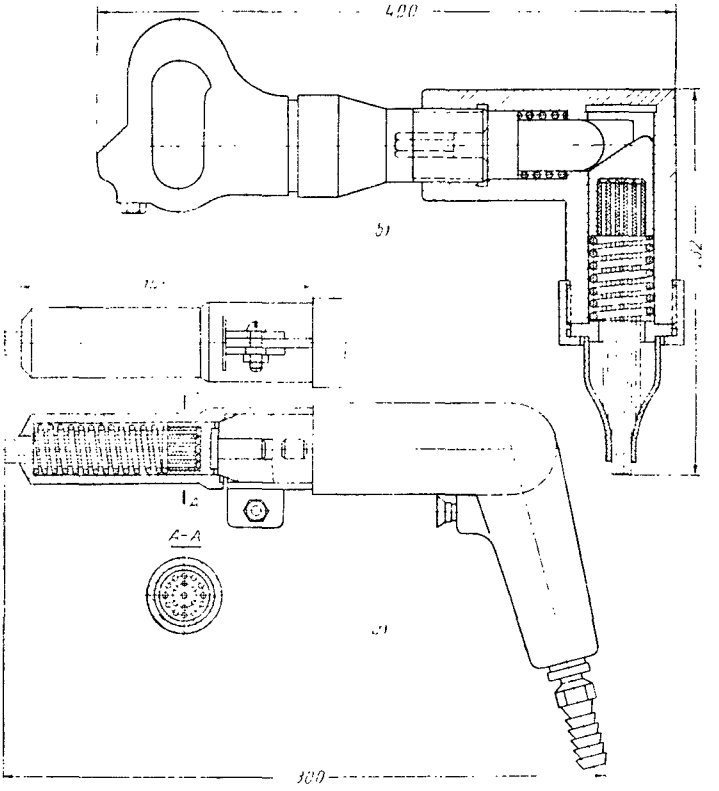


Рис. 53. Многобойковые упрочнители: *а* — прямой; *б* — с угловым устройством

прочности сварных швов крупногабаритных изделий. Они состоят из пневматического молотка и многобойкового наконечника в виде пучка проволок. Для упрочняющих игл используют пружинную проволоку из стали 65Г диаметром

1,2—3 *мм*, закаленную на твердость *HRC* 45—50. Упрочняющая и сглаживающая обработка труднодоступных мест сварных соединений может быть осуществлена угловым упрочнителем (рис. 53, *б*). Технические данные упрочнителей приведены в табл. 20.

20. Технические данные упрочнителей

Тип упрочнителя	Марка пневмомолотка	Энергия удара в *кГм*	Число ударов в минуту	Длина проволоки в *мм*	Высота упрочнителя в *мм*	Количество проволок в пучке	Вес упрочнителя в *кг*
П-2	МР-4	0,9	3500	178	425	24—30	7,0
	МР-4	0,9	3500	150	397		
	МР-5	1,2	2200	178	425		
	МР-5	1,2	2200	150	397		
П-3 угловой	МР-6	1,6	3500	178	232 × 400	26—35	11,0
П-4	57КМП-4	0,6	1800	98	300	30—50	2,0
П-4А	57КМП-6	0,6	1800	98	300	30—100	
П-5	КМ-5	0,97	1600	100	330	27—60	2,5
П-6	57КМП-6	0,76	1800	100	330	25—75	3,0

Пучковые упрочнители ЦНИИТМАШ позволяют получить глубину наклепанного слоя для сталей средней твердости более 2 *мм*. Производительность при ручной работе с одним пучковым упрочнителем составляет 6—8 *м/ч* шва.

Специальные подъемно-транспортные средства

Для осуществления подъемно-транспортных операций в сборочно-сварочном производстве используют универсальные механизмы и приспособления общего применения, технические данные которых приведены в специальных источ-

никах [1]. Наряду с этим имеется ряд механизмов и приспособлений, специфичных для сборочно-сварочного производства (конвейеры, порталы и грузозахватные приспособления).

Порталы. Порталы служат для транспортировки листов при выполнении заготовительных операций по резке, правке и гибке, а также для транспортировки и укладки листов при сборке сварных конструкций. На рис. 54 и 55 изображены самоходные порталы для транспортировки листов в горизонтальном и вертикальном положениях, используемые в механизированной поточной линии сборки и сварки пролетных балок электромостовых кранов на Узловском

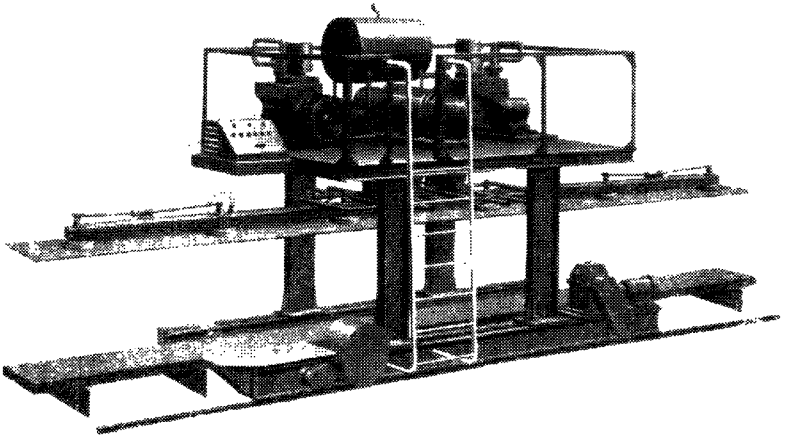


Рис. 54. Самоходный портал для транспортировки листов в горизонтальном положении

машиностроительном заводе. Они состоят из металлоконструкции, привода передвижения, кабелеукладчика, вакуумной установки и захватного устройства с вакуум-захватами. Захватное устройство портала для транспортировки листов в горизонтальном положении представляет собой траверсу с шестью вакуум-захватами. Портал перемещается по рельсовому пути к стеллажу для хранения листов, траверса опускается на лист и при помощи вакуум-захватов поднимает его и подает к месту назначения. Затем траверса с листом опускается, и вакуум-захваты отключаются. Портал для транспортировки листов в вертикальном положении оснащен двумя траверсами, на которых установлено по десяти вакуум-захватов. Траверсы перемещаются гидравлическим механизмом независимо друг от друга. При работе самоходный портал перемещается по рельсовому пути к стеллажу для хранения листов. Траверсы захватывают один или два листа, стоящих в положении, близком к вертикальному, и портал подает их к месту сборки. Технические данные порталов приведены в табл. 21.

[1] Например «Средства механизации внутризаводских подъемно-транспортных операций и погрузочно-разгрузочных работ», НИИМАШ, М., 1967.

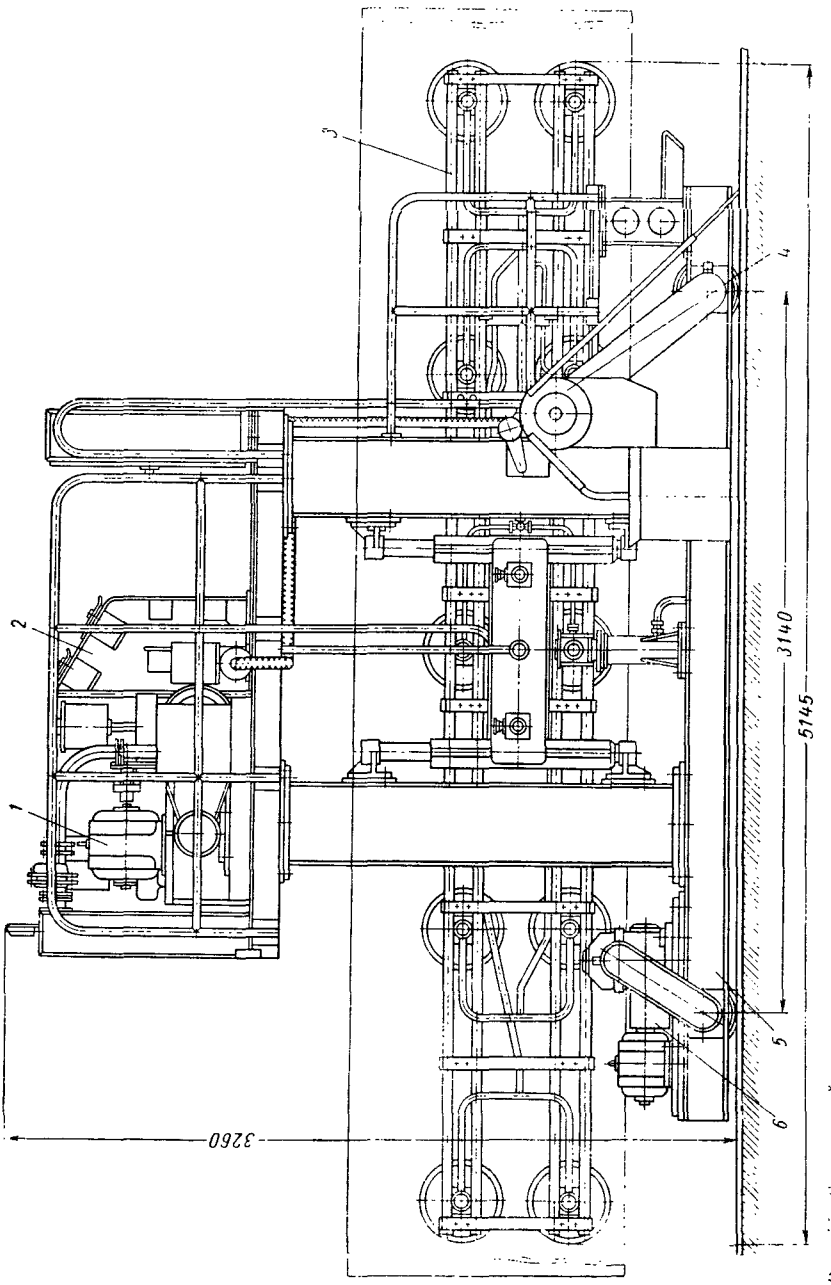


Рис. 55. Самоходный портал для транспортировки листов в вертикальном положении: *1* — вакуумная установка; *2* — гидропривод; *3* — траверса; *4* — кабелеукладчик; *5* — металлоконструкция; *6* — привод передвижения

21. Технические данные порталов для транспортировки листов

Показатели	Портал для транспортировки листов	
	в горизонтальном положении	в вертикальном положении
Грузоподъемность портала в *т* при работе:		
с одной траверсой	1000	400
с двумя траверсами	—	800
Наибольшие размеры транспортируемого листа в *мм*	3000 × 600	6000 × 1350
Перемещение траверс в *мм*:		
вертикальное	1200	220
горизонтальное	—	220
Диаметр вакуумных чаш в *мм*	300	300
Скорость в *м/мин*:		
передвижения портала	36	36
перемещения траверс	8	3
Габаритные размеры портала в *мм*	6300 × 2200 × 2950	6145 × 2783 × 3450
Вес в *т*	3,5	5,6

Примечание. Порталы разработаны ВНИИтяжмаш.

Грузозахватные приспособления. Грузозахватные приспособления используются для транспортировки листов, полотнищ, цилиндрических конструкций и других изделий (рис. 56—61, табл. 22—25).

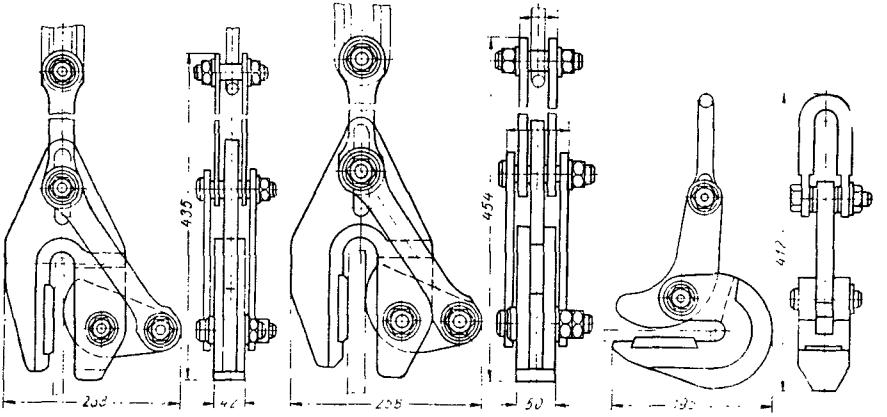


Рис. 56. Механические захваты для транспортировки листов: *а*, *б* — для транспортировки в вертикальном положении; *в* — для транспортировки в горизонтальном положении

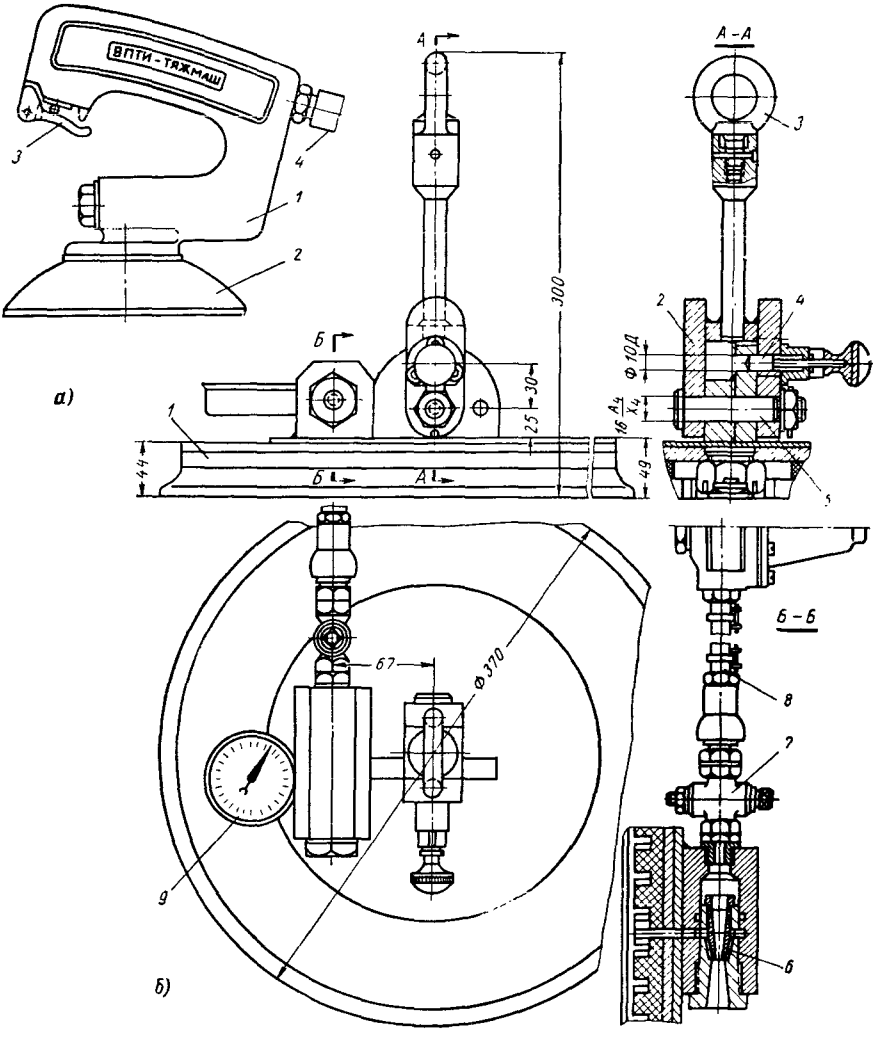


Рис. 57. Вакуумные захваты для транспортировки листов: *а* — ручной: *1* — корпус; *2* — резиновая чаша; *3* — рычаг подачи воздуха: *4* — пневмошланг; *б* - одночашечный, подвесной: *1* — чаша; *2* — корпус; *3* — рым; *4* — фиксатор поворота чаши; *5* — ось поворота чаши; *6* —эжекторное устройство; *7* — кран; *8* — пневмошланг; *9* — вакуумметр

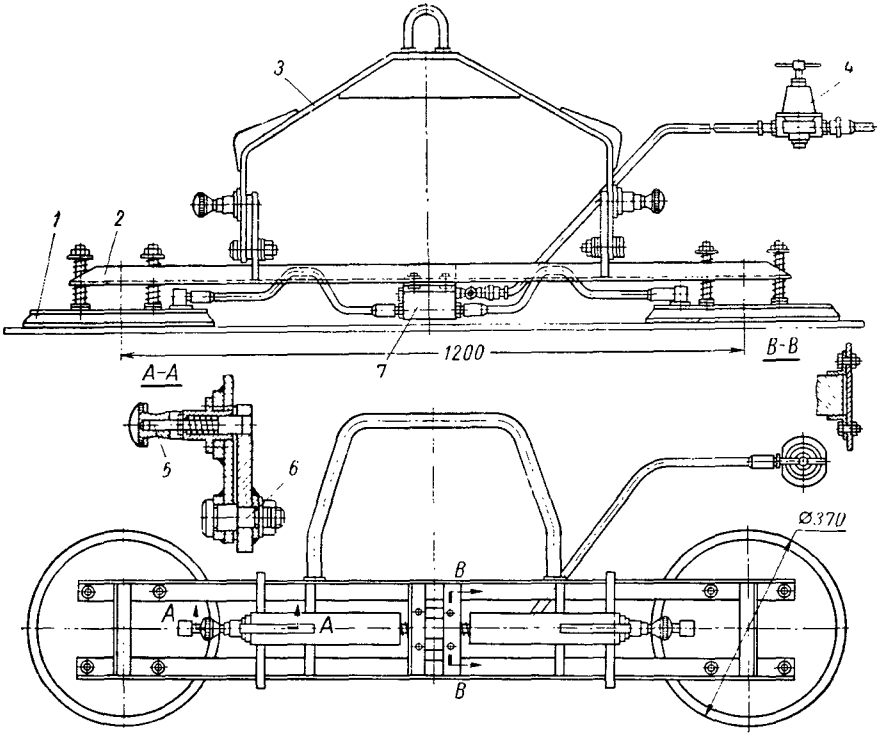


Рис. 58. Вакуумный двухчашечный подвесной захват: *1* — чаша; *2* — рама; *3* — поворотная траверса; *4* — редуктор; *5* — фиксатор поворота рамы; *6* — ось поворота рамы

22. Технические данные захватов для транспортировки листов

Наименование	Тип (рис. 56, 57, 58)					
	Рис. 56, *а*	Рис. 56, *б*	Рис. 56, *в*	Рис. 57, *а*	Рис. 57, *б*	Рис. 58
Грузоподъемность в *кг*	1000	1500	500	10	200 *	200 *
Толщина захватываемого листа в *мм*	6—25	6—36	6—25	—	—	—
Размеры транспортируемого листа в *мм*:						
наибольшие	—	—	—	—	1000 × 1000	1600 × 400
наименьшие	—	—	—	⌀ 150	—	—
Давление сжатого воздуха в сети в *кГ/см²*	—	—	—	2,5—3	3	3
Расход сжатого воздуха в *м³/ч*	—	—	—	6	6	15
Вакуум в *мм рт. ст.*	—	—	—	400	400—500	400—500
Вес в *кг*	11.6	16.8	6,6	1.25	15	34

Примечание. Захваты разработаны ВНИИтяжмаш.

* Грузоподъемность при вертикальном положении чаш 100 *кг*.

23. Технические данные траверс для транспортировки полотнищ

Показатели	Тип (рис. 59)		
	а	*б*	*в*
Грузоподъемность в *т*	11	5	3
Размеры транспортируемых полотнищ в *мм*:			
длина	10000—32000	7000—23000	—
ширина	600—2200	500—1850	—
толщина	6—30	6—25	—
Количество захватов для транспортирования:			
в вертикальном положении	8	6	—
в горизонтальном положении	16	12	4
Габаритные размеры траверсы в *мм*:			
длина	28 370	17 880	—
ширина	300	270	—
высота	6 000	4 000	—
Вес в *т*	5.7	2.7	—
Тип силовых электромагнитов	—	—	М-21
Напряжение питания электромагнитов в *в*	—	—	220

Примечание. Траверсы типов *а* и *б* разработаны ВПТИтяжмаш и Ленинградским заводом ПТО им. Кирова; траверса типа *в* — Электростальским заводом тяжелого машиностроения.

24. Технические данные грузозахватных приспособлений для транспортировки обечаек

Показатели	Тип (рис. 60)				
	а	*б*	*в*	*г*	*д*
Грузоподъемность в *т*	15	40	15	23	23
Длина обечаек в *мм*	4000—8000	4000—8000	До 2000	До 2500	1600—2600
Габаритные размеры в *мм*:					
длина	9130	8800	2670	3200	4100
ширина	400	732	250	600	400
высота	980	1477	1100	1254	1800
Вес в *кг*	2500	3700	890	1300	2500

Примечание. Грузозахватные приспособления разработаны на заводе «Волгоцеммаш», г. Тольятти.

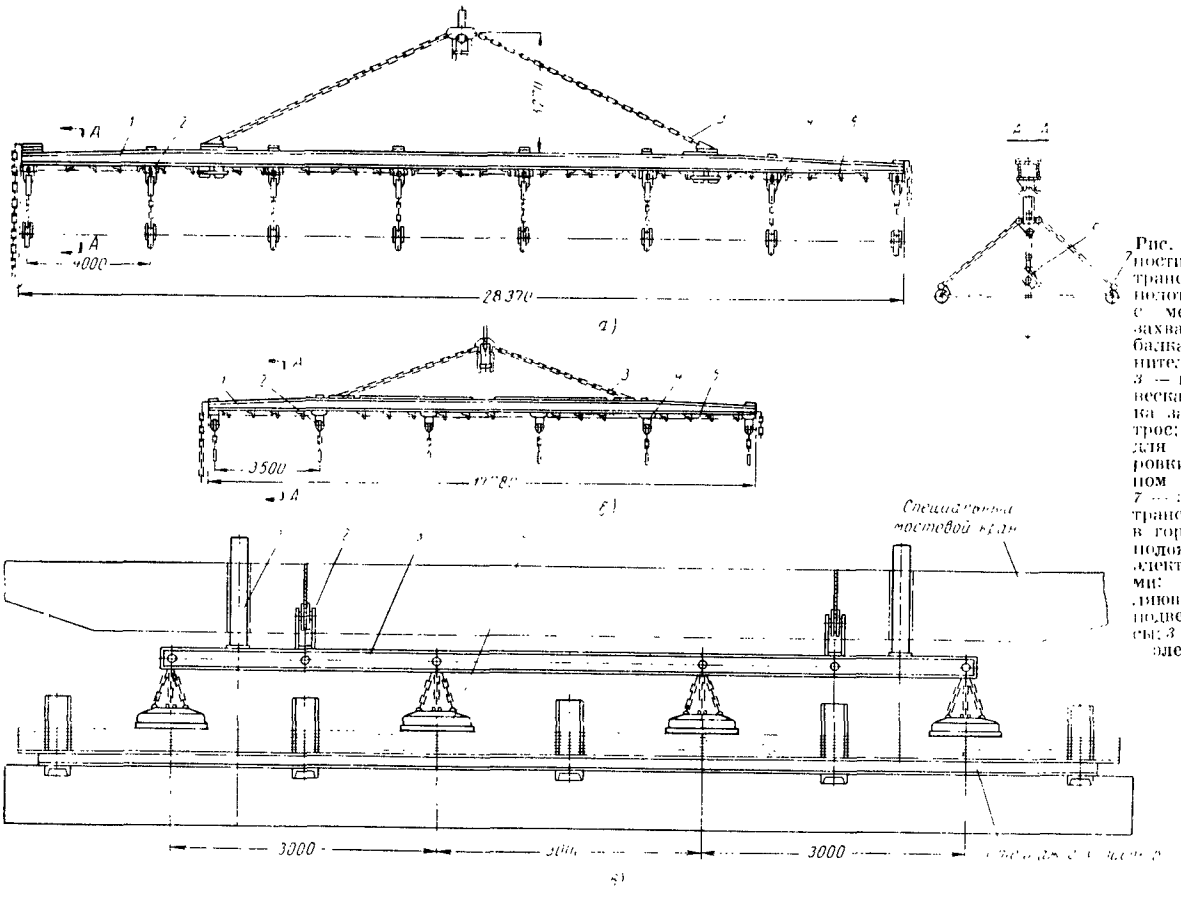


Рис. 59. Различные виды траверс для транспортировки заготовок: *а*, *б* — с механическими захватами: *1* — балка; *2* — уравнительный блок; *3* — цепная подвеска; *4* — подвеска захватов; *5* — трос; *6* — захват для транспортировки в вертикальном положении; *7* — захват для транспортировки в горизонтальном положении; *в* — с электромагнитами: *1* — направляющая; *2* — блок подвески траверсы; *3* — балка; *4* — электромагнит

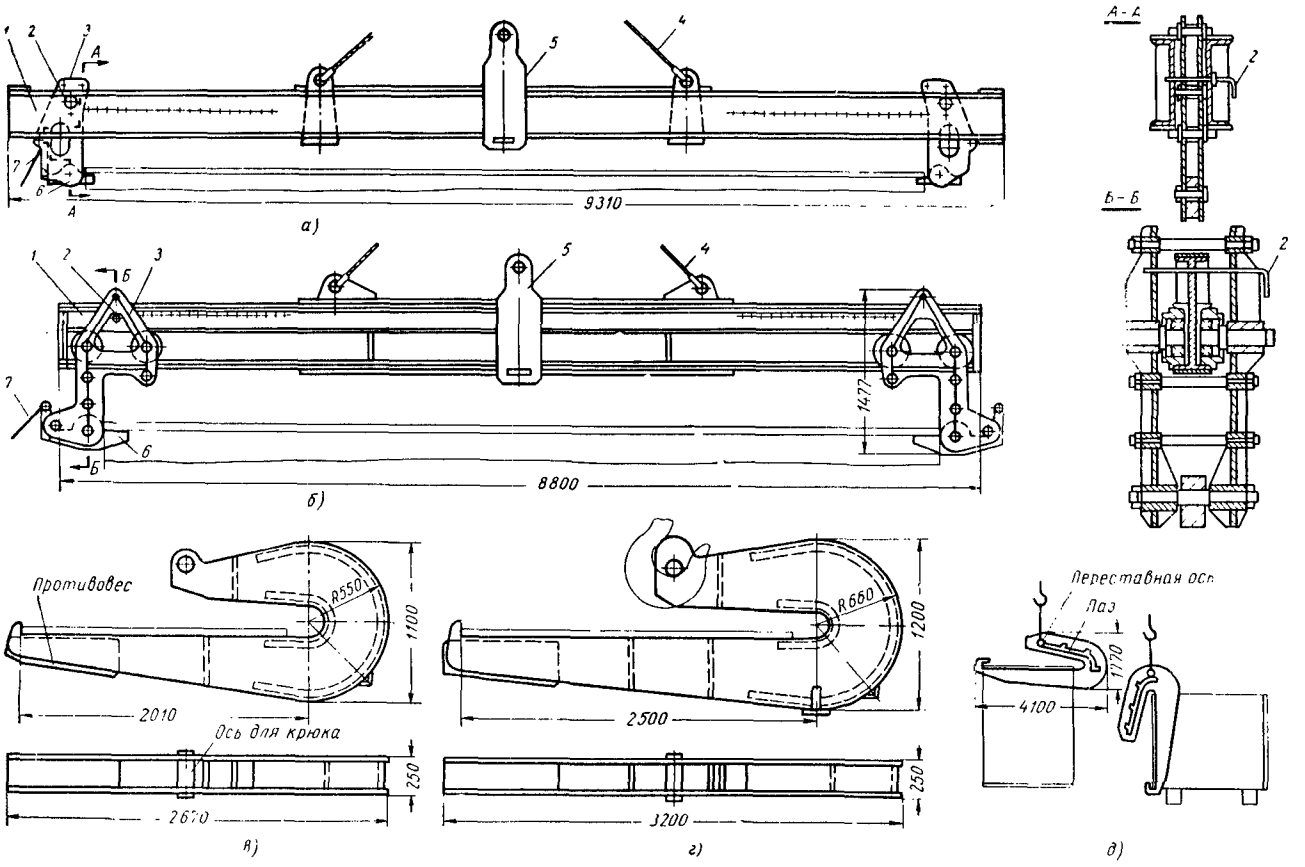


Рис. 60. Разновидности грузозахватных приспособлений для транспортировки обечаек: *а*, *б* — траверса: *1* — балка; *2* — фиксатор положения захвата; *3* — захват; *4* — строповой канат; *5* — серьга; *6* — качающийся рычаг; *7* — канат управления; *в*, *г* — скоба; *д* — скоба для транспортировки и кантовки

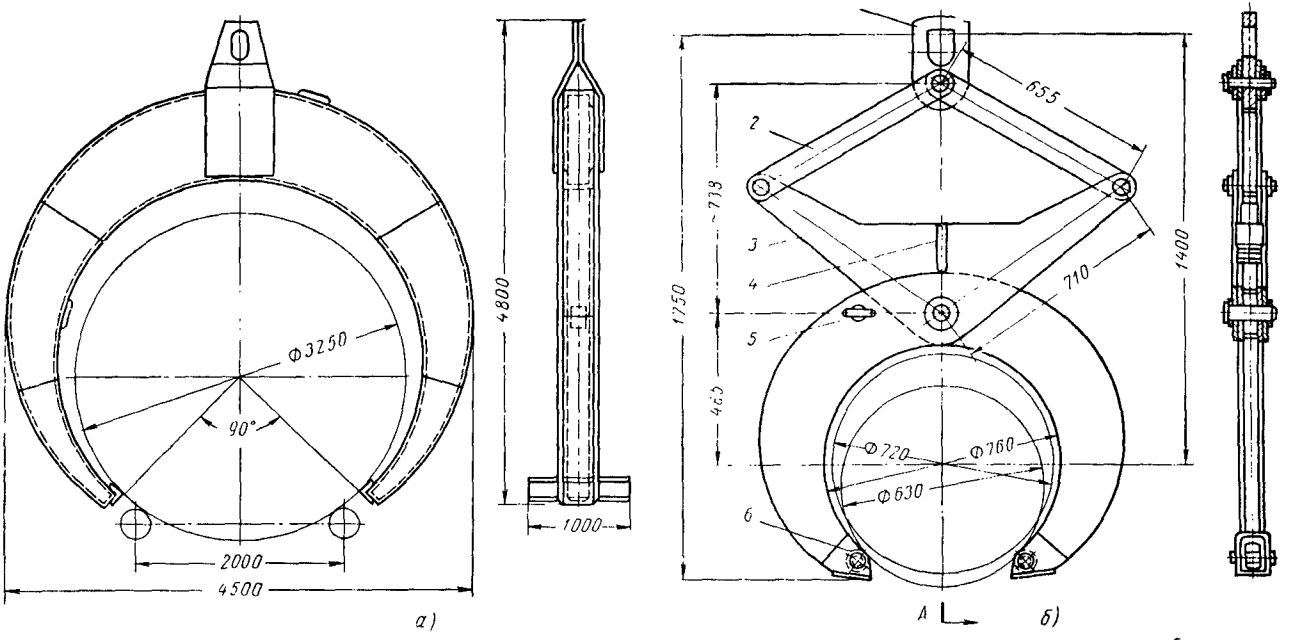


Рис. 61. Грузозахватные приспособления для транспортировки цилиндрических изделий и труб: *а* — для сосудов; *б* — для труб; *1* — подвеска захвата; *2* — тяга; *3* — скоба; *4* — упор; *5* — штырь; *6* — ролик

25. Технические данные захватов для транспортировки цилиндрических сосудов и труб

Показатели	Для цилиндрических сосудов (рис. 61, *а*)		Для труб (рис. 61, *б*)			
Грузоподъемность в *т*	30	40	2	3	5	8
Габаритные размеры в *мм*:						
длина	4500	4500	—	—	—	—
ширина	1000	1000	100	125	125	130
высота	4800	4800	895	1205	1445	1750
Высота от оси трубы до крюка в *мм*	—	—	720	980	1150	1400
Вес в *т*	2,0	2,4				

Примечание. Захваты для цилиндрических сосудов разработаны Днепропетровским заводом им. Бабушкина, захваты для труб — ИЭС им. Е. О. Патона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Куркин С. А. Технология изготовления сварных конструкций. Атлас чертежей. М., Машгиз, 1962.

2. Оборудование для комплексной механизации сварочного производства. Ч. I, II, III. НИИМАШ, М., 1965, 1967.

3. Себво И. И. Комплексная механизация и автоматизация сварочных процессов. Киев, «Наукова думка», 1964.

4. Таубер Б. А. Сборочно-сварочные приспособления и механизмы. Машгиз, 1951.

5. Типаж механического сварочного оборудования и средств механизации сварочного производства на 1965—1970 гг. НИИМАШ, М., 1965.

6. Тюрин В. Ф. Конструирование сборочно-сварочных приспособлений. НТО Машпром, М., 1964.

ГЛАВА IX

МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

ПОКАЗАТЕЛИ УРОВНЯ МЕХАНИЗАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Механизация и автоматизация производства сварных конструкций может быть локальной, т. е. охватывать часть процесса производства, и комплексной.

Уровень механизации определяется следующими показателями:

$$У_1 = \frac{\Sigma T_м H}{\Sigma (T_м H + T_р)} \cdot 100\%; \quad (1)$$

$$У_2 = \frac{\Sigma (T_м H - T_м)}{\Sigma (T_м H + T_р)} \cdot 100\%,$$

или

$$У_2 = \Sigma m - \frac{m}{H} \cdot 100\%; \quad (2)$$

$$У_3 = \frac{\Sigma T_м K}{\Sigma (T_м + T_р)} \cdot 100\%; \quad (3)$$

$$У_4 = \frac{\Sigma p_м}{\Sigma (p_м + p_р)} \cdot 100\%, \quad (4)$$

где $T_м$ — трудоемкость работ, выполняемых механизированными способами;

$T_р$ — трудоемкость работ, выполняемых ручным способом;

H — коэффициент производительности оборудования, определяемый как отношение трудоемкости изготовления деталей до и после механизации; он показывает, в частности, во сколько раз производительность машинной сварки или сборки выше ручной;

K — коэффициент механизации, определяемый как отношение времени механизированного труда к общим затратам времени на данном оборудовании;

$p_м$ — число рабочих, выполняющих работу механизированным способом;

$p_р$ — число рабочих, выполняющих работу вручную;

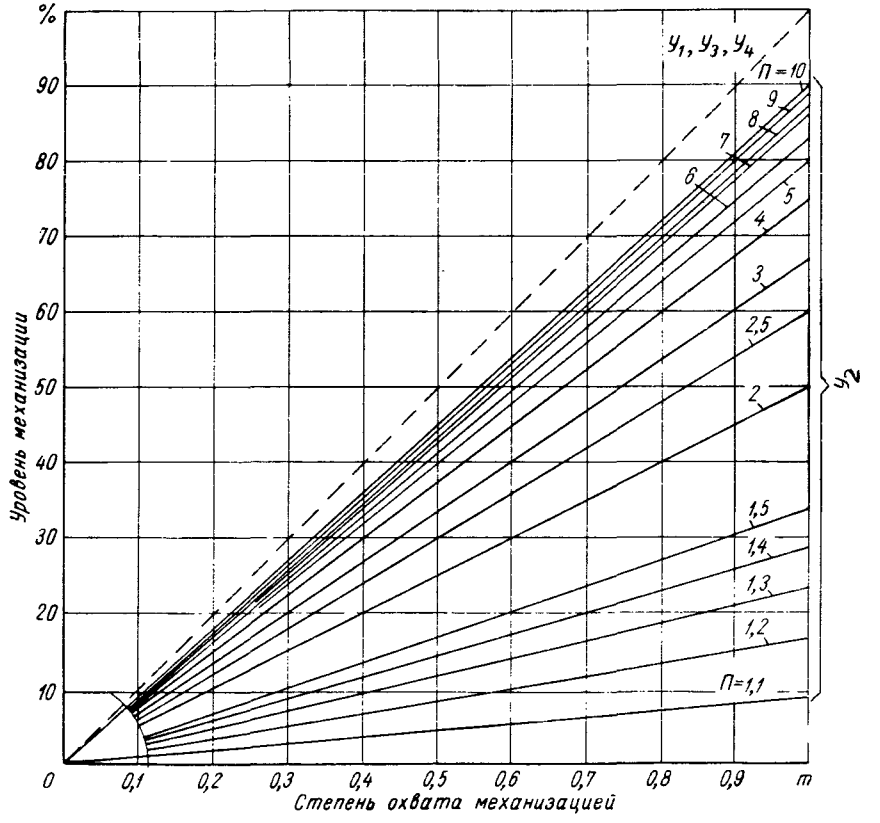
m — коэффициент, оценивающий удельный вес данной машины в рассматриваемом производственном комплексе; он равен отношению приведенной трудоемкости работ, производимых на данной машине, к общей приведенной трудоемкости всего комплекса.

Показатель $У_1$, регламентированный инструкцией Института электросварки им. Е. О. Патона [1], определяет удельный объем механизированных процессов в общем производственном процессе и отражает количественную сторону механизации.

Показатель $У_2$ предложен Н. И. Севбо [3], отражает, насколько внедрение механизированных способов способствует сокращению трудовых затрат

и вытеснению живого труда машиной, и характеризует качественную сторону механизации.

Показатели $У_3$ и $У_4$ регламентированы методикой бывшего Государственного Комитета по автоматизации и машиностроению [2]; первый определяет удельный вес механизированного труда в общих затратах труда и количественно характеризует степень механизации основных и вспомогательных работ, второй —



Зависимость уровня механизации от степени охвата m и производительности оборудования $П$

удельное количество рабочих на машинах в общем количестве рабочих и отражает социальную сторону производства.

Показатели $У_1$, $У_3$ и $У_4$ изменяются от 0 до 100%. На величину этих показателей оказывает влияние только фактор охвата механизацией производственного процесса. Показатель $У_2$ изменяется от нуля и стремится к 100%, но не достигает 100%, так как качественное совершенствование оборудования беспредельно. На величину этого показателя влияет не только степень охвата механизацией, но и степень совершенства оборудования или коэффициент производительности $П$ (см. рисунок). В формулах (1), (2) и (3) для удобства расчетов трудоемкости $Т_м$ и $Т_р$ могут быть заменены количеством рабочих $р_м$ и $р_р$.

Формулы (1) — (3) позволяют оценить в цифрах выполнение всех основных задач механизации:

замену ручных процессов механизированными ($У_1$);
внедрение наиболее производительного оборудования ($У_2$);
применение оборудования, способствующего исключению ручных вспомогательных работ ($У_3$).

Уровень автоматизации рассчитывают по тем же формулам, что и уровень механизации, но с подстановкой параметров, характеризующих автоматизированное производство.

Показатели $У_1$, $У_2$, $У_3$ и $У_4$ могут устанавливаться в целом по цеху сварных конструкций, по отдельным участкам или линиям, а также по группе процессов, например для сварочных работ.

Из приведенных расчетных формул очевидно, что наибольший уровень механизации и автоматизации достигается при комплексном охвате операций производственного процесса. Это особенно важно учитывать в сварочном производстве, где удельный вес сварочных работ в среднем составляет 30% в общем объеме работ по изготовлению сварных конструкций (табл. 1) и, следовательно, механизация только одних сварочных операций не может обеспечить высокие показатели уровня механизации сварочных цехов.

1. Удельный вес различных операций в техническом процессе производства сварных конструкций

Наименование операций	Удельный вес в %	
	с учетом заготовительных работ	без учета заготовительных работ
Заготовительные операции по изготовлению деталей сварных конструкций	18,5—24,1	—
Сборка сварных узлов	10,2—32,5	19—47,1
Сварочные работы:		
всего	13,8—27,2	19,5—36,8
в том числе вспомогательные приемы при сварке	6,2—12,2	8,8—17,0
Отделка, окраска, термообработка, механическая обработка, упаковка	4,7—12,9	6,6—20,4
Вспомогательные операции:		
всего	14,9—42,5	14,6—34,2
в том числе обслуживание электромостовых кранов и строповление изделий	12,7—26,7	12,5—21,4

Примечание. Данные установлены на основании анализа структуры технологической трудоемкости работ по производству сварных конструкций на заводах тяжелого машиностроения.

КЛАССИФИКАЦИЯ И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Основные направления механизации сборочно-сварочного производства вытекают из приведенной в табл. 2 классификации оборудования [1], расположенного в порядке возрастания уровня комплексной механизации $У_2$. В табл. 2 приведены средние величины показателей $П$, $т$ и $У_2$; они зависят от вида свариваемых изделий и конструкции применяемого оборудования и поэтому должны рассчитываться в каждом отдельном случае с учетом конкретных условий производства.

[1] Классификация разработана П. П. Севбо [3], публикуется с уточнениями автора главы.

2. Классификация оборудования для механизации и автоматизации сборочно-сварочных работ

Класс	Наименование оборудования	Механизируемые или автоматизируемые работы	Тип производства	Коэффициент производительности оборудования $П$	Удельный вес в общем комплексе работ m	Уровень комплексной механизации $У_2$
		Механическое оборудование				
I	Кантователи, манипуляторы, и позиционеры для ручной и полуавтоматической сварки	Вспомогательные приемы	Любое	1,3	0,30	7
Iа	Местный транспорт	Транспортировка изделий; исключается необходимость в применении общих электромостовых кранов	»	2,0	0,35*	17
Iб	Сборочные установки и приспособления	Фиксирование и закрепление деталей при сборке и при необходимости вспомогательные приемы по кантовке изделий	Любое	2,5	0,30	18
		Сварочное оборудование				
II	Полуавтоматы для дуговой сварки	Подача электрода	Любое	1,5	0,30	10
III	Универсальные сварочные установки	Процесс сварки и вспомогательные приемы по кантовке изделий, установке автомата, сбору флюса	Мелкосерийное и индивидуальное	3,0	0,30	20
IV	Специализированные сварочные станки	Процесс сварки и вспомогательные приемы по кантовке изделий, установке автомата, сбору флюса	Серийное	4,0	0,30	22,5
V	Специализированные сварочные станки-автоматы (с автоматическим управлением)	Основные и вспомогательные операции процесса сварки	Крупносерийное и массовое	6,0	0,30	25
		Сборочно-сварочное оборудование				
VI	Сборочно-сварочные станки	Сборочные, сварочные операции и вспомогательные приемы по кантовке изделий, установке автомата, сбору флюса и др.	Серийное	3,5	0,65	46,5
VII	Сборочно-сварочные станки-автоматы (с автоматическим управлением)	Основные и вспомогательные операции сборочно-сварочного процесса	Крупносерийное и массовое	6,0	0,7	58
VIII	Механизированные сборочно-сварочные линии	Последовательно весь комплекс сборочных, сварочных вспомогательных, а иногда и заготовительных операций	Серийное	3,0	0,9	60
IX	Автоматические сборочно-сварочные линии (с автоматическим управлением)	Весь производственный цикл сборки-сварки	Крупносерийное и массовое	7–8,0	1,0	75–87,5

* Установлен, исходя из затрат времени вспомогательных и основных рабочих на выполнение транспортных операций.

3. Примеры сварочных станков

Станок	Назначение	Организация, разработавшая станок
	Сварочные станки IV класса	
Для сварки корпусов шахтерских ламп, тип Р-556	Дуговая сварка под флюсом на медной подкладке двух кольцевых и одного продольного швов корпуса шахтерских ламп типа ЛАУ-1 и ЛАУ-4. Толщина свариваемых деталей 1,5 мм, диаметр 79 и 101 мм, длина 165 и 176 мм. Сварка всех трех швов без перерыва со скоростью 80 *м/ч*	ИЭС им. Е. О. Патона
Для сварки корпусов паяльных ламп, тип Р-936	Одновременная дуговая сварка плавящимся электродом в среде углекислого газа двух кольцевых швов корпуса паяльных ламп двумя сварочными головками. Диаметр корпуса 120 мм. Производительность станка 400 шт. в смену	То же
Для сварки тракторных колес	Двухдуговая сварка плавящимся электродом в среде углекислого газа двух дисков колеса с ободом и ступицей. Переключение станка с одной пары швов на другую автоматизировано	Внедрен на Волгоградском тракторном заводе
Для наплавки валков пильгерстана, тип Р-837	Дуговая наплавка под флюсом рабочих поверхностей прокатных валков пильгерного стана, имеющих сложную пространственную кривизну. Длина валков 2120 мм, диаметр бочки 740—840 мм. Скорость наплавки 30—50 *м/ч*	ИЭС им. Е. О. Патона
Многоэлектродная машина для сварки битера самоходного комбайна, тип МТМВ-6 × 100	Сварка кожуха битера и приварка к нему четырех лопастей. Толщина свариваемых элементов 1,4—2 мм	Завод «Электрик»
	Сварочные станки V класса	
Автоматы для сварки корпусов электрических конденсаторов, тип А-450 и А-451	Дуговая сварка в среде углекислого газа угольным электродом бортовых соединений крышки и корпуса конденсаторов из тонколистовой стали: станок А-450 – прямоугольных, станок А-451 – круглых диаметром 10—40 мм. Производительность каждого станка 400 *шт/ч*	ИЭС им. Е. О. Патона
Автомат для сварки кольцевых швов малогабаритных изделий, тип Р-855	Дуговая сварка в среде углекислого газа плавящимся электродом кольцевых швов малогабаритных изделий диаметром 6—30 мм. Скорость сварки 20—80 *м/ч*	То же
Автоматическая контактная машина для сварки корпусов конденсаторов, тип МРПК-800	Рельефная сварка соединений корпусов и крышек конденсаторов толщиной 0,5—0,8 мм. Максимальный периметр рельефа свариваемых деталей 190 мм; максимальная высота свариваемых деталей 80 мм. Производительность – до 12 сварок в минуту	Завод «Электрик»

4. Примеры сборочно-сварочных станков

Станок	Назначение	Организация, разработавшая станок
	Сборочно-сварочные станки VI класса	
Вальцесварочный для кузовов шахтных вагонеток	Вальцовка боковины кузова, сборка боковины с днищами (лобовинами) и дуговая сварка под флюсом двух криволинейных швов одновременно двумя головками	ИЭС им. Е. О. Патона

Продолжение табл. 4

Станок	Назначение	Организация, разработавшая станок
Для сборки и сварки канистр, тип А-465, А-668, А-595	Сборка и дуговая сварка бортовых швов стальных канистр угольным электродом в среде углекислого газа и алюминиевых вольфрамовым электродом в среде аргона. Емкость канистр 10 и 20 *л*. Производительность станка 60—80 канистр в час	ИЭС им. Е. О. Патона
	Сборочно-сварочные станки VII класса	
Автомат для сборки и сварки стальных пустотелых шаров, тип Р-899	Сборка и дуговая сварка без подкладных колец в среде углекислого газа плавящимся электродом двух штампованных полусфер диаметром 200 *мм* с толщиной стенки 2 *мм*. Производительность станка 300 шт. в смену	ИЭС им. Е. О. Патона
Автомат для сборки и сварки шахтных стоек	Сборка и дуговая сварка под флюсом двух стыковых швов коробчатого корпуса, состоящего из двух швеллеров специального профиля шириной 120 *мм* и длиной 1,0—1,2 *м*.	То же
Автомат для сборки и сварки трехзвеньевых электродов осветительных радиоламп, тип ЛА-8	Рихтовка, обрезка проволок из меди, платинита и никеля и конденсаторная стыковая сварка. Диаметр медной и никелевой проволоки 0,5; 0,6; 0,8 *мм*, платинитовой — 0,4 *мм*. Производительность автомата 105—130 электродов в минуту	Изготовитель: Ленинградский завод станков автоматов

Примечание. К оборудованию VI класса относятся все стыковые контактные сварочные машины.

5. Примеры сборочно-сварочных механизированных и автоматических линий

Изделия, изготовляемые на линии	Краткие технические данные линий	Организация, разработавшая или внедрившая линию
	Механизированные линии VIII класса	
Крупнопрофильные двутавровые балки[1]	Размеры изготовляемых балок: высота 600—2000 *мм*; ширина полок 220—600 *мм*; толщина стенок 8—20 *мм*; толщина полок 10—40 *мм*; длина балок 12000 *мм*; катет угловых швов 8—18 *мм*. На линии выполняют: обработку листов и полос; сборку балки; сварку под флюсом поясных швов трехдуговым автоматом; правку балок и фрезерование торцов с точностью по длине ±2 *мм*. Производительность линии 3 балок в час, скорость сварки поясных швов 90—120 *м/ч*	Внедрена на Днепропетровском заводе им. Бабушкина
Прямошовные трубы[1]	Диаметр труб 529—1200 *мм*, толщина стенки до 12 *мм*. На линии выполняют: обработку листов, формовку труб; сварку под флюсом наружных стыковых и внутренних продольных швов; калибровку труб; контроль, отделку и сдаточные испытания. Сварка труб осуществляется трехдуговым автоматом со скоростью 115—200 *м/ч*	Внедрена на Челябинском трубном заводе

Продолжение табл. 5

Изделия, изготовляемые на линии	Краткие технические данные линий	Организация, разработавшая или внедрившая линию
Полотнища нефтерезервуаров [1]	Размеры изготовляемых полотнищ: длина до 72000 *мм*; ширина до 12 500 *мм*; толщина 6—10 *мм*; диаметр рулона до 3500 *мм*. На линии выполняют: сборку полотнища; двустороннюю сварку под флюсом стыковых швов; контроль качества швов; сворачивание полотнища в рулон	Разработана ИЭС им. Е. О. Патона
Железнодорожные цистерны [1]	Размеры котлов: диаметр 2800 *мм*; длина 10 300 *мм*; толщина стенки 9 и 11 *мм*. На линии выполняют: правку листов; пакетировку; строжку продольных кромок в пакетах и фрезерование поперечных кромок; сборку полотнищ из пяти листов, двустороннюю автоматическую сварку под флюсом стыковых швов полотнищ; вальцовку и сборку продольных кромок обечайки котлов; двустороннюю автоматическую сварку под флюсом продольного стыка обечайки; сборку обечайки с днищами; автоматическую сварку под флюсом внутренних и наружных стыковых швов, соединяющих обечайку с днищами; контроль; испытание и сдачу котла	Внедрена на Ждановском заводе тяжелого машиностроения
Коробчатые пролетные балки электрических мостовых кранов	Размеры балок: длина 10—32 *м*; высота 1000—2000 *мм*; ширина 450—700 *мм*; толщина стенок 6 *мм*, толщина поясов до 14 *мм*; вес 0,9—13 *т*. На линии выполняют: сборку поясов и стенок и сварку под флюсом стыковых швов; сборку поясов с диафрагмами и стенками; автоматическую сварку под флюсом угловых поясных швов; контроль качества сварных швов. Годовая программа выпуска балок на линии 2800 *шт*.	Внедрена на Узловском машиностроительном заводе
Крышки люков железнодорожных вагонов	Параметры узла: длина 1600 *мм*, ширина 1400 *мм*, толщина свариваемых деталей 5 + 4 *мм*; количество сварных точек 160. На линии выполняют: очистку листа; сборку листа со штампованными балками жесткости; приварку балок к листу на многоточечной контактной машине; окраску узла. Продолжительность цикла сварки одного изделия 196 *сек*	Внедрена на Уралвагонзаводе
	Автоматические линии IX класса	
Трубы со спиральным швом [1]	Размеры труб: диаметр 426, 478, 529, 630, 720, 1020 *мм*; длина 8—24 *м*; толщина 6—12 *мм*. На линии выполняют: разматывание рулона и правку полосы; обрезку начальных и конечных участков рулона; автоматическую сварку под флюсом концов полосы разных рулонов; обрезку и очистку продольных кромок полосы; формовку полосы в трубную заготовку со спиральным стыком; автоматическую сварку под флюсом стыкового шва с внутренней и наружной стороны; разрезку труб. Скорость сварки 200 *м/ч*	Внедрена на Ждановском заводе им. Ильича

[1] Описание работы линии см. гл. 7.

Продолжение табл. 5

Изделия, изготовляемые на линии	Краткие технические данные линий	Организация, разработавшая или внедрившая линию
Плоскосворачиваемые трубы [1]	Размер ленты: толщина 1,5—3,0 *мм*; ширина 130—250 *мм*; длина до 300 *м*. Диаметр труб 75—150 *мм*. На линии выполняют: разворачивание двух рулонов ленты; очистку и правку лент; сварку двух лент внахлестку сдвоенной шовной машиной; правку плоской трубы; контроль качества швов и сворачивание готовой плоской трубы в рулон	Разработана на ИЭС им. Е. О. Патона
Колеса автомобиля ГАЗ-51	Размеры узла: диаметр обода 508 *мм*; толщина обода 6 *мм*; толщина диска 3 *мм*; катет кольцевого шва, соединяющего обод с диском, 3 *мм*. На линии выполняют: сборку обода с диском; автоматическую дуговую сварку кольцевого шва; пробивку ниппельного отверстия; зачистку заусенцев; контроль качества. Такт производства 15 *сек*	Внедрена на Горьковском автомобильном заводе
Каркасы и сетки арматуры железобетона	Размеры сеток: ширина до 2350 *мм*; диаметр продольных проволок 3—18 *мм*, диаметр поперечных проволок 3—10 *мм*. На линии выполняют: разматывание бухты и правку продольных проволок; подачу из бункера питателя поперечных проволок; точечную контактную сварку проволок в местах их пересечения; отрезание сетки на заданную длину	Завод „Электрик"

[1] Описание работы линии см. гл. 7.

Оборудование классов I, Iа, Iб, а также механическое оборудование универсальных сварочных установок (класс III) рассмотрено в гл. 8. Оборудование II класса, а также электротехническое оборудование универсальных сварочных установок (класс III) рассмотрено в томе 1 настоящего справочника. В табл. 3, 4 и 5 приведены примеры оборудования IV—IX классов.

Комплексная механизация заготовительных работ по изготовлению деталей сварных конструкций осуществляется путем оснащения заготовительного оборудования средствами местной механизации и внедрения механизированных линий. В зависимости от вида свариваемых изделий, серийности и объема выпуска заготовительные работы могут проводиться на самостоятельных линиях или включаться в линии по производству сварных конструкций. В табл. 6 приведены примеры комплексной механизации заготовительных работ из опыта Уралмашзавода.

6. Примеры комплексной механизации заготовительных работ по изготовлению деталей сварных конструкций

Наименование работ	Оборудование	Краткие технические данные	Локальный коэффициент производительности
Резка листового материала	Гильотинные ножницы, портальный манипулятор для переноски и укладки листов, тележка-рольганг для подачи листов, тележка для удаления нарезанных заготовок, сталкиватель обрезков	Грузоподъемность манипулятора 4 *т*, колея 9 *м*. Скорость подачи листов по рольгангу 1,6—10,8 *м/мин*. Габаритные размеры тележки-рольганга 8700 × 2500 × 1091 *мм*	2,5

Продолжение табл. 6

Наименование работ	Оборудование	Краткие технические данные	Локальный коэффициент производительности
Правка листового материала	Листоправильные вальцы, приводной рольганг перед вальцами, приводной рольганг за вальцами, переда-точные мосты	Суммарная длина рольганга 47 *м*. Скорость передвижения листа на рольгангах 11 *м/мин*	2
Резка углового проката	Механизированная линия мерной резки уголка	Номер сортамента уголков 2,5—16; длина отрезаемых уголков 30—8000 *мм*. Скорость перемещения уголка: по подающему рольгангу 14,1 *м/мин*; по приемному рольгангу 40 *м/мин*	2
Резка труб	Механизированная линия мерной резки труб	Диаметр труб 60—152 и 127—426 *мм*; длина отрезаемых заготовок 50—8000 *мм*; наибольшая толщина стенки труб 35 *мм*	3

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция о порядке составления и представления отчета о производстве и механизации сварочных и наплавочных работ по форме № 1-нт (сварка). М., изд-во «Статистика». 1966.

2. Методика укрупненного определения уровня механизации и автоматизации производственных процессов в машиностроении. Государственный Комитет Совета Министров СССР по автоматизации и машиностроению. М., 1962.

3. Севбо П. П. Комплексная механизация и автоматизация сварочных процессов. Киев, «Наукова думка», 1964.

РАЗДЕЛ III

ОСНОВЫ ОРГАНИЗАЦИИ ТРУДА И ЭКОНОМИКИ В СВАРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

ГЛАВА X

ОРГАНИЗАЦИЯ И ЭКОНОМИКА СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

ПРОЦЕСС ПРОИЗВОДСТВА СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ОСНОВЫ ЕГО ПОСТРОЕНИЯ

Основные понятия и определения

Процесс изготовления сварных конструкций охватывает все фазы производства и состоит из взаимосвязанных частичных процессов: заготовительных (раскрой, резка и гибка металла, ковка, штамповка и отливка заготовок); обрабатывающих (строжка, сверление, вальцовка, термическая обработка); сборочно-сварочных (сборка под сварку, сварка отдельных деталей, узлов и конструкций в целом) и отделочных (правка, грунтовка, маркировка).

Частичные процессы каждой фазы производства подразделяются на основные (процессы изменения формы, габаритных размеров заготовок, деталей и узлов; физико-механических свойств материалов и т. д.); вспомогательные (процессы изготовления технологической оснастки, ремонт оборудования, процессы производства всех видов энергии) и обслуживающие (доставка материалов, инструментов и приспособлений к рабочим местам, транспортировка и контроль изготовляемых объектов и т. д.).

Основные и вспомогательные процессы разделяются на простые и сложные.

Простой процесс — это совокупность нескольких взаимосвязанных операций, выполняемых в определенной последовательности при изготовлении данной детали (заготовки) или при сборке сварного узла.

Сложный процесс — это совокупность простых взаимосвязанных процессов.

Основной структурной единицей процесса производства сварных конструкций является операция.

Операция — часть производственного процесса, выполняемая одним рабочим или группой рабочих на одном рабочем месте без переналадки оборудования.

Различают основные, или технологические, операции (резка, гибка, строжка, сборка, сварка) и вспомогательные операции (контроль качества, перемещение обрабатываемых предметов труда по рабочим местам).

Совокупность основных (технологических) операций — технологический процесс изготовления сварных конструкций.

Построение процесса производства сварных конструкций во времени

Построение процесса производства сварных конструкций во времени осуществляется в зависимости от их конструктивной сложности, применяемых технологических процессов, типа оборудования, объема выпуска, уровня специализации сварочных цехов и их структурных подразделений. При этом должны быть достигнуты: непрерывность и параллельность выполнения отдельных операций и частичных процессов; прямоточность,

обеспечивающая кратчайший путь движения обрабатываемых предметов по рабочим местам, пролетам, участками и цехам; пропорциональность, т. е. соблюдение заданного количества изготовляемых объектов во всех частях процесса производства, и ритмичность — повторение через строго установленные периоды времени частичных процессов и в целом процесса производства определенного количества заготовок, деталей (узлов, изделий).

Длительность производственного цикла сварной конструкции ($T_{ц.\,св.\,кон}$) — период времени между запуском в производство исходных материалов (заготовок) и выпуском конструкций в готовом виде складывается из длительностей циклов заготовительных ($T_{ц.\,заг}$), обрабатывающих ($T_{ц.\,обр}$), сборочных ($T_{ц.\,сб}$), сварочных ($T_{ц.\,св}$), отделочных ($T_{ц.\,отд}$) и естественных ($T_{ц.\,ест}$) частичных

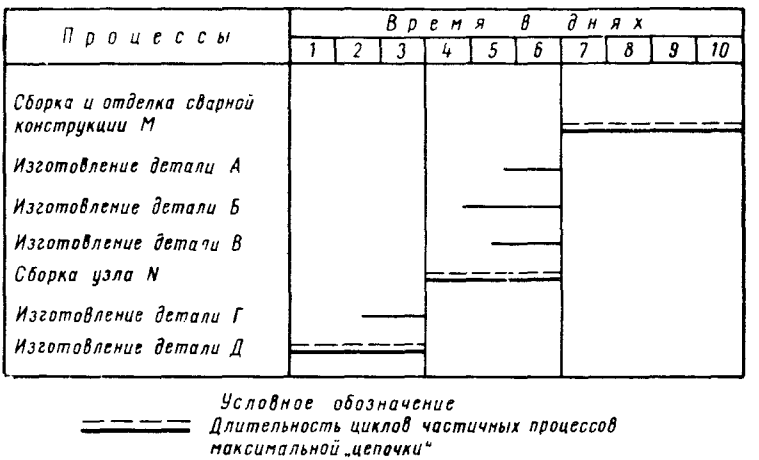


Рис. 1. Схема циклового графика и максимальная по длительности «цепочка» циклов частичных взаимосвязанных процессов

процессов, времени на контрольные ($T_{кон}$), транспортные ($T_{тр}$) операции и времени межоперационного пролеживания изготовляемых объектов ($T_{пер}$), т. е.

$$T_{ц.\,св.\,кон} = T_{ц.\,заг} + T_{ц.\,обр} + T_{ц.\,сбр} + T_{ц.\,св} + \\ + T_{ц.\,отд} + T_{ц.\,ест} + T_{кон} + T_{тр} + T_{пер}. \qquad (1)$$

Частичные процессы производства сварных конструкций могут сочетаться во времени последовательным, параллельно-последовательным и параллельными способами.

Длительность производственного цикла сварной конструкции определяется максимальной суммой циклов взаимосвязанных частичных процессов

$$T_{ц.\,св.\,кон} = \sum_{1}^{m} (T_{ц.\,част})_{max}. \qquad (2)$$

где m — количество частичных взаимосвязанных процессов, составляющих максимальную по длительности «цепочку» циклов. Эта «цепочка» устанавливается обычно по цикловому графику изготовления сварной конструкции (рис. 1); $T_{ц.\,част}$ — длительность цикла каждого частичного процесса максимальной «цепочки».

Длительность производственного цикла частичных процессов ($T_{ц.\,част}$) зависит от степени одновременности протекания входящих в них операций и определяется по формулам (в календарных днях):

при последовательном способе сочетания операций,

$$T_{ц.\,пос} = \frac{1}{0{,}7}\left| n \sum_{1}^{m} \frac{t_к}{cqs} + \frac{t_{м.\,о}}{s} m \right| + \frac{1}{24} t_{ест}, \tag{3}$$

где $\frac{1}{0{,}7}$ — коэффициент перевода рабочих дней в календарные (257 : 365 ≈ 0,7);

m — число операций в данном процессе;

n — число заготовок (деталей) в партии;

$t_к$ — штучно-калькуляционное время в *мин*;

c — число единиц оборудования или рабочих мест, занятых одновременно выполнением данной операции;

s — сменность работы;

q — продолжительность рабочей смены;

$t_{м.\,о}$ — длительность межоперационных перерывов в сменах;

$t_{ест}$ — длительность естественных процессов в *ч*;

при параллельно-последовательном способе сочетания операций

$$T_{ц.\,пар.\,пос} = \frac{1}{0{,}7}\left| n \sum_{1}^{m} \frac{t_к}{cqs} - \sum_{1}^{m-1} (n-p) \left(\frac{t_к}{cqs}\right)_{кор} + \frac{t_{м.\,о}}{s} m \right| + \frac{1}{24} t_{ест}, \tag{4}$$

где $\left(\frac{t_к}{cqs}\right)_{кор}$ — операционный цикл наиболее короткой по длительности операции (из каждой пары смежных операций);

p — число заготовок (деталей) в передаточной (транспортной) партии; при параллельном способе сочетания операций

$$T_{ц.\,пар} = \frac{1}{0{,}7}\left| (n-p) \left(\frac{t_к}{cqs}\right)_{\max} + p \sum_{1}^{m} \frac{t_к}{cqs} + \frac{t_{м.\,о}}{s} m \right| + \frac{1}{24} t_{ест}, \tag{5}$$

где $\left(\frac{t_к}{cqs}\right)_{\max}$ — операционный цикл наиболее продолжительной по времени выполнения операции (из всех операций процесса);

При равенстве или кратности длительностей операций, входящих в тот или иной процесс изготовления сварной конструкции, такту поточной линии r

$$T_{ц.\,пот} = rn + \sum_{1}^{m-1} rpc. \tag{6}$$

Операционный цикл

$$T_o = \frac{nt_к}{c}. \tag{7}$$

Располагая данными о длительности цикла процесса производства сварных конструкций при последовательном способе сочетания входящих в него операций и величине коэффициента параллельности $K_{пар}$, можно определить $T_{ц.\,пар.\,посл}$ и $T_{ц.\,пар}$ по формулам

$$\left.\begin{aligned} T_{ц.\,пар.\,посл} &= T_{ц.\,посл} K_{пар}; \\ T_{ц.\,пар} &= T_{ц.\,посл} K_{пар}. \end{aligned}\right\} \tag{8}$$

Коэффициент параллельности $K_{пар}$ определяют по заводским данным о средней длительности производственного цикла сварных конструкций:

$$K'_{пар} = \frac{T_{ц.\,пар.\,посл}}{T_{ц.\,посл}}; \quad K''_{пар} = \frac{T_{ц.\,пар}}{T_{ц.\,посл}}.$$

Последовательный способ сочетания операций (частичных процессов) целесообразно применять при небольшой величине n, $t_к$ и незначительной повторяемости изготовляемых объектов.

Параллельно-последовательный способ сочетания операций (частичных процессов) оправдывает себя при значительной величине n, $t_к$ и регулярной повторяемости технологического маршрута изготовляемых объектов.

Параллельный способ сочетания операций (частичных процессов) эффективен при равенстве длительности операционных циклов (или циклов частичных процессов) [1].

Построение процесса производства сварных конструкций в пространстве (производственная структура завода-центросвара и сварочных цехов)

Организация процесса производства сварных конструкций существенно зависит от размещения, принципов образования и взаимосвязей производственных подразделений завода и цехов, т. е. от построения процесса производства в пространстве.

В свою очередь, состав производственных подразделений, принципы их образования, формы взаимосвязей и размещение — все это вместе взятое определяет производственную структуру завода (цеха).

Производственная структура завода-центросвара зависит от следующих факторов: масштаба производства сварных конструкций, характера исходных материалов, заготовок, деталей и технологии их изготовления, уровня и форм специализации и производственного кооперирования его с другими предприятиями.

Основным структурным подразделением завода-центросвара является цех, а первичным элементом производственной структуры цеха — рабочее место. Цехи и их производственные подразделения (участки, пролеты), занятые производством сварных конструкций, создаются по трем основным принципам:

технологическому, когда в цехе (на участке, пролете) выполняются однородные технологические операции (например, сборочно-сварочные) при изготовлении сварных конструкций разнообразной номенклатуры;

предметному, когда цехом (участком, пролетом) изготовляются до определенной степени готовности сварные конструкции однородной номенклатуры с выполнением различных по характеру и назначению технологических процессов и операций. Наиболее прогрессивной формой предметного построения производственных подразделений являются предметно-замкнутые цехи (пролеты и участки), характеризующиеся осуществлением всех стадий процесса производства однотипных сварных конструкций при минимальной длительности производственного цикла и величине незавершенного производства. Продукция предметно-замкнутых цехов (пролетов) поступает обычно в цехи предварительной или окончательной сборки, а также на склад готовых изделий;

смешанному, когда цехи, образованные по технологическому принципу, имеют в своем составе предметно-замкнутые участки (пролеты), или же в цехах, образованных по предметному принципу, имеются участки (пролеты) с выполнением комплекса однородных технологических операций по изготовлению разнообразной номенклатуры заготовок и деталей.

---

[1] Практически в сварочных цехах операции технологических процессов и частичные процессы производства, связанные с изготовлением сварной конструкции, сочетаются во времени на разных стадиях ее производства различными способами.

Более высокие технико-экономические показатели могут быть получены при построении цехов (участков, пролетов) по предметному принципу. При предметном построении цехов достигается прямоточность и наиболее короткие пути движения изготовляемых объектов; создаются возможности применения прогрессивных технологических процессов; значительно упрощается планирование и учет производства; повышается производительность труда и снижаются издержки производства. Следовательно, возможности построения цехов, участков, пролетов по предметному принципу должны максимально использоваться заводами.

Заслуживает также внимания создание цехов по смешанному принципу. В данном случае достигается более рациональное использование оборудования, производственных площадей, рабочей силы, сокращается цикл производства, повышается качество изготовляемых объектов и снижаются затраты на их изготовление.

Наибольшая экономическая эффективность от смешанного способа построения цехов достигается при производстве однотипных сварных конструкций, состоящих из ограниченного количества основных крупногабаритных, большой трудоемкости узлов и значительного количества малотрудоемких, небольших габаритов конструктивных элементов. Основные узлы в таком случае изготовляют на предметно-замкнутых участках (пролетах), а малогабаритные конструктивные элементы — на участках с групповой расстановкой оборудования по роду технологических операций.

Производственная структура завода-центросвара определяется прежде всего его производственной деятельностью. Обычно в пределах завода-центросвара планируется выполнение комплекса работ, связанных с разработкой и изготовлением сварных и комбинированных (сварно-литых, сварно-кованых, сварно-штампованных) металлоконструкций для отраслей машиностроения. Заводы-центросвары имеют два резко выраженных профиля: отраслевой и межотраслевой.

Отраслевой завод-центросвар специализируется на выпуске крупными сериями ограниченного числа сварных конструкций для одной отрасли. Например, изготовление для автомобилестроения узлов массового применения (рам, колес и т. д.).

Межотраслевой завод-центросвар производит разнообразные сварные металлоконструкции мелкими сериями для различных отраслей машиностроения. Например, блок цехов сварных конструкций Уралмашзавода изготовляет сварные узлы для металлургического, горнорудного, строительно-дорожного и других отраслей машиностроения.

Заводы-центросвары, созданные по предметному принципу, имеют в своем составе следующие основные и вспомогательные производственные подразделения:

заготовительные цехи, в которых производится правка, очистка, пассивирование, раскрой листового и профильного проката с подачей его на обработку по заказам;

обрабатывающие цехи, предназначенные для изготовления деталей методом штамповки, вальцовки, вырубки, газовой и механической резки, а также для осуществления строжки, сверления отверстий, подготовки кромок под сварку и т. д.; отделение комплектации деталей;

сборочно-сварочные цехи, характеризующиеся изготовлением на поточно-механизированных линиях и специализированных участках емкостных, каркасных, рамных, ферменно-балочных и других сварных конструкций, а также сварно-кованых, сварно-литых и сварно-штампованных конструкций;

цех механизации и нестандартного оборудования (изготовление средств механизации и нестандартного оборудования);

цех (отделение) термической обработки сварных узлов, выполненных электрошлаковой и частично автоматической сваркой под флюсом;

цех (отделение) наплавки, представляющий собой централизованное производство наплавочных работ по восстановлению изношенных деталей;

цех отделочных работ и упаковки (грунтовка, окраска, маркировка и упаковка);

цехи вспомогательного производства: инструментов и приспособлений; ремонтно-механический; электроремонтный; ремонтно-строительный и цех подготовки сварочных материалов.

Наиболее рациональным является размещение основных и вспомогательных производственных подразделений завода-центросвара в отдельно стоящих блоках: главный корпус, блок вспомогательных цехов и инженерно-лабораторный блок.

Производственные связи завода-центросвара включают получение литья, штамповок, поковок и вспомогательных сварочных материалов со специализированных предприятий.

Однако в тех случаях, когда потребность завода-центросвара в литье, поковках, штамповках и вспомогательных сварочных материалах велика, тогда целесообразно включить в его производственную структуру литейный, кузнечный и другие цехи.

При концентрации производства однотипных сварных конструкций в значительных масштабах (120–260 тыс. *т* в год) на заводах-центросварах создается возможность применения методов серийного и крупносерийного производства для изготовления унифицированных конструктивных элементов при индивидуальном и мелкосерийном выпуске самих сварных конструкций.

ОРГАНИЗАЦИЯ ПОТОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Сущность и предпосылки поточного производства

Поточное производство — наиболее совершенная и экономически эффективная форма организации процесса изготовления сварных конструкций, воплощающая в себе принципы прямоточности, непрерывности и ритмичности.

Для поточного производства характерны:

прямоточное (цепное) расположение рабочих мест строго в соответствии с ходом технологического процесса, исключающее возвратные движения изготовляемых объектов;

высокая степень непрерывности процесса, достигаемая непрерывной передачей изготовляемых объектов с одной операции на другую.

Показателем непрерывности поточного производства сварных конструкций следует считать отсутствие пролеживания заготовок, деталей и узлов по причине календарной несогласованности выполнения операции. Другими словами, непрерывность поточного производства достигается равенством производительности на всех операциях линии. Речь идет о производительности, соответствующей установленному по заданной программе единому такту потока. Достигнутая степень непрерывности процесса изготовления сварных конструкций может быть определена ориентировочно по коэффициенту прерывности:

$$K_{пр} = \frac{T_ц - \sum_1^m rc}{\sum_1^m rc}, \qquad (9)$$

где $T_ц$ — длительность производственного цикла детали при обычных условиях производства;

$\sum_1^m rc$ — длительность производственного цикла детали при синхронизации всех операций процесса;

закрепление за поточной линией для постоянного изготовления сварной конструкции одного наименования или для попеременного изготовления технологических сходных конструкций нескольких наименований;

выполнение на каждом рабочем месте только одной, постоянно повторяющейся операции или нескольких сходных операций, чередующихся через определенные промежутки времени;

применение специальных средств непрерывного транспорта для межоперационной и межлинейной передачи изготовляемых объектов;

применение прогрессивной технологии, механизированного и автоматизированного оборудования и технологической оснастки.

Организации поточного производства должен предшествовать детальный анализ всего комплекса технико-организационных факторов, влияющих на его экономические показатели. В частности, следует установить наличие тех основных предпосылок, без которых применение поточных линий может оказаться нерентабельным мероприятием.

Предпосылками поточного производства сварных конструкций являются:

наличие в программном задании сварочного цеха достаточного количества одинаковых или сходных по технологии изготовления сварных конструкций, позволяющих достигнуть полную загрузку наиболее производительного оборудования;

полная техническая отработка сварных конструкций и технологии их изготовления;

классификация сварных конструкций по конструктивно-технологическим признакам и типизация технологических процессов (применительно к цехам с широкой и переменной номенклатурой сварных конструкций);

возможность расчленения процесса производства сварных конструкций на простые операции или же концентрации операций (в целях достижения высокой точности изготовления конструкций) на рабочих местах, оснащенных недорогим и несложным в эксплуатации оборудованием;

широкое применение в проектируемых сварных конструкциях нормализованных, стандартных и конструктивно-преемственных заготовок деталей и узлов;

наличие быстропереналаживаемого оборудования и средств механизации; изготовление их из унифицированных и взаимозаменяемых деталей и узлов.

Разновидности поточного производства сварных конструкций

В сварочных цехах машиностроительных заводов применяются следующие разновидности поточных линий: непрерывно-поточные (линии сборки и сварки автомобильных колес ГАЗ-51, двутавровых балок и др.); прерывно-поточные или прямоточные (линии обработки фланцев крышек корпусов холодильной аппаратуры, сборки и сварки сварных обечаек емкостей и др.); одномоменклатурные или массовопоточные (типа линии по изготовлению скребков транспортера СТР-30), многомоменклатурные или серийно-поточные (линии сборки и сварки обечаек, крышек и корпусов кожухотрубной аппаратуры и др.), с регламентированным и со свободным ритмом; с распределительным и рабочим конвейером. [1]

Основы проектирования и организации поточных линий

Основными этапами проектирования и организации поточных линий являются: расчет такта; разработка нового или корректирование ранее применяв-

[1] Поточные линии с рабочим конвейером широко применяются при производстве сварных конструкций автомобилей. Имеющиеся на автомобильных и других заводах такой разновидности линии характеризуются чаще всего пульсирующим движением конвейера. Организация и расчет параметров этих линий производятся обычными методами. В связи с этим поточные линии с рабочим конвейером в данном случае не рассматриваются.

шегося технологического процесса: расчет количества рабочих мест и численности состава рабочих; планировка линии; разработка методов организации труда.

Расчет такта. Такт является функцией заданной программы, оказывает существенное влияние на разработку технологического процесса, выбор оборудования, оснастки, транспортных средств и т. д.

В общем виде такт определяют по формуле

$$r = \frac{F}{N}, \tag{10}$$

где F — фактический фонд времени за определенный плановый период (смену, сутки, месяц);

N — производственная программа поточной линии на период F.

Величина обратная такту, называется темпом работы поточной линии Q:

$$Q = \frac{N}{F}. \tag{11}$$

Ритм поточной линии

$$R = rp, \tag{12}$$

где p — величина транспортной (передаточной) партии.

Рабочий такт поточной линии с регламентированными перерывами

$$r_p = \frac{s(q_{см} - T_{пер})}{N_{в\,сут}} \frac{(100 - a)}{100}, \tag{13}$$

где s — принятое число рабочих смен в сутки;

$q_{см}$ — продолжительность смен в *мин*;

$T_{пер}$ — суммарное время регламентированных перерывов за смену в *мин* (в обычных цехах $T_{пер} \approx 20$ *мин*, в горячих с тяжелыми условиями работы $T_{пер} \approx 40$ *мин*);

a — величина возможного брака в процентах к суточной программе запуска ($N_{з.\,сут}$ в шт. или m);

$N_{в\,сут}$ — суточная программа выпуска поточной линии в шт. или m:

$$N_{в.\,сут} = N_{з.\,сут} - \frac{N_{з.\,сут}a}{100}. \tag{14}$$

Суточная программа запуска поточной линии

$$N_{з.\,сут} = \frac{100N_{в\,сут}}{100 - a}. \tag{15}$$

Рабочий такт поточной линии без регламентированных перерывов

$$r_p = \frac{sq_{см}}{N_{в\,сут}} \frac{(100 - a)}{100}. \tag{16}$$

Разработка нового или корректирование ранее применявшегося технологического процесса. Разработка и внедрение поточного производства сварных конструкций должны сопровождаться значительным усовершенствованием применяемых технологических процессов, а в ряде случаев переходом к новой прогрессивной технологии.

Из имеющихся вариантов технологии изготовления сварных конструкций следует выбрать наивыгоднейший для условий поточного производства, т. е. такой, который при наименьших затратах на свое осуществление позволял бы достигнуть высокого качества сварных конструкций, наибольшей производительности труда и отвечал бы основным требованиям поточной работы.

Разработка технологического процесса производится с охватом всех стадий производства сварных конструкций. При этом осуществляются следующие мероприятия: *синхронизация технологического процесса, разработка техниче-*

организационных мероприятий по повышению производительности труда, методов технического контроля.

Синхронизация — это достижение равенства или кратности операционных времен установленному такту потока.

Методы синхронизации разнообразны и зависят прежде всего от технологической сущности процессов изготовления сварных конструкций. Наиболее распространенными способами синхронизации являются: расчленение или соединение операций; введение параллельных рабочих мест на операциях, длительность которых кратна такту; интенсификация режимов обработки; замена одного технологического процесса другим; изменение последовательности выполнения переходов в пределах многопереходной операции или же совмещение времени выполнения нескольких переходов; перегруппировка переходов нескольких операций между однотипным оборудованием; рационализация рабочих приемов; совмещение времени машинной и ручной работы; увеличение скорости нагрева путем рационального расположения изделия в печи; применения нагрева токами высокой частоты и т. д.

Одновременно с выбором способов синхронизации операций технологического процесса разрабатывают и технико-организационные мероприятия повышения производительности труда. Наиболее распространенными из них являются: механизация и автоматизация производства, применение прогрессивной технологии, высокопроизводительного оборудования и оснастки, рациональной конструкции заготовок, деталей и узлов, наивыгоднейшей планировки рабочих мест и т. д.

Разработка методов технического контроля в условиях потока производится одновременно и в неразрывной связи с разработкой производственной технологии по общепринятой методике.

Особенности организации технического контроля на потоке обусловлены тем, что контрольные операции включаются в технологическую цепочку поточной линии со строгой регламентацией затрат времени на их выполнение. В связи с этим особое значение приобретают вопросы оснащения контролеров наиболее совершенными средствами контроля, механизация и автоматизация контрольных операций. Организация технического контроля зависит в основном от следующих факторов: трудоемкости контрольных операций, количественного охвата объектов контролем и расположения рабочих мест, обслуживаемых одним контролером.

Если продолжительность контрольной операции равна такту поточной линии и обрабатываемые объекты подвергаются сплошному контролю, то число контролеров равно количеству контрольных операций, включенных в общую технологическую цепочку.

При затратах времени на контрольные операции, не равных такту потока, и выборочном контроле обрабатываемых объектов за каждым контролером закрепляется несколько контрольных операций (при этом $\sum t_{кон} \approx r$), выполняемых на специальном контрольном пункте. Этот пункт целесообразно размещать за одним из последних (по ходу потока) рабочих мест, закрепленных за контролером.

Расчет количества рабочих мест и численного состава рабочих. Необходимое число рабочих мест (единиц оборудования) для каждой данной операции

$$c_{i\,рас} = \frac{t_i}{r}, \qquad (17)$$

где t_i — норма времени на i-ю операцию в *мин*.

При полной синхронизации потока c_i — всегда целое число, загрузка оборудования полная и одинаковая на всех операциях.

При неполной синхронизации на несинхронных операциях $c_{i\,рас}$ не равно целому числу. Округляя $c_{i\,рас}$ до ближайшего большего или меньшего целого числа, определяют фактически принятое количество рабочих мест $c_{i\,факт}$. Округление $c_{i\,рас}$ в большую сторону ведет к неполной загрузке оборудования, нера-

циональному использованию производственных площадей, завышению основных фондов сварочных цехов и увеличению капитальных вложений. Поэтому такое решение вопроса допустимо по отношению к сложным видам оборудования ответственного назначения. Экономически целесообразно округлять $c_{i\,рас}$ до ближайшего меньшего числа, предусмотрев при этом использование рациональной оснастки, улучшение режима работы оборудования и т. д.

Коэффициент загрузки оборудования на каждой операции

$$\eta_i = \frac{c_{i\,рас}}{c_{i\,фак}} \cdot 100\%. \tag{18}$$

Средний коэффициент загрузки оборудования поточной линии

$$\eta_{ср} = \frac{\sum_1^m c_{i\,рас}}{\sum_1^m c_{i\,фак}} \cdot 100\% \tag{19}$$

Коэффициенты η_i и $\eta_{ср}$ являются показателями целесообразности применения поточного производства. Желательно иметь в массово-поточном производстве

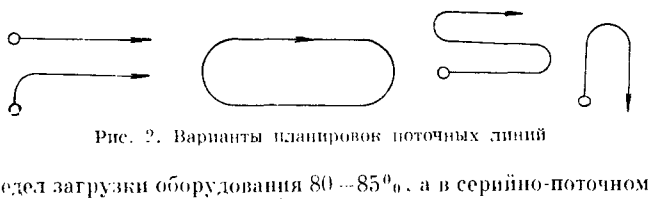


Рис. 2. Варианты планировок поточных линий

нижний предел загрузки оборудования 80—85%, а в серийно-поточном 70—75%. Экономическим критерием целесообразности применения уникального оборудования (при небольшом проценте его загрузки) является себестоимость единицы продукции, изготовленной с помощью этого оборудования.

Число рабочих-операторов на i-й операции

$$K_{pi} = \frac{c_i s}{n_i}, \tag{20}$$

где n_i — норма обслуживания на i-й операции.

Общее число рабочих-операторов на поточной линии

$$k_{р.\,общ} = \left(1 + \frac{b}{100}\right) \sum_1^m \frac{c_i s}{n_i}, \tag{21}$$

где b — дополнительное число рабочих-операторов в % к расчетному числу рабочих на линии;

m — число операций на линии.

Планировка поточных линий производится исходя из учета типа, габаритов и количества оборудования; площади, предназначенной для поточной линии; типа применяемых транспортных средств; компоновки и размещения рабочих мест. Возможные варианты планировки поточных линий показаны на рис. 2.

Предусмотренный вариант планировки поточной линии должен обеспечить наиболее короткий путь транспортировки обрабатываемых объектов, удобство трудовых движений при выполнении операций, наименьшие затраты труда и средств на монтаж и демонтаж оборудования.

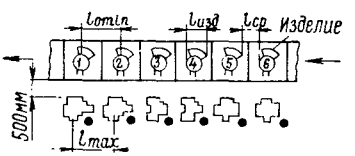
Планировка поточной линии производится в следующей последовательности: 1) разработка схем рабочих мест по всем операциям; 2) выбор рациональных транспортных средств; 3) общая компоновка поточной линии (внешний контур

поточной линии, способ расстановки оборудования, расположение транспортных средств, средств промежуточного и окончательного контроля, мест для заделов).

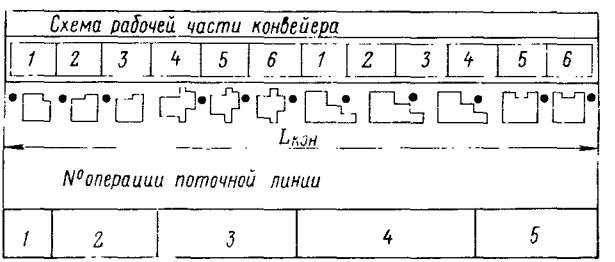
Разработка методов организации труда. Основными вопросами организации труда при поточном производстве сварных конструкций являются: рациональное разделение труда (особенно при выполнении сборочно-сварочных работ); удобное расположение в зоне рабочих мест заготовок (деталей), приспособлений, инструментов и т. д. в целях устранения излишних, непроизводительных движений рабочего; правильная организация заработной платы и премирования; строгое соблюдение трудового режима; овладение рабочими несколькими (или всеми) операциями поточной линии; повышение организационной культуры и т. д.

Особенности организации и расчетные параметры [1] поточных линий с распределительным конвейером

Поточные линии с распределительным конвейером напольного типа применяют при обработке заготовок и деталей, а также при сборке и сварке узлов небольших габаритов и веса. При изготовлении объектов сравнительно больших размеров и веса используют поточные линии с подвесным распределительным конвейером.



а)



б)

Рис. 3. Поточная линия с распределительным конвейером: *а* — схема планировки; *1—6* — номера периода *II*; *б* — разметка конвейера

Основными расчетными параметрами поточных линий с распределительным конвейером (рис. 3) являются:

длина деления или шаг конвейера (l_0). Минимальный шаг конвейера

$$l_{0,\min} = l_{изд} + l_{ср}, \tag{22}$$

где $L_{изд}$ — габаритная длина изготовляемого изделия;

$l_{ср}$ — среднее расстояние между двумя рядом находящимися на конвейере изделиями ($l_{ср} \approx 200 \div 300$ *мм*).

[1] Рассматриваются расчеты тех параметров, которые присущи данным поточным линиям. Расчет такта, количества рабочих мест и т. д. производится по приведенным выше формулам.

Максимальный шаг конвейера $l_{0.\,max}$ принимают равным среднему расстоянию между двумя рядом находящимися у конвейера единицами оборудования.

Оптимальный шаг $l_{0\ opt}$ определяют в пределах между значениями $l_{0.\,min}$ и $l_{0.\,max}$ из расчета обеспечения рациональной скорости конвейера v и возможности размещения на его длине требуемого количества разметочных знаков.

Скорость движения конвейера соответствует ритму потока. Это соответствие достигается, если путь, равный длине деления (шагу) $l_{0\,опт}$, конвейер проходит за ритм R:

$$v = \frac{l_{0\,опт}}{R} = \frac{l_{0\,опт}}{rp}. \tag{23}$$

Чаще всего применяются конвейеры со скоростями 0,5—2 *м/мин*.

Период распределительного конвейера (H) — комплект номеров, предназначаемый для его разметки. При одинаковой производительности всех рабочих на каждой операции H определяют как общее наименьшее кратное от числа рабочих мест на всех операциях поточной линии.

Закрепление номеров периода за рабочими поточной линии и разметка рабочей части конвейера приведены в табл. 1 и на рис. 3, *б*.

1. Закрепление номеров периода за рабочими поточной линии (величина периода H равна 6 номерам)

№ операции поточной линии	Количество рабочих мест	№ рабочих	Число номеров периода, закрепленных за рабочим	Закрепленные номера
1	1	1	6	1, 2, 3, 4, 5, 6,
2	2	1 2	3 3	1, 3, 5 2, 4, 6
3	3	1 2 3	2 2 2	1,4 2,5 3,6
4	3	1 2 3	2 2 2	1,4 2,5 3,6
5	2	1 2	3 3	1, 3, 5 2, 4, 6

Длина рабочей части конвейера $L_{кон}$:

$$L_{кон} = l_0 (\Sigma c_р + \Sigma c_{кон}), \tag{24}$$

или

$$L_{кон} = l_0 H \kappa_{пов}, \tag{25}$$

где $c_р$ и $c_{кон}$ — количество рабочих мест, занятых выполнением соответственно технологических и контрольных операций;

$\kappa_{пов}$ — целое число повторений периода H на рабочей части конвейера.

Длительность производственного цикла единицы изделия

$$T_ц = r (\Sigma c_р + \Sigma c_{кон}). \tag{26}$$

Величина страхового задела на каждом рабочем месте $Z_{стр}$ принимается обычно равной 1—3 заготовкам (деталям), уже обработанным на данном рабочем месте.

Структура ритма:

$$R_{стр} = t_{уст} + t_{обр} + t_{сн} + t_{тр}\ мин, \tag{27}$$

где $t_{уст}$, $t_{обр}$, $t_{сн}$, $t_{тр}$ — соответственно время на установку, обработку, снятие и транспортировку объекта.

Особенности организации и расчетные параметры стационарных непрерывно-поточных линий

Стационарные непрерывно-поточные линии (рис. 4) применяются при производстве крупногабаритных сварных конструкций большого веса, изготовление которых связано с выполнением сложных сборочно-сварочных операций, а транспортировка технически затруднена и экономически нецелесообразна. В данном случае сварные конструкции в течение всего процесса их изготовления остаются на одних и тех же стендах (манипуляторах и других устройствах), число которых равно числу операций или бригад. Рабочие бригады переходят

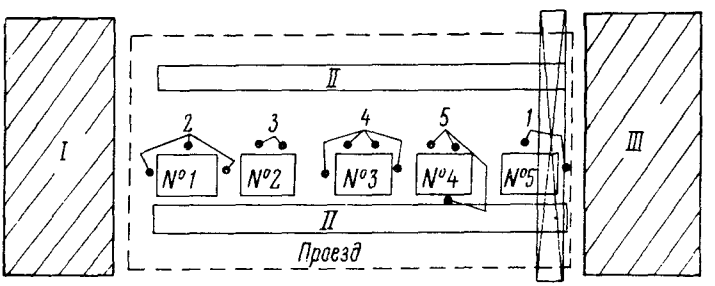


Рис. 4. Схема стационарной непрерывно-поточной линии. *I* — склад конструктивных элементов, входящих в сварную конструкцию; *II* — место для хранения деталей и узлов; *III* — склад готовых сварных конструкций; *1—5* — номера бригад; № *1* — № *5* — стенды

от одного стенда к другому через один такт. Закончив первую операцию на первом стенде, бригада переходит для выполнения этой же операции на втором стенде, а к первому стенду подходит вторая бригада, выполняющая вторую операцию, и т. д.

Основными расчетными параметрами этих поточных линий являются:

такт поточной линии[1]

$$\frac{t_1}{\kappa_{p_1}} \approx \frac{t_2}{\kappa_{p_2}} \approx \ldots \approx \frac{t_i}{\kappa_{p_i}} \approx r, \tag{28}$$

где t_1, t_2, ..., t_i — длительность операций в *мин*;

κ_{p_1}, κ_{p_2}, ..., κ_{p_i} — количество рабочих в бригадах.

Длительность производственного цикла единицы изделия

$$T_ц = \sum_{1}^{m} t_i \approx \sum_{1}^{m} r_i c_i, \tag{29}$$

[1] Отношение $t\ \kappa_p$ должно быть равно одному такту. В противном случае работа линии усложняется из-за 2—3 бригад, работающих на одном стенде.

где m — количество операций, выполняемых на одном стенде (или количество операций поточной линии);

t_i — продолжительность i-й операции в *мин*;

c_i — количество стендов на i-й операции (для удобства работы на линии и упрощения организации труда бригад c_i должно быть равно 1).

Количество одновременно изготовляемых объектов на линии

$$N_o = m \quad \text{или} \quad N_o = \sum_{1}^{m} c_i, \tag{30}$$

где m — количество операций поточной линии.

Структура ритма

$$R_{стр} = t_{обр} + t_{пер}, \tag{31}$$

где $t_{обр}$, $t_{пер}$ — соответственно время на обработку (сборку, сварку и т. д.) и переход бригады от одного стенда к другому.

Особенности организации и расчетные параметры[1] прямоточных (прерывно-поточных) линий

Эти линии чаще всего применяют при замкнутом цикле производства сварных конструкций, т. е. когда в единый поток включено выполнение заготовительных, обрабатывающих, сборочно-сварочных и отделочных операций.

Разнохарактерность технологических операций и разнотипность оборудования, предназначаемого для их выполнения, затрудняют перераспределение работ между рабочими местами в целях достижения полной синхронизации операций. Поэтому длительность нескольких операций остается неравной расчетной величине такта r, имеет место недогрузка оборудования, а между несинхронными операциями возникают межоперационные оборотные заделы $Z_{об}$.

Прямоточные линии экономически оправдывают себя, если:

1) достигнута синхронизация большей части операций; длительность сборочно-сварочных и отделочных операций при изготовлении крупногабаритных объектов должна быть равна r, что позволяет резко сократить площади под межоперационными оборотными заделами;

2) возможна комбинированная загрузка рабочих, работавших на недогруженном оборудовании, путем закрепления за ними выполнения 2—3 операций (табл. 2 -2-й рабочий 2 й операции выполняет 2 и 4-ю операции);

причем

$$\left.\begin{aligned} &t_1 + t_2 + \dots + t_i = r, \\ \text{или} \quad &t_1 + t_2 + \dots + t_i = ar, \end{aligned}\right\} \tag{32}$$

где a — целое число тактов;

3) представляется возможным установить наиболее приемлемый (целесообразный) для данных условий производства период обслуживания (комплектования) R_i операторами совместителями закрепленных за ними рабочих мест с выполнением на каждом из них определенного задания. В рассматриваемом ниже примере R_k принят равным 2 *ч*, а двухчасовое задание - 24 деталям (рис. 5);

4) имеются возможности создать требуемую величину межоперационных оборотных заделов, необходимых для обеспечения ритмичной работы линии

[1] Речь идет о расчете тех параметров, которые специфичны для данной линии. Прочие параметры определяются по приведенным выше формулам.

(рис. 6). Межоперационные оборотные заделы не должны приводить к значительному увеличению длительности производственного цикла, незавершенного производства и производственных площадей.

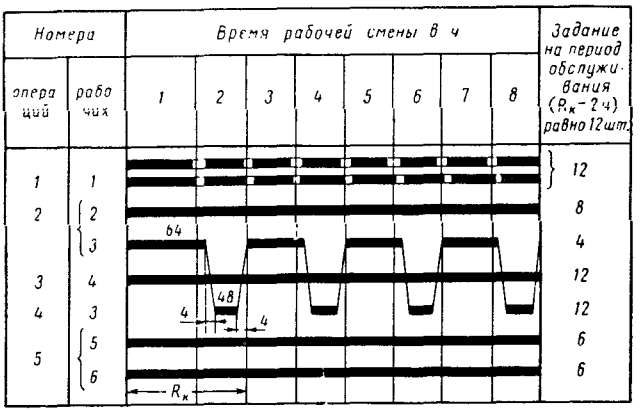


Рис. 5. Занятость рабочих и рабочих мест в течение рабочей смены. Имеет место некоторая перегрузка рабочих, для устранения которой предусматривается внедрение соответствующего мероприятия

Выполнение перечисленных выше условий рациональной организации прямоточных линий связано с осуществлением расчетов, составлением таблиц и по-

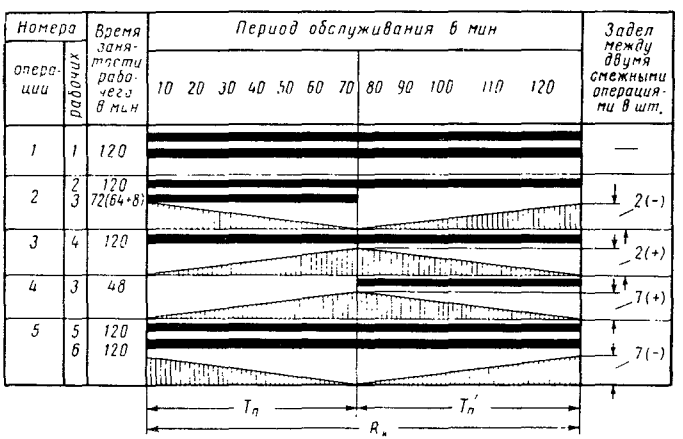


Рис. 6. Динамика межоперационных оборотных заделов (за период обслуживания)

строением графиков. В качестве примера выполнения этих расчетов, составления таблиц и построения графиков рассматривается поточная линия, на которой выполняются пять операций и такт которой равен 10 *мин* (табл. 2 и рис. 5, 6).

2. Расчет количества рабочих и их загрузки

№ операции	Норма времени в *мин*	Количество рабочих мест		Загрузка оборудования в %	Норма обслуживания	Количество рабочих в смену		Загрузка рабочих в %	Характер загрузки рабочих
		расчетное	принятое			расчетное	принятое		
1	20	2	2	100	2	1	1	100	Многостаночное обслуживание
2	16	1,6	2	80	1	1,6	2	100	2-й рабочий выполняет 4-ю операцию
3	10,4	1,04	1	104	1	1,04	1	104	—
4	4	0,4	1	40	1	0,4	—	-	Выполняет 2-й рабочий со 2-й операции
5	19,4	1,94	2	97	1	1,94	2	97	—
Итого		6,98	8	87		5,96	6	99	—

Основными расчетными параметрами, характерными для данных поточных линий, являются:

период обслуживания (комплектования) $R_к$, устанавливаемый с учетом трудоемкости операций, габаритов изготовляемых изделий и загрузки операторов-совместителей. Для крупногабаритных сварных конструкций $R_к$ может быть принят равным 1 *ч*, для конструкций средних и небольших габаритов соответственно 2; 4; 8 *ч*.

Время работы недогруженных рабочих мест в течение принятого периода обслуживания

$$t_{н.р.м} = R_к k_{исп}, \tag{33}$$

где $k_{и.п}$ — коэффициент использования недогруженного рабочего места, равный дробной части расчетного числа рабочих мест c_{pi}.

Выражается этот коэффициент в процентах. Так, если $c_{pi} = 1{,}45$, тогда коэффициент использования недогруженного рабочего места i-й операции $k_{исп.i}$ составит 45%.

Межоперационные оборотные заделы $Z_{об}$ возникают из-за разной производительности смежных рабочих мест, занятых выполнением несинхронных операций, или в результате сдвига во времени выполнения смежных синхронных операций. Заделы создаются перед наиболее производительными операциями. Наибольшая величина оборотного задела

$$Z_{об\,max} = \frac{T_п c_1}{t_{шт_1}} - \frac{T_п c_2}{t_{шт_2}}, \tag{34}$$

где $T_п$ — период времени одновременного выполнения двух смежных операций (1-й и 2-й), в течение которого производительность на каждой из них постоянна;

c_1, c_2 — количество рабочих мест на 1-й и 2-й операциях в течение $T_п$;

$t_{шт_1}$, $t_{шт_2}$ — нормы времени на выполнение 1-й и 2-й операций.

Оборотный задел изменяется от нуля до некоторого максимума и от максимума до нуля, если при расчете по формуле (34) $Z_{об\,max}$ получается положительной величиной. Если же при расчете по той же формуле $Z_{об\,max}$ — отрицательная величина, тогда оборотный задел изменяется от максимума до нуля и от нуля до максимума.

Схема планировки прямоточных линий должна предусматривать территориальное сближение рабочих мест, обслуживаемых операторами-совместителями. Наиболее приемлемыми транспортными средствами для прямоточных линий являются рольганги, наклонные плоскости, тельферы, электрокары и т. п.

Особенности организации и расчетные параметры многономенклатурных (серийно-поточных) линий

Многономенклатурные поточные линии применяют в сварочных цехах, изготовляющих сварные конструкции в широком и разнообразном ассортименте в сравнительно небольшом количестве каждой из них. Полная загрузка поточных линий достигается закреплением за ними нескольких наименований технологически сходных сварных конструкций и выполнения на каждом рабочем месте нескольких операций.

Переход от изготовления одного объекта к другому может осуществляться без переналадки оборудования и с переналадкой части или всех рабочих мест линии и изменением режима ее работы.

В первом случае за линией закрепляют сварные конструкции нескольких типоразмеров, сходные по технологическим режимам. Линия оснащается бесподналадочными приспособлениями и устройствами (кантователями, манипуляторами и т. п.), позволяющими закреплять и устанавливать конструкции разных габаритов в требуемые по технологии положения. Сварные конструкции могут изготовляться с последовательно-партионным чередованием их запуска на линию — непереналаживаемые переменно-поточные линии — или же одновременно изготовляются разнотипные конструкции — непереналаживаемые групповые линии (групповой поток).

Если закрепленные за линиями объекты разных габаритов имеют одинаковые затраты времени на операции процесса их обработки (поточная линия сварных обечаек разных диаметров и одинаковой длины или сварных корпусов из обечаек одинакового диаметра и разной длины и т. д.), тогда рабочий такт

$$r_p = \frac{F_{фак}}{\sum_{A}^{K} N_i}, \tag{35}$$

где $F_{фак}$ — фактический фонд времени работы линии в планируемом периоде;

N_i программное задание по i-му объекту на планируемый период;

$A, \ldots, K$ — номенклатура закрепленных за линией объектов (от A до K).

Если закрепленные за линиями однотипные объекты с одинаковым технологическим маршрутом имеют существенные различия в затратах времени на операции процесса их обработки, тогда работу таких линий целесообразно организовать с переменными или частными тактами (r_A, r_B, ..., r_K — частные расчетные такты изделия A, B, ..., K).

Во втором случае за линией закрепляют разнотипные с одинаковым технологическим маршрутом объекты, отличающиеся по режимам обработки. Такая линия должна оснащаться быстро переналаживаемой оснасткой. Объекты изготовляют с последовательно-партионным чередованием их запуска. В каждый данный момент на линии изготовляют объект одного наименования, после обработки которого производят переналадку линии и начинают изготовление объекта другого наименования. Такие линии называются *переналаживаемыми переменно-поточными*. Переналадка линий на рабочий (частный) такт объектов A, B и т. д. производится на основе разработанного стандарт-плана ее работы.

В общем виде рабочий такт объекта A

$$r_A = \frac{F_{ф.A}}{N_A}, \tag{36}$$

где $F_{ф.A}$ - фактическое время загрузки линии изготовлением объекта A на планируемый период;

N_A — программное задание по объекту A на планируемый период.

$$F_{ф.A} = F\left(1 - \frac{\eta}{100}\right)\frac{N_A \Sigma t_A}{N_A \Sigma t_A + N_B \Sigma t_B + \ldots + N_K \Sigma t_K}, \tag{37}$$

где F — планируемый период изготовления всех закрепленных за линией объектов;

η — потери времени на переналадку линий в % (3—8%) от F;

N_A, N_B, ..., N_K — программные задания по объектам A, B, ..., K на период F;

Σt_A, Σt_B, ..., Σt_K — суммарное время по всем операциям процесса изготовления одного объекта каждого наименования.

Исходя из величины F_A и N_A, рассчитывают суточное программное задание. Рабочий такт после этого определяют по формулам (13) и (16).

При удовлетворительной синхронизации операций рабочий такт устанавливают из условия

$$r_A \approx \frac{t_{A_1}}{c_1} \approx \frac{t_{A_2}}{c_2} \approx \ldots \approx \frac{t_{A_m}}{c_m}, \tag{38}$$

где t_{A_1}, t_{A_2}, ..., t_{A_m} — нормы времени на выполнение 1, 2, ..., m-операции;

c_1, c_2, ..., c_m — принятое количество рабочих мест на соответствующих операциях, исходя из предварительного расчета общего количества рабочих мест на линии

$$c_{об} = \frac{\sum_{A}^{K} N_i Q_{обi}}{F_{ф}}, \tag{39}$$

где N_i — программное задание по i-му объекту;

$Q_{об\,i}$ — общая трудоемкость изготовления i-го объекта на линии;

$A \ldots K$ — количество закрепляемых за линией объектов примерно с одинаковой трудоемкостью их изготовления на одном и том же количестве рабочих мест.

В качестве расчетного такта принимают меньшее из значений $\frac{t}{c}$, причем c должно быть целым числом

$$r_A = r_{усл} k_A, \tag{40}$$

где $r_{усл}$ — такт наиболее типового объекта из всех закрепленных за линией, принятого за базовый (условный) представитель;

k_A — коэффициент приведения трудоемкости объекта A к трудоемкости базового представителя.

Если при расчете тактов объектов от A до K за базовый представитель принят объект B, тогда коэффициенты приведения трудоемкости этих объектов (k_A k_B, ..., k_K) к трудоемкости базового представителя равны

$$k_A = \frac{Q_A}{Q_B}; \quad k_B = \frac{Q_B}{Q_B}; \quad \ldots; \quad k_K = \frac{Q_K}{Q_B}, \tag{41}$$

где Q_A, Q_B, ..., Q_K — соответственно трудоемкость изготовления объектов A, B, ... K;

Q_B — трудоемкость изготовления базового объекта.

Условный расчетный такт работы линии по базовому представителю B

$$r_{усл.\ рас.\ B} = \frac{F_{ф}}{\sum_{A}^{K} N_{прив.\ B}} = \frac{F_{ф}}{N_B k_A + N_B k_B + N_B + \ldots + N_B k_K}, \quad (42)$$

где $F_{ф}$ — фактический фонд времени работы линии в планируемом периоде;

$\sum_{A}^{K} N_{прив\ B}$ — программное задание на планируемый период объектов от A до K, приведенное к базовому представителю;

k_A, k_B, k_K — коэффициенты приведения трудоемкости закрепленных за линией объектов к трудоемкости базового представителя.

Коэффициент приведения для базового представителя k_B равен 1.

Коэффициент допустимых потерь времени на переналадку рабочего места при смене очередной партии изготовляемых объектов

$$\eta = \frac{П_{ср}}{П_{ср} + nr}, \quad (43)$$

где $П_{ср}$ — средние потери рабочего времени на каждом рабочем месте при переналадке.

Отсюда расчетное значение размера партии для всех разновидностей объектов линии может быть определено по формуле

$$n = \frac{(1 - \eta)\, П_{ср}}{\eta r} \text{ шт}. \quad (44)$$

При подборе и закреплении объектов за многономенклатурной линией должны быть соблюдены следующие условия:

$$\frac{t_{i1}}{c_{i1}} \simeq \frac{t_{i2}}{c_{i2}} \simeq \frac{t_{i3}}{c_{i3}} \simeq \ldots \simeq \frac{t_{i\,m}}{c_{i\,m}};$$

$$\sum_{A}^{K} N_i t_{i\,m} = c_m P,$$

где $\sum_{A}^{K} N_i t_{i\,m}$ — суммарная загрузка оборудования на операции m при изготовлении всех закрепленных за линией объектов;

P — пропускная способность единицы оборудования за фактическое время работы его в планируемом периоде;

c_m — количество единиц оборудования на операции m.

Разновидности автоматических линий

При производстве сварных конструкций находят применение следующие автоматические линии:

1) для выполнения определенной части (отдельной стадии) процесса изготовления сварных конструкций. Каждая из этих линий оснащается соответственно заготовительным, обрабатывающим или сборочно-сварочным оборудованием;

2) для осуществления всех стадий процесса изготовления сварных конструкций. Линия оснащается разнотипным по назначению оборудованием и имеет полностью замкнутый цикл производства;

3) со сквозной транспортировкой обрабатываемого объекта, осуществляемой с помощью специальных транспортных устройств (направляющих полозов), связывающих все оборудование линии в единую жесткую систему (рис. 7). Закреп-

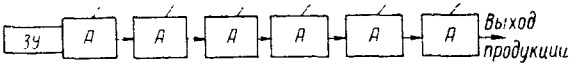


Рис. 7. Схема поточной линии со сквозной транспортировкой обрабатываемого объекта: ЗУ — загрузочные устройства, А — жестко связанное автоматическое устройство

ление, обработка, раскрепление и перемещение объекта из одной позиции в другую производятся последовательно, что является причиной возникновения на этих линиях холостых ходов оборудования. Структура ритма поточных линий со сквозной транспортировкой:

$$R_{скв} = t_{пр} + r_{техн}, \qquad (45)$$

где $t_{пр}$ — время транспортировки обрабатываемого объекта с одного рабочего места к другому;

$r_{техн}$ — технологическое время ритма, равное сумме машинных и вспомогательных времен,

т. е.
$$r_{техн} = \Sigma t_{маш} + \Sigma t_{всп}. \qquad (46)$$

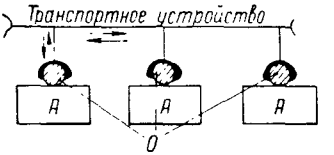


Рис. 8. Участок линии с подвесным транспортным устройством: А — автоматически действующее оборудование; О — обрабатываемые объекты

Такого вида линии применяют для изготовления сварных конструкций и их элементов, имеющих плоские поверхности и отличающихся большими затратами машинного времени на изготовление;

4) с подвесными транспортными устройствами, перемещающими обрабатываемый объект в вертикальном и горизонтальном направлениях (рис. 8).

Структура ритма этих линий

$$R_{п.т} = r_{техн} + \Sigma t_{пр}, \qquad (47)$$

где $\Sigma t_{пр}$ — суммарное время на транспортировку объекта;

5) представляющие собой гибко связанные отдельные звенья (совокупность автоматизированных единиц оборудования, работающих независимо одно от

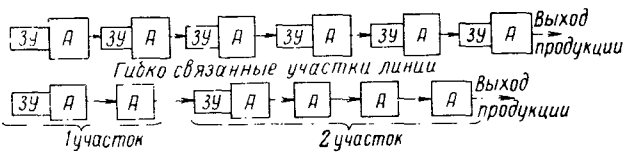


Рис. 9. Гибко связанные отдельные звенья и участки линии

другого) или гибко связанные участки, каждый из которых образует жесткую систему и работает также независимо один от другого (рис. 9).

Структура ритма этой линии: $R_{г.с} = r_{техн}$.

АПЛ с промежуточными накопителями создаются для изготовления сварных конструкций небольших габаритов и чаще всего цилиндрической формы. К числу таких линий относится, например, АПЛ по производству сварного воздушного тормозного баллона автомобиля ЗИЛ-130.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ПРОИЗВОДСТВЕ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Экономические расчеты должны включать определение производственно-технологических показателей, характеризующих сварную конструкцию как объект производства, и эксплуатационных, характеризующих ее как объект эксплуатации.

Производственно-технологические показатели

Материалоемкость конструкции. Вес материала на проектируемую сварную конструкцию (или узел) в общем виде определяется по формуле

$$G_{чер} = \sum_{1}^{m} G_{ст} n_{ст} + \sum_{1}^{m} G_{сп} n_{сп} + \ldots + \sum_{1}^{m} G_{н} n_{св}, \tag{48}$$

где $G_{ст}$, $G_{сп}$ — черный вес детали определенного наименования (типоразмера) из стали и сплава определенной марки;

$G_{н}$ — вес наплавляемого металла определенного вида и марки;

$n_{ст}$, $n_{сп}$ — количество деталей данного наименования и веса из определенной марки стали, сплава и т. д.;

$n_{св}$ — количество свариваемых деталей (узлов) данного наименования (типоразмера);

m — количество наименований (типоразмеров) деталей (узлов), изготовляемых из определенных марок сталей, сплава и т. д.

При ориентировочных расчетах черный вес детали (узла) можно определить, исходя из чистого веса имеющихся аналогичных деталей (узлов) в ранее освоенных конструкциях и коэффициента использования металла $K_{исп}$, представляющего собой отношение чистого веса $G_{ч}$ к черному весу $G_{чер}$ детали (узла);

$$G_{чер} = G_{ч} : K_{исп}. \tag{49}$$

Стоимость материала на проектируемую конструкцию $C_{м}$ определяется по формуле

$$C_{м} = \sum_{1}^{m} G_{ст} n_{ст} Ц_{ст} - C_{о.ст} Ц_{о.ст} + \sum_{1}^{m} G_{сп} n_{сп} Ц_{сп} - G_{о.сп} Ц_{о.сп} + \ldots + \\ + \sum_{1}^{m} G_{н} n_{св} Ц_{нап}, \tag{50}$$

где $Ц_{ст}$, $Ц_{сп}$, $Ц_{нап}$ — цена за единицу веса ($т$, $кг$) определенной марки стали, сплава и наплавляемого металла с учетом затрат на их приобретение;

$C_{о.ст}$, $C_{о.сп}$ — реализуемые отходы в $т$ ($кг$);

$Ц_{о.ст}$, $Ц_{о.сп}$ — цена за единицу реализуемых отходов в руб.

Следует отметить, что абсолютный вес сварной конструкции сам по себе не говорит о ее конструктивном совершенстве, экономном и целесообразном использовании материалов.

В связи с этим необходимо определять:

удельную (конструктивную) материалоемкость

$$M_{уд} = \frac{G}{P}, \tag{51}$$

где G — рабочий вес машины в $т$;

P — наиболее характерный показатель работоспособности машины (мощность, производительность и т. д.);

технологическую материалоемкость

$$M_m = \frac{G_{чер}}{p} + G_{0.n}, \tag{52}$$

где $G_{0.n}$ — отходы и потери материалов в m (*кг*);
коэффициент использования металла

$$K_{исп} = \frac{G_ч}{G_{чер}}. \tag{53}$$

Трудоемкость конструкции. Общая трудоемкость — сумма затрат времени на проектирование конструкции, изготовление входящих в нее деталей и узлов, на общую сборку и выполняемые при этом процессы сварки, отделку и т. д. (в нормочасах на конструкцию).

Трудоемкость по видам работ — затраты времени на конструкторскую и технологическую подготовку производства, заготовительные работы, механическую обработку, кузнечные, штамповочные работы, процессы сборки, сварку и т. д. (в нормочасах).

Удельная трудоемкость — частное от деления общей трудоемкости конструкции на ее вес. Удельная трудоемкость исчисляется в нормочасах на единицу веса конструкции (m, *кг*) и характеризует трудоемкость единицы веса конструкции

$$Q_{уд} = \frac{Q_{об}}{G_к}, \tag{54}$$

где $Q_{об}$ — общая трудоемкость проектируемой конструкции в нормочасах;
$G_к$ — вес проектируемой конструкции в m (*кг*).

На стадии проектирования конструкции суммарную трудоемкость возможно определить лишь ориентировочно. Более точно ее находят после полной разработки технологических процессов изготовления конструкции.

Имеются следующие *способы определения трудоемкости проектируемых сварных конструкций:*

1) по формуле

$$Q_{об} = G_к Q_{ср}, \tag{55}$$

где $Q_{ср}$ — средняя трудоемкость единицы веса существующих конструкций того же типа;

2) по данным трудоемкости существующих конструкций того же типа и назначения с внесением в них соответствующих коррективов в связи с техническими различиями проектируемой и существующих конструкций;

3) исходя из средней трудоемкости и количества однотипных деталей в существующих и проектируемой конструкциях,

$$Q_{об} = \sum_{i}^{m} Q_{ср\,i} K_n n_i, \tag{56}$$

где $Q_{ср\,i}$ — средняя трудоемкость i-й детали существующей конструкции;
K_n — коэффициент, учитывающий изменение трудоемкости детали проектируемой конструкции, аналогичной i-й детали существующей конструкции;
n_i — количество i-х деталей;
m — количество наименований аналогичных деталей в сравниваемых конструкциях;

4) исходя из установленных зависимостей между трудоемкостью конструкции, весом и количеством входящих в нее деталей (узлов). Для проектируемых сварных конструкций такие зависимости устанавливаются по аналогии с зависимостями, характерными для существующих конструкций того же типа.

Коэффициент унификации. В общем виде коэффициент унификации определяется по формуле

$$\beta_{ун} = \frac{N_н + N_{ст} + N_{к.п}}{N_0}, \qquad (57)$$

где N_0 — общее количество деталей в конструкции (основная часть деталей, характерных для данного типа сварных конструкций);

$N_н$, $N_{ст}$, $N_{к.п}$ — соответственно количество нормализованных, стандартных и конструктивно-преемственных деталей в проектируемой конструкции.

Более точно коэффициент унификации определяют по формуле

$$\beta_{ун} = \frac{\sum_1^m N_н Q_н + \sum_1^m N_{ст} Q_{ст} + \sum_1^m N_{к.п} Q_{к.п}}{\sum_1^m N_{об} Q_{ср}}, \qquad (58)$$

где $Q_н$, $Q_{ст}$, $Q_{к.п}$ — соответственно количество нормочасов (в среднем) на изготовление единицы нормализованных, стандартных и конструктивно-преемственных деталей определенного наименования;

$Q_{ср}$ — количество нормочасов (в среднем) на изготовление определенного наименования детали проектируемой конструкции;

$N_н$, $N_{ст}$, $N_{к.п}$ — соответственно количество нормализованных, стандартных и конструктивно-преемственных деталей данного наименования;

m — количество наименований (типоразмеров) деталей;

$N_{об}$ — общее количество деталей в конструкции определенного наименования (типоразмера);

При использовании этой формулы учитывают трудоемкость деталей, являющуюся одним из важнейших показателей экономичности конструкции в процессе ее изготовления.

Себестоимость сварных конструкций. В зависимости от требуемой точности расчета и имеющихся исходных данных себестоимость сварной конструкции $C_{кон}$ может быть определена следующими методами.

По стоимости существующей аналогичной конструкции $C_с$ с внесением соответствующих корректив в связи с конструктивно технологическими усложнениями (или упрощениями) проектируемой конструкции, учитываемыми коэффициентом усложнения $\alpha_{усл}$ (или упрощения — $\alpha_{упр}$)

$$C_{кон} = C_с \alpha_{усл\ упр}. \qquad (59)$$

По средней стоимости деталей существующей аналогичной конструкции ($C_{Ас}$, $C_{Бс}$, ... $C_{Кс}$) и количества деталей того же типа и назначения в проектируемой конструкции ($N_{Ан}$, $N_{Бн}$, ..., $N_{Кн}$)

$$C_{кон} = C_{Ас} N_{Ан} + C_{Бс} N_{Бн} + \ldots + C_{Кс} N_{Кн}. \qquad (60)$$

Исходя из ориентировочного веса проектируемой конструкции ($G_{п.к}$) и стоимости 1 $т$ ($кг$) веса готовой конструкции $C_с$ аналогичного назначения

$$C_{кон} = G_{п.к} C_с \qquad (61)$$

Суммированием затрат по статьям калькуляции, т. е. по формуле

$$C_{кон} = C_м + З_{осн}\left(1 + \frac{a}{100} + \frac{b}{100} + \frac{d}{100}\right) + \frac{C_{пр}}{N_в}, \qquad (62)$$

где $C_м$ — стоимость материалов, входящих в сварную конструкцию;
$З_{осн}$ — основная зарплата производственных рабочих с доплатами к тарифу;
a, b, d — соответственно процент косвенных цеховых, общезаводских и внепроизводственных расходов от $З_{осн}$;
$C_{пр}$ — затраты на проектирование и освоение конструкции;
$N_в$ — масштаб выпуска.

Основная заработная плата производственных рабочих с доплатами к тарифу

$$З_{осн} = \sum_{1}^{m} Q_д q_{тар} \gamma_{ср} \gamma_{доп}, \qquad (63)$$

где $Q_д$ — трудоемкость детали определенного наименования;
m — количество наименований деталей;
$q_{тар}$ — часовая тарифная ставка первого разряда;
$\gamma_{доп}$ — коэффициент, учитывающий доплаты к тарифу;
$\gamma_{ср}$ — средний тарифный коэффициент.

Показатели, характеризующие экономичность проектируемых сварных конструкций в эксплуатации

Экономичность сварных конструкций в эксплуатации определяется в основном эксплуатационными показателями тех машин, ведущими составными частями которых они являются, причем речь идет не только о тех показателях, которые улучшаются в результате применения в машинах сварных конструктивных элементов, а о комплексе показателей, характеризующих машину в целом как объект эксплуатации.

Важнейшими эксплуатационными показателями проектируемых конструкций машин являются следующие.

Производительность. Перечень машин, состоящих из сварных конструктивных элементов, весьма разнообразен. Разнообразно и назначение этих машин. Поэтому производительность в данном случае определяется каждый раз по формулам, специфичным для того или иного типа машин.

Степень механизации и автоматизации операции технологического процесса, достигаемая при применении проектируемой конструкции машины. Этот показатель характеризуется коэффициентом механизации и автоматизации $K_{м.а}$, который в общем виде определяется как отношение механизированного труда к ручному. При этом учитывается количество рабочих, занятых выполнением машинных и ручных работ.

При сравнительной оценке конструкций по рассматриваемому показателю необходимо сопоставить количество затраченного труда на единицу продукции (работы, операцию), количество ручных приемов в машинных операциях, затраты рабочего времени на наблюдение за машиной, число рабочих, занятых на машине; удельный вес машинных и ручных работ в норме времени на операцию (на единицу продукции).

Затраты, связанные с работой проектируемой конструкции. Сюда относятся затраты на двигательную энергию, пар, сжатый воздух и т. д., расходуемые в процессе эксплуатации проектируемой машины; на текущий ремонт ее [1],

[1] При эксплуатации машин со сварными конструктивными элементами достигается значительное снижение затрат по этим статьям.

на быстроизнашиваемые приспособления и инструменты; заработную плату рабочим, обслуживающим машину, а также амортизационные отчисления и другие затраты.

Из сравниваемых конструкций машин предпочтение следует отдать той, при эксплуатации которой совокупность всех перечисленных выше затрат, отнесенных к 1 ч ее работы (себестоимость машино-часа работы машины) и к единице получаемой с помощью машины продукции, будет наименьшей.

Затраты на транспортировку, монтаж и оснащение. Общая сумма затрат на приобретение машины складывается из оптовой цены на нее, затрат на транспортировку, монтаж и оснащение.

Затраты на транспортировку и монтаж [1] зависят от веса машины, ее габаритов, количества крупногабаритных большого веса деталей и узлов, условий эксплуатации; требований, предъявляемых к фундаментам и качеству монтажных работ и т. д. Общая сумма всех этих затрат составляет ориентировочно 10—18% от цены машины.

Затраты на оснащение зависят от характера рабочего процесса, конструктивной сложности машин, методов регулирования технологических режимов и управления машиной. Чем меньше затраты на оснащение машины, тем экономичнее она в эксплуатации.

Себестоимость продукции, изготовленной с помощью спроектированной конструкции машины. Себестоимость продукции является обобщающим показателем экономичности конструкции в эксплуатации. В этом показателе находит отражение степень прогрессивности принятых технических и организационно-экономических решений при проектировании и производстве создаваемой конструкции.

Кроме перечисленных выше показателей, экономичность конструкций в эксплуатации характеризуется также долговечностью, безотказностью в работе, ремонтопригодностью входящих в них деталей и узлов, удобством обслуживания, оздоровлением и облегчением труда рабочих и т. д.

Определение того, насколько экономически эффективна спроектированная конструкция, производится на основе сравнительного анализа производственно-технологических и эксплуатационных показателей ее и наиболее совершенных конструкций машин аналогичного назначения. Обычно рассчитывают и анализируют те показатели, которые отличаются в сравниваемых конструкциях машин. В итоге расчет сводится к определению экономии или перерасхода средств по каждому из этих показателей (статье затрат) и в целом по всем отличающимся в сравниваемых конструкциях показателям (статьям затрат):

$$\Delta Э = \sum_{1}^{n} \Delta Э_i; \tag{64}$$

$$\Delta П = \sum_{1}^{n} \Delta П_i, \tag{65}$$

где $\Delta Э$, $\Delta П$ — суммарная величина сэкономленных или перерасходованных средств;

$\Delta Э_i$, $\Delta П_i$ — экономия или перерасход средств по отдельной статье затрат (отдельному отличающемуся показателю);

n — количество отличающихся элементов затрат у сравниваемых конструкций.

Если спроектированная конструкция требует по сравнению с существующей меньших затрат на ее производство и приобретение и позволяет изготовлять продукцию с более низкой себестоимостью, такая конструкция экономична как при ее изготовлении, так и при эксплуатации.

[1] При эксплуатации машин со сварными конструктивными элементами достигается значительное снижение затрат по этим статьям.

Если спроектированная конструкция по сравнению с существующей требует больших капитальных вложений и не позволяет снизить себестоимость изготовленной с ее помощью продукции, такая конструкция является экономически не эффективной. Изготовление и внедрение ее в производство может быть продиктовано необходимостью улучшения условий труда рабочих, получением высоких качественных параметров изготовляемой продукции, отсутствием других машин для тех же целей и т. д.

Если спроектированная конструкция по сравнению с существующей требует больших капитальных вложений, но позволяет изготовлять продукцию с меньшими затратами, то критерием экономической эффективности такой конструкции является срок окупаемости (табл. 3) дополнительных капитальных вложений, рассчитываемый по формуле

$$T_{ок} = \frac{K_2 - K_1}{C_1 - C_2} \text{ лет}, \tag{66}$$

где K_1 и K_2 — капитальные вложения в сравниваемые конструкции машин;
C_1, C_2 — себестоимость годового выпуска продукции, изготовленной сравниваемыми конструкциями машин в руб.

3. Сроки окупаемости капитальных вложений в сварочную технику, предназначенную взамен других видов действующей техники

Отрасль промышленности	$T_{ок}$ в годах	$E_н$
Металлургическая (черная и цветная)	7	0,14
Энергетика	7–10	0,14—0,1
Угольная	5	0,2
Нефтяная и газовая	5	0,2
Химическая	3–5	0,33–0,2
Машиностроение	3–5	0,33–0,2
Легкая	3–5	0,33–0,2
Строительных материалов	6	0,17

Преимущество должно быть отдано той (из двух сравниваемых) конструкций, дополнительные капитальные вложения в которую окупаются за наиболее короткий срок. Нормативные сроки окупаемости должны быть не более 3—7 лет, что соответствует коэффициентам эффективности 0,15—0,3 [9].

Величина, обратная сроку окупаемости, называется коэффициентом сравнительной эффективности

$$E = \frac{C_1 - C_2}{K_2 - K_1} = \frac{1}{T_{ок}} \left(\frac{1}{\text{год}}\right). \tag{67}$$

Экономическая эффективность нескольких вариантов конструкций машин аналогичного назначения выявляется по приведенным затратам на единицу продукции

$$C_{пр} = C + E_н K_{уд}, \tag{68}$$

где $C_{пр}$ — величина приведенных затрат на единицу продукции, учитывающая и размер капитальных вложений;
C — себестоимость единицы продукции по каждому варианту конструкций машин;
$K_{уд}$ — удельные капитальные вложения по каждой конструкции машины;
$E_н$ — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений.

Наиболее экономичным вариантом конструкции будет тот, который характеризуется наименьшей величиной приведенных затрат, т. е. удовлетворяет условию

$$C_{пр} = C + E_н K_{уд} = \min. \tag{69}$$

Для сварных конструкций со сроком окупаемости капитальных вложений три года нормативный коэффициент эффективности равен 0,33; при $T_{ок}$ = = 5 лет — 0,20; при $T_{ок}$ = 6 лет 0,17 и $T_{ок}$ = 7 лет — 0,15.

Годовой экономический эффект $Э_{год}$ от внедрения спроектированной конструкции машины (при одном и том же годовом выпуске продукции) может быть определен по формуле

$$Э_{год} = (C_1 + E_н K_1) - (C_2 + E_н K_2), \tag{70}$$

где C_1, C_2 — себестоимость годового выпуска продукции, произведенной сравниваемыми конструкциями машин, в руб.;

K_1, K_2 — капитальные вложения в сравниваемые конструкции в руб.

При сравнении вариантов конструкций машин, производящих за год разное количество продукции,

$$Э_{год} = [(C_1 + E_н K_1) - (C_2 + E_н K_2)]\, N_2 \text{ руб.}, \tag{71}$$

где C_1, C_2 — себестоимость единицы продукции, произведенной машинами, сравниваемых конструкций в руб.;

K_1, K_2 — удельные капитальные вложения в сравниваемые конструкции машин в руб.;

N_2 — годовой выпуск продукции машиной, спроектированной конструкции.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВАРИАНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

На современном этапе развития сварочного производства сварные конструкции могут быть изготовлены с применением нескольких вариантов технологических процессов, каждый из которых обеспечивает получение требуемых по техническим условиям качественных характеристик и эксплуатационной надежности.

Необходимо из имеющихся вариантов технологических процессов выбирать оптимальный, требующий для своего осуществления наименьших затрат живого и овеществленного труда. Эта задача решается путем расчета единовременных и эксплуатационных затрат для запроектированного варианта технологического процесса и сравнения их с аналогичными затратами одного из прогрессивных технологических процессов, применяемого для изготовления той же сварной конструкции.

Единовременные капитальные вложения

Единовременные капитальные вложения по сравниваемым вариантам технологических процессов определяются суммированием затрат на все виды производственного оборудования $K_{пр}$, подъемно-транспортных средств и передаточных устройств $K_{тр}$, приспособлений и приборов $K_{п.п}$, зданий и сооружений, частично или полностью используемых в сравниваемых вариантах $K_{з.с}$, а также затрат на модернизацию ранее приобретенного оборудования и используемого для осуществления запроектированного варианта технологического процесса $K_м$, на проектно-конструкторские и опытные работы, связанные с разработкой и внедрением этого варианта $K_{п.к}$ и стоимости ликвидируемых основных фондов, равной величине невозмещенных через амортизацию первоначальных капитальных вложений за вычетом из нее средств от реализации ликвидированных основных фондов $K_л$. Общая сумма единовременных капитальных вложений по ка-

ждому из сравниваемых вариантов технологических процессов может быть определена по формуле [1]

$$K_c = \sum_1^m K_{пр} + \sum_1^m K_{тр} + \sum_1^m K_{п.п} + \sum_1^m K_{з.с} + \sum_1^m K_{м} + \sum_1^m K_{п.к} + \sum_1^m K_{л}, \quad (71а)$$

где m — соответственно количество наименований (видов) производственного и подъемно-транспортного оборудования, приборов и приспособлений модернизированного оборудования, проектно-конструкторских и опытных работ, ликвидируемого оборудования.

Перед расчетом единовременных капитальных вложений по сравниваемым вариантам технологических процессов целесообразно проанализировать структуру требуемых для каждого из них основных фондов. Это позволит выявить неодинаковые виды оборудования и оснастки по сравниваемым вариантам и определить по ним разницу в капитальных вложениях. Если при внедрении спроектированного технологического процесса высвобождаемые основные фонды можно использовать на других участках, тогда их стоимость не учитывается в капитальных вложениях по этому варианту.

Нестандартные и специальные виды оборудования, изготовленные самими заводами, учитывают по их нормативной стоимости с учетом плановых накоплений.

Заготовительно-складские и транспортные расходы, затраты на монтаж определяются расчетным путем по действующим тарифам на перевозки, нормативам на монтаж оборудования или же по фактическим затратам, если последние ниже нормативных. При укрупненных расчетах эти затраты могут быть приняты в процентах от цены оборудования, причем с увеличением цены оборудования доля транспортно-заготовительных и монтажных работ снижается. Так, например, при цене сварочного оборудования до 100 руб. за единицу транспортно-заготовительные расходы составляют 20%, а при цене его 101—1000 руб. за единицу — 16—12%, при цене 5000 руб. и более за единицу — 3% и т. д.

Капитальные вложения по видам оборудования (заготовительному, обрабатывающему, сборочно-сварочному и т. д.) определяют по формулам

$$K_{пр} = \sum_1^m C_i c_i \quad \text{или} \quad K_{св} = \sum_1^m C_{св\,i} c_{св\,i}, \quad (71б)$$

где $K_{пр}$, $K_{св}$ — сумма капитальных вложений соответственно во все виды оборудования и, в частности, в сварочное;

m — количество видов и наименований оборудования;

C_i, $C_{св\,i}$ — стоимость единицы i-го оборудования и, в частности, i-го сварочного оборудования по ценам действующих прейскурантов;

c_i, $c_{св\,i}$ — количество единиц i-го оборудования и, в частности, i-го сварочного оборудования.

Количество единиц данного вида производственного оборудования c_i может быть найдено по формуле

$$c_i = \frac{Q_i}{F_{фак}} \quad \text{или} \quad c_i = \frac{Q_i'}{F_{реж}\alpha_i\beta_i}, \quad (72)$$

где Q_i — необходимое количество машино-часов с учетом переработки норм времени для выполнения годового объема определенного рода работ (заготовительных, обрабатывающих, сборочных, сварочных и др.) с помощью i-го вида оборудования;

$F_{фак}$ — фактический (эффективный) фонд времени работы единицы i-го оборудования (в машино-часах);

[1] В стоимость производственного оборудования $K_{пр}$, подъемно-транспортных средств $K_{тр}$ и т. д. включены затраты на транспортировку и монтаж оборудования.

Q_i — то же, что и Q_i, но без учета переработки норм времени (в машино-часах);

$F_{реж}$ — режимный (номинальный) годовой фонд времени работы единицы i-го оборудования (в машино-часах);

α_i — средний коэффициент выполнения норм выработки на операции, выполняемой с помощью i-го вида оборудования ($\alpha_i \approx 1{,}15 \div 1{,}20$);

β_i — коэффициент использования режимного годового фонда времени i-го оборудования (при укрупненных расчетах принимают $\beta_i = 0{,}92 \div 0{,}96$, исходя из того, что время простоев оборудования в плановом ремонте составляет 4—8% от $F_{реж}$).

Общий количественный состав необходимого производственного оборудования по сравниваемым вариантам технологических процессов

$$c_{об} = \sum_{1}^{m} (c_{ni} + c_{ni}), \tag{73}$$

где m — количество видов (наименований) технологического наличного или вновь приобретенного оборудования;

c_{ni}, c_{ni} — соответственно количество единиц наличного и вновь приобретенного оборудования определенного назначения.

Капитальные вложения в транспортные средства и передаточные устройства $K_{тр}$ определяют:

а) расчетным путем по формуле

$$K_{тр} = \sum C_{трi} c_{трi}, \tag{74}$$

где m — количество наименований транспортных средств;

$C_{трi}$ — стоимость единицы транспортных средств i-го наименования;

$c_{трi}$ — количество единиц транспортных средств i-го наименования;

б) укрупненно по заводским данным в размерах, пропорциональных капитальным вложениям в производственное оборудование, или же как произведение стоимости $1m$ транспортных средств на их вес.

Количество единиц транспортных средств прерывного действия

$$c_{тр} = \frac{Q_{сут\,m}\,(\text{суточный грузопоток в } m)}{P_{сут\,m}\,(\text{суточная производительность единицы оборудования в } m)}. \tag{75}$$

Применительно к расчету количества мостовых электрических кранов формула (75) примет вид

$$c_{кр} = \frac{N_{тр} i t_ц}{F_{реж} \beta}, \tag{76}$$

где $N_{тр}$ — количество подлежащих транспортировке краном сварных объектов в течение года;

i — среднее количество крановых операций на один объект;

$t_ц$ — длительность одного кранового цикла;

β — коэффициент использования режимного фонда времени крана.

Ориентировочное число средств непрерывного транспорта или конвейеров можно определить по формуле

$$c_{кон} = \frac{Q_{час}\,(\text{часовой грузопоток в } m)}{P_{час}\,(\text{часовая производительность конвейера в } m)}. \tag{77}$$

Капитальные вложения в приспособления и приборы определяются по формулам

$$K_{прис} = \sum_{1}^{m} C_{i\,прис} c_{i\,прис}; \tag{78}$$

$$K_{приб} = \sum_{1}^{m} C_{i\,прис} c_{i\,приб}, \tag{79}$$

где m — количество типоразмеров (наименований) приспособлений или приборов;

$C_{i\,прис}$, $C_{i\,приб}$ — стоимость единицы приспособления или прибора i-го типоразмера.

Количество приспособлений данного типоразмера

$$c_{прис\,i} = \frac{N_{пр\,i} t_{пр}}{F_{факт}}, \tag{80}$$

где $N_{i\,пр}$ — количество продукции, обрабатываемой с применением i-го типоразмера приспособления (m шт., *пог. м* и т. д.);

$t_{пр}$ — время занятости приспособления изготовлением единицы продукции.

Капитальные вложения в здания $K_з$:

$$K_з = V_з C_з, \tag{81}$$

где $V_з$ — объем зданий в $м^3$;

$C_м$ — стоимость 1 $м^3$ здания в руб. (для производственного здания 4—6 руб.).

Затраты на проектно-конструкторские и опытные работы $K_{п.к}$ определяют по утвержденным сметам.

Эксплуатационные затраты

Общая сумма затрат на изготовление сварных конструкций при применении того или иного варианта технологического процесса определяется по формуле

$$C_т = C_м + C_{всп.м} + C_{э.т} + З_{п.р} + C_{т.т} + C_{обор} + P_{цех}, \tag{82}$$

где $C_м$ — затраты на материалы (листовой и профильный прокат, различного рода заготовки, комплектующие детали и узлы);

$C_{всп.м}$ — затраты на вспомогательные материалы технологического назначения (электроды, электродная проволока, присадочные материалы, флюсы и т. д.);

$C_{э.т}$ — затраты на электроэнергию для технологических целей;

$З_{п.р}$ — основная заработная плата производственных рабочих;

$C_{т.т}$ — затраты на топливо для технологических целей;

$C_{обор}$ — затраты, связанные с работой оборудования;

$P_{цех}$ — общецеховые расходы.

Затраты на материалы

$$C_м = \sum_{1}^{b} H_i Ц_i k_i - g_{oi} Ц_{oi}, \tag{83}$$

где b — число наименований или марок материалов, используемых при изготовлении сварных конструкций;

H_i — норма расхода материала i-й марки (i-го наименования);

$Ц_i$ — оптовая цена на материал i-й марки (i-го наименования);

k_i — коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы при приобретении материала i-го наименования (для черных металлов равен 1,05—1,08, а для цветных металлов и сплавов определяется по заводским данным);

g_{oi} — реализуемые отходы материала i-го наименования;

$Ц_{oi}$ — цена отходов материала i-го наименования.

Норма расхода материала определяется по нормативам, фактическим заводским данным, чертежам на сварные конструкции или рассчитывается как произведение чистого веса, установленного по чертежам, на коэффициент расхода материала (табл. 4). Цены на покупные материалы (заготовки, комплектующие детали и узлы) принимают по действующим прейскурантам оптовых цен или по утвержденным временным ценам (с учетом транспортно заготовительных расходов), а на заготовки и полуфабрикаты собственного изготовления — по заводским расчетным ценам.

4. Коэффициент расхода материалов по отраслям

Наименование отраслей	Коэффициент расхода проката		
	листового	профильного	труб
Тяжелое машиностроение	1.23	1,14	1.14
Химическое машиностроение	1.25	1.16	1.11
Автомобилестроение	1.28	1.08	1.22
Электротехническая промышленность	1.27	1.18	1.20
Станкостроительная промышленность	1.20	1.08	1.19
Приборостроение	1.35	1.11	—

Величину используемых отходов q_0 принимают по нормативам или по фактическим заводским данным. При отсутствии этих справочных материалов q_0 определяют опытным путем или по аналогии со сходными сварными конструкциями. Цена отходов $Ц_0$ может быть принята равной полной цене основных исходных материалов, если они используются в качестве кондиционного сырья, или цене лома, когда они используются в качестве вторичного сырья.

Затраты на вспомогательные материалы технологического назначения:

$$C_{всп.м} = C_{эл} + C_{э.п} + C_{пр.м} + C_{г} + C_{эл.м} + C_{ф}, \tag{84}$$

где $C_{эл}$, $C_{э.п}$, $C_{пр.м}$, $C_{г}$, $C_{эл.м}$, $C_{ф}$ — затраты соответственно на электроды, электродную проволоку, присадочные материалы, газ (защитные и горючие), электродный материал, флюсы.

Затраты на электроды

$$C_{эл} = \sum_{1}^{b_{эл}} q_{i_{эл}} Ц_{i\ эл}, \tag{85}$$

где $b_{эл}$ — количество наименований и типоразмеров электродов;

$q_{i\ эл}$ — масса наплавленного металла электродом i-го наименования и типоразмера;

$Ц_{i\ эл}$ — цена за 1 *кг* i-го наименования и типоразмера электрода.

Масса наплавленного металла $q_{i\ эл}$ может быть определена по формуле

$$q_{i\ эл} = \sum_{1}^{m} \frac{q_{эл.п}}{k_{пер}} (1 - k_{з}), \tag{86}$$

где m — количество наименований деталей (узлов), входящих в сварную конструкцию;

$q_{эл.п}$ — масса наплавленного металла (определенного состава) на i-ю деталь (узел);

$k_{пер}$ — коэффициент перехода металла электродов в сварной шов. С учетом потерь на угар, разбрызгивание и огарки $k_{пер}$ принимают равным: для электродов с тонким покрытием 0,65—0,75; с толстым покрытием 0,80—0,90; для присадочной проволоки при сварке (газовой и дуговой) в углекислом газе и аргоне 0,95—0,98; для электродной проволоки при автоматической сварке под флюсом 0,92—1,00;

$K_э$ — коэффициент, характеризующий отношение массы электродного покрытия к массе электродной проволоки; определяют по паспортным данным электродов, а при ориентировочных расчетах принимают $k_э = 0{,}4$.

Расход угольных электродов диаметром 5—12 *мм* при ручной дуговой сварке стальных листов толщиной 0,25 - 0,4 *мм* составляет 13—39 *мм* длины электрода на 1 *пог. м* шва и стабилизирующих флюсов 1,8 - 2,7 *г м*. При автоматической и полуавтоматической сварке стальных листов толщиной 1,8—4 *мм* расход угольных электродов диаметром 6—12 *мм* составляет 5—12 *мм* длины электрода на 1 *пог. м* шва, расход графитовых электродов на 30% меньше, чем угольных.

Расход вольфрамовых электродов при дуговой сварке в аргоне неплавящимся электродом диаметром 2—4 *мм* (сварочный ток около 50 *а*) — 0,04 *г м* шва.

Цены на электроды $Ц_{э.л}$ принимают по действующим прейскурантам оптовых цен, к которым прибавляются затраты на их приобретение.

Затраты на электродную проволоку

$$C_{э.п} = \sum_{1}^{b_{э.п}} q_{i_{э.п}} Ц_{i_{э.п}}, \tag{87}$$

где $b_{э.п}$ — количество наименований и типоразмеров электродной проволоки;

$q_{i_{э.п}}$ — масса наплавленного металла электродной проволокой i-го наименования и типоразмера; определяют по формуле (86); $K_э$ принимается равным нулю;

$Ц_{i_{э.п}}$ — цена за единицу веса (1 *кг*) i-го наименования и типоразмера электродной проволоки.

Цены на электродную проволоку принимают также по действующим прейскурантам оптовых цен с учетом затрат на их приобретение.

Затраты на присадочные материалы

$$C_{пр.м} = \sum_{1}^{b_{пр.м}} q_{i_{пр.м}} Ц_{i_{пр.м}}, \tag{88}$$

где $b_{пр.м}$ — количество наименований и типоразмеров присадочной проволоки (материала);

$q_{i_{пр.м}}$ — расход присадочной проволоки i-го наименования и типоразмера в *кг*;

$Ц_{i_{пр.м}}$ — цена за единицу веса (за 1 *кг*) i-го наименования и типоразмера присадочной проволоки (материала); принимают по прейскурантам оптовых цен с учетом затрат на ее приобретение.

Затраты на газы

$$C_г = \sum_{1}^{b_г} q_{i_г} Ц_{i_г}, \tag{89}$$

где $b_г$ — количество видов газа, используемых при изготовлении сварной детали (узла);

$q_{i_г}$ — расход i-го газа данного вида на сварную деталь (узел), при газовой сварке и резке определяют, исходя из технологических режимов;

$Ц_{i_г}$ — цена за единицу газа i-го вида; принимают по действующим прейскурантам оптовых цен с учетом затрат на его приобретение.

Затраты на электродные материалы при контактной сварке

$$C_{э.л.м} = \sum_{1}^{b_{э.л.м}} q_{i_{э.л.м}} Ц_{i_{э.л.м}}, \tag{90}$$

где $b_{э.л.м}$ — количество наименований электродных материалов, потребляемых при сварке детали (узла);

$q_{i_{э.л.м}}$ — расход электродного материала i-го наименования в $г$ на 1000 стыков, точек или $м$ шва;

$Ц_{i_{э.л.м}}$ — цена за единицу веса электродного материала i-го наименования, устанавливается также по действующим прейскурантам оптовых цен с учетом затрат на их приобретение.

При контактной стыковой сварке низкоуглеродистой стали удельный расход электродов из холоднодеформированной меди (в $г$ на 1000 стыков) составит при сечении:

250 $мм^2$	24— 30 $г$
700 »	56— 67 »
2000 »	140 -170 »

При контактной точечной сварке удельный расход тех же электродов (в $г$ на 1000 точек) составит при суммарной толщине свариваемых деталей:

менее 3 $мм$	10 24 $г$
более 3 »	15- 35 »

При роликовой контактной сварке удельный расход указанных выше электродов на 1000 $м$ шва при суммарной толщине свариваемых деталей до 4 $мм$ составляет 7—9 $г$.

Затраты на флюсы

$$C_{ф} = \sum_{1}^{b_{ф}} q_{iф} Ц_{iф}, \qquad (91)$$

где $b_{ф}$ — количество наименований марок флюсов;

$q_{iф}$ — вес израсходованного флюса i-й марки;

$Ц_{iф}$ — цена за единицу веса ($кг$) флюса i-й марки, по действующим прейскурантам оптовых цен с учетом затрат на их приобретение.

Расход флюса для автоматической и полуавтоматической дуговой сварки определяют, исходя из весового соотношения флюсов $q_{ф}$ и электродов $q_{э}$. При условиях сбора и последующего использования остатков флюса $\frac{q_{ф}}{q_{э}}$ составляет:

при автоматической дуговой сварке	1,1—1,3
» полуавтоматической под флюсом	1,2 -1,4
» полуавтоматической сварке электрозаклепками	2,7—3,0
» электрошлаковой сварке	0,05 0,10

В обычных производственных условиях $\frac{q_{ф}}{q_{э}} \approx 1{,}4 \div 1{,}6$.

При укрупненных расчетах расхода электродов можно воспользоваться следующими величинами отношения веса электродов (или проволоки) $q_{э}$ к весу наплавленного металла $q_{н.м}$:

Электродуговая сварка

Электроды:	Отношение $q_{э}\ q_{н.м}$
МТ	1,4
ВИАМ-25; СМА-2; СМ-11; АНО-1	1,5
УП-1 45; УП-2 45; ЦП-1; АНО-3; АНО-5	1,6
ЦП-14; АНО-4; АНО-6	1,7
ЦМ-7; ЦОНИ-13; ОММ-5	1,8
ЦМ-7с	1,9
ОММ-эц	2,3
Проволока:	
для автоматической сварки под флюсом	1,02
» полуавтоматической сварки под флюсом	1,03
» сварки в защитных газах	1,03
» аргоно-дуговой сварки	1,1

Газовая сварка

Проволока:		
для стали и алюминия	1,03	1,04
» меди	1,05	1,08
» чугуна и бронзы	1,08	1,10
» латуни	1,12	1,15

Ацетилено-кислородная сварка

Проволока	1,04	0,15

Дуговая сварка в аргоне

Неплавящиеся электроды диаметром 2—4 мм в *г* на 1 м шва	0,04	

Расход защитных и горючих газов при электродуговой и газовой сварке может быть принят ориентировочно по данным табл. 5.

5. Расход защитных и горючих газов

Способ сварки	Газ	Расход газа в *дм*³ *сек*
Ручная неплавящимся электродом	Аргон	0,05—0,4
Автоматическая нержавеющих сталей толщиной 1—1,5 *мм*	»	0,05—0,08
Автоматическая неплавящимся электродом титана толщиной 0,8—10 *мм* с присадочной проволокой и толщиной 0,8—3 *мм* без присадки	»	0,13—0,27
Полуавтоматическая	Углекислый газ	0,2—0,4
Газовая	Ацетилен	0,03—0,05
»	Кислород	0,04—0,06

Расход сжатого воздуха, охлаждающей воды и т. п. определяют по техническим характеристикам выбранного заготовительного, обрабатывающего и сварочного оборудования с учетом степени их загрузки.

Затраты на электроэнергию для технологических целей

$$C_{э.т} = \sum_{1}^{b} q_{i_э} Ц_э, \tag{92}$$

где b — количество операций технологического процесса (или число стыков деталей), требующих для своего осуществления расхода электроэнергии;

$q_{i_э}$ — количество электроэнергии, израсходованной на 1 *кг* наплавленного металла при выполнении i-й операции (при сварке i-го стыка, детали и т. д.);

$Ц_э$ — цена за единицу израсходованной электроэнергии по утвержденным на электроэнергию тарифам.

Удельный расход электроэнергии на 1 *кг* наплавленного металла при дуговых способах сварки ориентировочно можно определить по формуле

$$q'_э = \frac{U}{\alpha_н \eta \beta_в} \quad квт \cdot ч/кг. \tag{93}$$

где U — напряжение на дуге в *в* (задается режимом сварки);

$\alpha_н$ — коэффициент наплавки в *г/а-ч* (приводится в паспорте электродного материала);

η — к. п. д. установки;

$\beta_в$ — коэффициент, учитывающий время горения дуги в общем времени сварки (табл. 6).

6. Значения коэффициента $\beta_в$ при разных типах производства и способах сварки

Тип производства	Способ сварки	$\beta_в$
Крупносерийное и массовое	Ручная дуговая	0,60–0,75
Единичное и мелкосерийное, а также при сварке коротких и удаленных друг от друга швов		0,35–0,55
Крупносерийное и массовое	Автоматическая под флюсом при обслуживании одним автоматом рабочих мест поточной линии	0,50–0,85
Единичное и мелкосерийное	То же на универсальном оборудовании при обслуживании одним автоматом нескольких рабочих мест	0,25–0,45
Крупносерийное и массовое	Полуавтоматическая под флюсом	0,50–0,70
Единичное и мелкосерийное	То же	0,35–0,55
Крупносерийное и массовое	Ручная аргоно-дуговая неплавящимся электродом	0,50–0,60
Единичное и мелкосерийное	То же	0,35–0,45
	Автоматическая и полуавтоматическая аргоно-дуговая плавящимся электродом	0,25–0,75
Крупносерийное и массовое	Автоматическая аргоно-дуговая неплавящимся электродом	0,30–0,45
	Полуавтоматическая в углекислом газе	0,55–0,70
	Электрошлаковая длинных швов при простой сборке деталей	0,15–0,25
	То же, при коротких швах и сложной сборке деталей	0,10–0,15
Крупносерийное и массовое	Ацетилено-кислородная при стационарных постах	0,65–0,80
Единичное и мелкосерийное	То же	0,25–0,40

При точечной сварке на серийных машинах потребность в электроэнергии $q_{э.\,точ}$ (*квт·ч* на 100 точек) ориентировочно можно подсчитать по формуле

$$q_{э.\,точ} = \frac{M_{ном} \cos\varphi U_{св}^2}{36 U_н^2} t_в, \qquad (94)$$

где $M_{ном}$ — номинальная мощность в *ква*;

$U_{св}$ — вторичное напряжение холостого хода на ступени, принятой для сварки, в *в*;

$U_н$ — вторичное напряжение холостого хода на номинальной ступени (предпоследней) в *в*;

$\cos\varphi$ — коэффициент мощности всей машины; для стационарных машин переменного тока типа МТИ можно принимать 0,45—0,55, а для подвесных машин типа МТПГ 0,75—0,85.

$t_в$ — время включения машины при сварке 100 точек.

При шовной сварке на серийных машинах потребность в электроэнергии (*квт·ч* на 1 *м*) $q_{э.\,ш}$ находят по следующей приближенной формуле:

$$q_{э.\,ш} = \frac{M_{ном} \cos\varphi U_{св}^2}{60 v U_н^2} \beta_в, \qquad (95)$$

где $\cos\varphi$ для машин типа МТИ принимается равным 0,60—0,70;

$\beta_в$ при сварке малоуглеродистой стали равен 0,5;

v — линейная скорость сварки.

При стыковой сварке оплавлением стальных деталей на серийных машинах потребность в электроэнергии (*квт·ч* на стык) определяют по формуле

$$q_{э.\,ст} = F_{св} H_{опл} a_0, \qquad (96)$$

где $F_{св}$ — площадь сечения свариваемых деталей в $см^2$,

$П_{отл}$ — суммарный припуск на оплавление в *см*;

α_0 — коэффициент, принимаемый равным 0,012—0,016.

При укрупненных расчетах расход электроэнергии при различных способах сварки стальных деталей (узлов) можно принимать по табл. 7—10.

7. Расход электроэнергии при дуговой электрошлаковой сварке

Сварка	Средний расход электроэнергии на 1 *кг* наплавленного металла в *квт·ч*
Автоматами тракторного типа под флюсом на переменном токе	3—4
Шланговыми автоматами и полуавтоматами на переменном токе	3,5—4
Автоматами и полуавтоматами на постоянном токе	5—6
Автоматическая трехфазная под флюсом	2—2,5
Электрошлаковая аппаратом А-340 на постоянном токе	2,5
Электрошлаковая аппаратом А-372-II на переменном токе	1,4
Ручная на переменном токе	3,5—4
Ручная при работе от однопостового сварочного агрегата постоянного тока с приводом от электродвигателя	6—7
При питании дуги от выпрямителя	4—4,5

8. Расход электроэнергии при стыковой сварке оплавлением

Площадь поперечного сечения сварного стыка в *мм²*	Расход электроэнергии на сварку одного стыка в *квт·ч*	Площадь поперечного сечения сварного стыка в *мм²*	Расход электроэнергии на сварку одного стыка в *квт·ч*
100	0,005	1000	0,400
200	0,024	1500	0,825
300	0,060	2000	1,275
500	0,125	2500	1,725

9. Расход электроэнергии при шовной сварке декапированной стали

Суммарная толщина свариваемых листов в *мм*	Расход электроэнергии на 1 *м* шва в *квт·ч*
0,5	0,04—0,08
1,0	0,08—0,14
1,5	0,1—0,2
2,0	0,12—0,24
3,0	0,25—0,5
4,0	0,5—1,0

10. Расход электроэнергии при точечной сварке

Суммарная толщина свариваемых листов в *мм²*	Расход электроэнергии на сварку 100 точек в *квт·ч*
2,0	0,04—0,12
3,0	0,06—0,20
4,0	0,10—0,27
5,0	0,12—0,45
6,0	0,17—0,60
8,0	0,23—1,00

Заработная плата производственных рабочих, занятых изготовлением сварных конструкций,

$$З_{п.р} = \sum_1^m З_{п.рi} = \sum_1^m З_{оi} + З_{дi} + О_{соцi} = \sum_1^m r_{срi} t_i \left(1 + \frac{k_д}{100}\right) + \\ + \left[r_{срi}\left(1 + \frac{k_д}{100}\right)\right]\frac{k_{отч}}{100}, \qquad (97)$$

Где m — количество операций, составляющих технологический процесс;
$З_{п.р\,i}$ — заработная плата производственных рабочих, выполняющих i-ю операцию;
$З_{д.\,i}$ — дополнительная заработная плата, приходящаяся на i-ю операцию;
$О_{соц\,i}$ — отчисления в соцстрах, приходящиеся на i-ю операцию;
$r_{ср\,i}$ — средняя часовая тарифная ставка производственных рабочих, выполняющих i-ю операцию бригадой из 2—3 рабочих и более разных разрядов, за $r_{ср\,i}$ принимают средневзвешенную величину часовых тарифных ставок;
t_i — норма времени на i-ю операцию;
$k_д$ — процент, который составляет дополнительная зарплата от основной зарплаты;
$k_{отч}$ — процент, который составляют отчисления в фонд социального страхования от суммы основной и дополнительной заработной платы.

Часовая тарифная ставка производственных рабочих принимается по соответствующей тарифной сетке (табл. 11 и 12).

11. Часовые тарифные ставки для работников машиностроительной и металлообрабатывающей промышленности

Категории рабочих	Группы предприятий	Часовые тарифные ставки по разрядам в руб.					
		1	2	3	4	5	6
Повременщики на холодных работах	I*	0,275	0,311	0,375	0,407	0,473	0,550
	II**	0,263	0,297	0,339	0,389	0,452	0,526
Сдельщики на холодных работах и повременщики на горячих, тяжелых работах и работах с вредными условиями труда	I	0,320	0,362	0,413	0,474	0,550	0,640
	II	0,305	0,345	0,393	0,451	0,525	0,610
Сдельщики на горячих, тяжелых работах и работах с вредными условиями труда, повременщики на работах с особо тяжелыми и особо вредными условиями	I	0,367	0,415	0,473	0,543	0,631	0,734
	II	0,350	0,395	0,451	0,518	0,602	0,700
Сдельщики на работах с особо тяжелыми и особо вредными условиями труда	I	0,390	0,441	0,503	0,577	0,671	0,780
	II	0,378	0,427	0,488	0,559	0,650	0,756
Тарифные коэффициенты по разрядам		1,00	1,18	1,29	1,48	1,72	2,0

* К первой группе относятся предприятия ведущих отраслей машиностроения: авиационной, автомобильной, инструментальной, оборонной, подшипниковой, радиотехнической, станкостроительной и электротехнической промышленности, транспортного, энергетического и сельскохозяйственного машиностроения; приборостроения; производства оборудования для горнорудной, металлургической и торфяной промышленности; производства бурового, насосно-компрессорного и холодильного оборудования.

** Ко второй группе отнесены предприятия остальных отраслей машиностроения, находящихся в ведении министерств и ведомств.

Дополнительную заработную плату $З_д$ рабочих сварочных цехов при укрупненных расчетах принимают 10—12% от основной заработной платы $З_о$, а отчисления на социальное страхование — 6—8% от суммы основной и дополнительной заработной платы.

12. Оплата рабочих, выполняющих сборочные, сварочные и другие работы при производстве сварных конструкций

Категория рабочих	Формы оплаты труда
Сварщики на сдельных работах в промышленности	По ставкам для сдельщиков на горячих, тяжелых работах и работах с вредными условиями труда
Сварщики-повременщики	По ставкам для сдельщиков на холодных работах
Сборщики	По ставкам для рабочих на холодных работах
Сдельщики на пневматической рубке и зачистке свариваемых поверхностей	По ставкам для сдельщиков на работах с особо тяжелыми и особо вредными условиями труда

При расчете заработной платы трудоемкость работ по сравниваемым вариантам технологических процессов должна определяться по утвержденным в установленном порядке нормам, если таковые отсутствуют, то по данным фактических трудозатрат действующего производства.

Норма времени на i-ю операцию технологического процесса t_i может быть определена по формулам:

$$t_i = \frac{t_{ni}}{k_i}, \tag{98}$$

где $t_{n.i}$ — норма трудоемкости изготовления изделия (заготовки, детали и узла) на i-й операции;

k_i — коэффициент, учитывающий численность бригады или одновременность работы рабочего на нескольких единицах оборудования;

$$t_i = \frac{t_{ш.к}}{n}, \tag{99}$$

де $t_{ш.к}$ — норма штучно-калькуляционного времени на выполнение i-й операции;

n — количество одновременно изготовляемых заготовок, деталей, узлов;

$$t_i = \frac{F_{см}}{N_{см}}, \tag{100}$$

где $F_{см}$ — длительность рабочей смены в ч;

$N_{см}$ — сменная норма выработки рабочих бригады (одного рабочего), занятых выполнением i-й операции.

Затраты на топливо для технологических целей $C_{т.т}$ (на нагрев, термическую обработку)

$$C_{т.т} = \sum_{1}^{m} q_{mi} Ц_m, \tag{101}$$

где m — число операций технологического процесса, выполнение которых связано с затратами топлива;

q_{mi} — расход топлива на деталь (узел, изделие) при выполнении i-й операции;

$Ц_m$ — цена на топливо (мазут, природный газ по прейскурантам оптовых цен с учетом транспортно-заготовительных расходов).

При укрупненных расчетах расход топлива может быть рассчитан по формуле

$$q_{mi} = q_{час\,i} k_{нер} k_{пот}, \tag{102}$$

где $q_{час\,i}$ — среднечасовой расход топлива при выполнении i-й операции;

$k_{н\,ср}$ — коэффициент, учитывающий среднюю неравномерность загрузки печи;

$k_{пот}$ — коэффициент, учитывающий потери топлива.

Затраты на содержание и эксплуатацию оборудования определяются по формуле

$$C_{обор} = \sum_{1}^{K} C_{ai} + C_{pi} + C_{сэi} + C_{ui} + C_{npi} + C_{вспi} + З_{вспi} + C_{зi}, \quad (103)$$

где K — количество наименований оборудования, требуемого для выполнения того или иного варианта технологического процесса;

C_{ai} — амортизационные отчисления по оборудованию i-го наименования;

C_{pi} — затраты на текущий ремонт оборудования i-го наименования;

$C_{с.эi}$ — затраты на силовую электроэнергию, потребляемую оборудованием i-го наименования;

C_{ui}, C_{npi} — затраты, связанные с эксплуатацией инструмента и приспособлений оборудования i-го наименования;

$C_{всп\,i}$ — затраты на смазочные, обтирочные и другие вспомогательные материалы, используемые при эксплуатации оборудования i-го наименования;

$З_{всп\,i}$ — заработная плата вспомогательных рабочих, обслуживающих оборудование;

$C_{з\,i}$ — затраты по содержанию зданий, приходящиеся на оборудование i-го наименования.

Величина амортизационных отчислений

$$C_{ai} = \frac{\sum_{1}^{m} (K_n + K_{р.м.\,n})\, c_n a_n k_{з.\,n}}{100 N_c}, \quad (104)$$

где m — количество типоразмеров оборудования i-го наименования;

K_n — балансовая стоимость оборудования n-го типоразмера;

$K_{р.м.\,n}$ — затраты на капитальный ремонт и модернизацию оборудования n-го типоразмера;

c_n — количество единиц оборудования n-го типоразмера;

a_n — норма (процент) годовых амортизационных отчислений;

$k_{з.\,n}$ — коэффициент занятости оборудования n-го типоразмера;

N_c — годовая программа запланированных к изготовлению сварных конструкций (годовой объем производства продукции).

При определении величины амортизационных отчислений по заготовительному, обрабатывающему, сборочному и сварочному оборудованию следует пользоваться «Нормами амортизационных отчислений по основным фондам народного хозяйства СССР», утвержденными Постановлением Совета Министров СССР от 1.IX.1961 г. № 802.

Проценты амортизационных отчислений по некоторым группам сварочного оборудования приведены в табл. 13.

Для оборудования, по которому отсутствуют утвержденные нормы амортизации, амортизационные отчисления определяют по формуле

$$C_{ai} = \frac{(K_j - K_{ост\,j})\, C_j k_{zj}}{T_{aj} N_c}, \quad (105)$$

где $K_{ост\,j}$ — остаточная стоимость i-го наименования оборудования j-го типоразмера;

T_{aj} — амортизационный период оборудования j-го типоразмера.

13. Нормы амортизационных отчислений (в % от стоимости сварочного оборудования), введенные с 1 января 1963 г.

Группы и виды оборудования	Общая норма амортизационных отчислений	В том числе	
		на капитальный ремонт и модернизацию	на воспроизводство
Машины, сварочное и сборочное оборудование			
Сварочные передвижные агрегаты	31,2	12,0	19,2
Сварочные трансформаторы:			
передвижные	34,2	15,0	19,2
стационарные	24,0	12,0	12,0
Машины и оборудование для монтажа магистральных трубопроводов и укладки кабелей			
Передвижные установки для контактно-стыковой сварки	25,0	12,0	13,0
Полуавтоматические установки для сварки труб под флюсом	30,0	18,0	12,0
Машины и оборудование промышленности сборного железобетона			
Автоматические линии и многоэлектродные машины для сварки арматурных каркасов	13,8	6,0	7,8
Сварочные точечные машины, в том числе стационарные сварочные трансформаторы	28,6	11,4	12,2

Затраты на текущий ремонт и модернизацию оборудования

$$C_{pi} = \sum_{1}^{m} \frac{(R_n K_{p.n} + K_{м.n}) c_n k_{з.n}}{T_{ц.n} N_г}, \qquad (106)$$

где C_{pi} — затраты на текущий ремонт и модернизацию оборудования i-го наименования;

R_n — группа ремонтной сложности оборудования n-го типоразмера;

$K_{p.n}$ — общая сумма затрат на все виды ремонтов и межремонтного обслуживания за ремонтный цикл, приходящаяся на единицу ремонтной сложности оборудования n-го типоразмера;

$K_{м.n}$ — затраты на модернизацию единицы оборудования n-го типоразмера за один ремонтный цикл;

$T_{ц.n}$ — длительность ремонтного цикла оборудования n-го типоразмера.

Затраты на силовую электроэнергию i-го наименования оборудования при укрупненных расчетах определяют по формуле

$$C_{с.эi} = \sum_{1}^{m} \frac{M_n k_{з.д} k_{з.м} k_{о.р} k_{п.э} t_р H_э}{\eta_n k_{в.н}}, \qquad (107)$$

где m — количество типоразмеров оборудования i-го наименования;

M_n^* — суммарная установленная мощность электродвигателей оборудования n-го типоразмера;

$k_{з.д}$ — коэффициент загрузки двигателей оборудования n-го типоразмера (0,4—0,8);

* Определяется по паспортам оборудования.

$k^*_{з.м}$ — коэффициент загрузки по мощности электродвигателей оборудования n-го типоразмера;

$k_{о.р}$ — коэффициент одновременности работы двигателей оборудования n-го типоразмера;

$k_{п.э}$ — коэффициент, учитывающий потери электроэнергии в сети (= 1,04—1,08);

$t_р$ — нормы времени на выполнение операций технологического процесса;

$Ц_э$ — стоимость 1 *квт.ч* электроэнергии (по данным заводов);

$\eta^{**}_п$ — средний к. п. д. электродвигателей оборудования n-го типоразмера;

$k_{н.н}$ — коэффициент выполнения норм времени.

Затраты, связанные с эксплуатацией инструмента i-го наименования (при укрупненных расчетах)

$$C_{пi} = \sum_1^m C_{п.п}, \tag{108}$$

где m — количество типоразмеров инструментов i-го наименования;

$C_{п.п}$ — общая сумма затрат, связанных с эксплуатацией инструмента n-го типоразмера (по заводским данным).

Затраты, связанные с эксплуатацией приспособлений i-го наименования (при укрупненных расчетах)

$$C_{пi} = \sum_1^m \frac{(C_{п.п}k_п - C_{с.п})\, c_п k_{з.п}}{T_{а.п} N_г}, \tag{109}$$

где m — количество типоразмеров приспособлений i-го наименования;

$C_{п.п}$ — балансовая стоимость единицы приспособления n-го типоразмера;

$k_п$ — коэффициент, учитывающий затраты на ремонт приспособлений n-го типоразмера (по ориентировочным заводским данным для сварочных цехов $k_п \approx 0{,}2 \div 0{,}4$);

$C_{с.п}$ — стоимость списанного приспособления n-го типоразмера;

$c_п$ — количество единиц приспособлений (в комплекте) n-го типоразмера;

$k_{з.п}$ — коэффициент занятости n-го типоразмера приспособления;

$T_{а.п}$ — амортизационный период n-го типоразмера приспособления ($T_{а.п} \approx \approx 2 \div 4$ г.);

$N_г$ — годовая программа выпуска сварных конструкций.

Затраты на смазочные и обтирочные материалы, используемые при эксплуатации i-го наименования оборудования (при укрупненных расчетах),

$$C_{вспi} = \frac{\sum_1^m C_{всп.п} c_п k_{з.п}}{N_г}, \tag{110}$$

где m — количество типоразмеров i-го наименования оборудования;

$C_{всп.п}$ — годовые затраты на вспомогательные материалы, расходуемые единицей оборудования n-го типоразмера (по заводским данным);

$c_п$ — количество единиц оборудования n-го типоразмера;

$k_{з.п}$ — коэффициент занятости оборудования n-го типоразмера.

Заработную плату вспомогательных рабочих, обслуживающих оборудование $З_{всп}$, определяют общепринятыми в машиностроении методами.

---

* Для электросварочного оборудования 0,3—0,6; машин-автоматов и кранов 0,2—0,4; кузнечно-прессового оборудования 0,2—0,5 и металлорежущих станков — 0,2—0,3.

** Принимается по паспортам оборудования или по каталогу; для электросварочного оборудования 0,6—0,8; кранов и манипуляторов 0,4—0,6 и кузнечно-прессового оборудования 0,60 (величины $\eta_п$ всех указанных выше коэффициентов приведены по данным сварочных цехов заводов тяжелого машиностроения).

Затраты по содержанию зданий, приходящиеся на оборудование i-го наименования,

$$C_{зi} = \frac{\sum_{1}^{m} F_{пр.п} k_{з.п} c_п k_{д.п} C_{ср.год}}{N_г}, \qquad (111)$$

где m — количество типоразмеров i-го наименования оборудования;
$F_{пр.п}$ — производственная площадь (в плане), занимаемая оборудованием n-го типоразмера, в $м^2$;
$k_{д.п}$ — коэффициент, учитывающий дополнительную площадь;
$k_{з.п}$ — коэффициент, учитывающий занятость площади;
$C_{ср.год}$ — среднегодовые затраты на содержание зданий, приходящиеся на 1 $м^2$ площади сварочного цеха (при односменной работе $C_{ср.год}$ = = 7,0 руб., при двухсменной 10,0 руб. и при трехсменной 12,0 руб. на 1 $м^2$).

Следует отметить, что при экономической оценке вариантов технологических процессов расходы, связанные с работой оборудования $C_{обор}$, могут быть найдены более просто и сравнительно точно путем определения себестоимости машино-часа работы оборудования. По каждому виду оборудования, применяемому при производстве сварных конструкций, должен быть установлен коэффициент $k_{м.ч}$, показывающий, во сколько раз затраты $C_{м.ч\,i}$, приходящиеся на 1 $ч$ работы данного вида оборудования, больше или меньше себестоимости часа работы оборудования, принятого за условную единицу (базу), — $C_{м.ч.баз}$:

$$k_{м.чi} = \frac{C_{м.чi}}{C_{м.ч.баз}}. \qquad (112)$$

Общецеховые расходы ориентировочно равны

$$P_{цех} = \sum_{1}^{m} u_п k_{р.б} t_п k_{цех}, \qquad (113)$$

где m — количество операций технологического процесса;
$u_п$ — часовая тарифная ставка основных производственных рабочих, занятых выполнением n-й операции;
$k_{р.б}$ — коэффициент, учитывающий количество работников в бригаде, выполняющих n-ю операцию;
$t_п$ — норма времени на n-ю операцию;
$k_{цех}$ — коэффициент, учитывающий соотношение общецеховых расходов и основной заработной платы основных производственных рабочих ($k_{цех} \approx 0{,}8$).

Основным условием целесообразности применения спроектированного варианта технологического процесса в сравнении с существующим (базовым) служит выражение

$$v_с N + j_с \leqslant v_б N + j_б, \qquad (114)$$

где $v_с$, $v_б$ — переменные затраты на единицу продукции по сравниваемым вариантам;
$j_с$, $j_б$ — условнопостоянные расходы по сравниваемым вариантам;
N — программное задание.

Сравниваемые варианты технологических процессов одинаково экономичны при программном задании $N_{о.э}$, рассчитанном по формуле

$$N_{о.э} = \frac{j_с - j_б}{v_б - v_с}. \qquad (115)$$

Если при программном задании $N > N_{о.э}$ себестоимость годового выпуска $C_г = vN + j$ при использовании базового варианта увеличивается на бо́льшую

величину, чем при разработанном варианте, тогда применение последнего экономически целесообразно по сравнению с базовым. И, наоборот, при программном задании $N < N_{0.р}$ экономически целесообразным будет тот вариант, при котором в большей мере снижается себестоимость годового выпуска.

В тех случаях, когда при сравниваемых вариантах в течение года производится разный объем продукции (разработанный технологический процесс более производительный), тогда следует, во-первых, откорректировать удельные значения условнопостоянных расходов по формуле

$$p_{уд.раз} = \frac{P_{год.баз}}{N_{год.раз}}, \tag{116}$$

или

$$p_{уд.раз} = p_{уд.баз} \frac{N_{год.баз}}{N_{год.раз}} = \frac{p_{уд.баз}}{k_{изм}}, \tag{117}$$

где $p_{уд.раз}$, $p_{уд.баз}$ — удельная величина условнопостоянных накладных расходов по разработанному и базовому вариантам;

$P_{год.баз}$ — сумма годовых условнопостоянных накладных расходов по базовому варианту;

$N_{год.раз}$, $N_{год.баз}$ — годовой объем производства по разработанному и базовому вариантам;

$k_{изм} = \frac{N_{год.раз}}{N_{год.баз}}$ — коэффициент изменения объема производства.

Во-вторых, пересчитать себестоимость годового выпуска базового варианта с учетом роста затрат для достижения объема производства, обеспечиваемого разработанным вариантом, по формуле

$$C_{кор.баз} = C_{баз.пр} \frac{N_{год.раз}}{N_{год.баз}} + (C_{баз.н} + \Delta C_{баз.н}) P_{год.баз}, \tag{118}$$

где $C_{кор.баз}$ — скорректированная себестоимость продукции по базовому варианту;

$C_{баз.пр}$, $C_{баз.н}$ — годовые текущие расходы по базовому варианту, изменяющиеся соответственно пропорционально и непропорционально объему производства;

$\Delta C_{баз.н}$ — увеличение затрат при росте объема производства;

$P_{год.баз}$ — условнопостоянные накладные расходы по базовому варианту.

При определении экономической эффективности от внедрения того или иного варианта технологического процесса за расчетный период принимают обычно год. Поэтому все элементы себестоимости по сравниваемым вариантам должны иметь размерность в руб/год.

Показателями экономической эффективности варианта технологического процесса является срок окупаемости единовременных капитальных вложений и коэффициент сравнительной экономической эффективности, рассчитываемые по формулам, указанным выше. Приемлемым для внедрения в производство следует считать вариант, у которого значения $T_{ок}$ и E лучше нормативных, т. е.

$$T_{ок} = \frac{K_{раз} - K_{баз}}{C_{баз} - C_{раз}} \leqslant T_н; \tag{119}$$

$$E = \frac{C_{баз}}{K_{раз}} - \frac{C_{раз}}{K_{баз}} \geqslant E_н, \tag{120}$$

где $K_{раз}$, $K_{баз}$ — единовременные капитальные вложения в сравниваемые варианты технологических процессов (разработанный и базовый);

$C_{раз}$, $C_{баз}$ — себестоимость годового выпуска по сравниваемым вариантам;

$T_{ок}$, E — срок окупаемости единовременных капитальных вложений и коэффициент сравнительной экономической эффективности по внедряемому варианту;

$T_н$, $E_н$ — нормативные значения этих показателей ($T_н$ — 3 года, $E_н \approx 0{,}33$).

Экономическую оценку нескольких вариантов технологических процессов целесообразно производить по приведенным затратам $C_{пр}$, рассчитываемым по формуле

$$C_{пр} = C + E_н K, \tag{121}$$

или

$$C_{пр} = T_н C + K, \tag{122}$$

где C — себестоимость продукции по данному варианту в руб/год;

K — единовременные капитальные вложения по тому же варианту.

Наиболее эффективным вариантом (включая и базовый) будет тот, который имеет наименьшую сумму приведенных затрат. При равенстве приведенных затрат по вариантам предпочтение заслуживает вариант с меньшей себестоимостью продукции.

Годовой экономический эффект от применения разработанного варианта технологического процесса

$$Э_г = (C_{баз} + E_н K_{баз}) - (C_{раз} + E_н K_{раз}), \tag{123}$$

где $C_{баз}$, $C_{раз}$ — себестоимость продукции по базовому и разработанному вариантам технологии в руб/год;

$K_{баз}$, $K_{раз}$ — единовременные капитальные вложения по базовому и разработанному вариантам технологии в руб.

Годовой экономический эффект при использовании удельных показателей себестоимости продукции и единовременных капитальных вложений определяется по формуле

$$Э_г = [(C_{баз} + E_н K_{баз}) - (C_{раз} + E_н K_{раз})] N_{раз}, \tag{124}$$

где $C_{баз}$, $C_{раз}$ — себестоимость единицы продукции по базовому и разработанному вариантам технологии;

$K_{баз}$, $K_{раз}$ — удельные (единовременные) капитальные вложения на единицу продукции по базовому и разработанному вариантам технологии;

$N_{раз}$ — годовой объем производства сварных конструкций при применении разработанного варианта технологического процесса.

ТЕХНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ РАБОТ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Задачи и содержание технического нормирования

Техническое нормирование производится в целях установления необходимых затрат времени на выполнение заданной работы в определенных организационно-технических условиях, при полном и эффективном использовании средств производства и с учетом опыта передовых рабочих. Такой подход к нормированию обеспечивает установление технически обоснованных норм времени.

Величина, обратная норме времени, называется нормой выработки (количество сварных деталей, узлов в единицу времени).

В структуру технически обоснованной нормы времени включаются лишь те затраты его, которые необходимы для выполнения заданной работы, а именно: подготовительно-заключительное $t_{п.з}$, основное $t_о$, вспомогательное $t_в$, время обслуживания рабочего места $t_{обс}$, время на отдых и естественные надобности $t_н$.

Сумма основного (технологического) и вспомогательного неперекрываемого времени $t_{в.н}$ называется оперативным временем

$$t_{опер} = t_o + t_{в.н}. \quad (125)$$

Норма штучного времени в массовом и крупносерийном производстве

$$t_{шт} = t_o + t_{в.н} + t_{обс} + t_n, \quad (126)$$

или

$$t_{шт} = t_{опер}\left(1 + \frac{a + \delta}{100}\right), \quad (127)$$

где a, δ — соответственно процент, который составляют $t_{обс}$ и t_n от оперативного времени.

В условиях единичного и серийного производства сварных конструкций норма времени определяется с учетом подготовительно-заключительного времени и называется *штучно-калькуляционным*.

$$t_{шт.к} = t_{шт} + \frac{t_{п.з}}{n}, \quad (128)$$

где n — величина изготовляемой партии.

Норма времени на партию

$$t_{пар} = t_{шт}n + t_{п.з}. \quad (129)$$

Нормирование электродуговой сварки

Ручная дуговая сварка. Основное время t_o:

$$t_o = \frac{Fl\gamma}{I\alpha_н}\ ч, \quad (130)$$

или

$$t_o = \frac{60Fl\gamma}{I\alpha_н}\ мин, \quad (131)$$

где t_o — время образования сварного шва путем наплавления электродного металла, т. е. время горения дуги;
F — площадь поперечного сечения наплавленного металла шва в $мм^2$;
l — длина шва в $м$;
γ — удельный вес наплавленного металла в $г/см^3$;
I — сварочный ток в $а$;
$\alpha_н$ — коэффициент наплавки в $г/а \cdot ч$;
$Fl\gamma$ G — вес наплавленного металла шва в $г$.

Вес наплавленного металла шва можно определить также по формуле

$$G = \alpha_н Jt, \quad (132)$$

где t — время горения дуги в $ч$.

Площадь поперечного сечения F, которая существенно зависит от вида сварки, может быть определена по ГОСТу 5264—58, заводским нормалям и расчетом как сумма площадей треугольников, прямоугольников и других элементарных геометрических фигур, на которые разбивается сечение наплавленного металла. Удельный вес наплавленного металла шва γ принимают равным удельному весу основного металла.

Силу тока J при ручной дуговой сварке устанавливают в зависимости от марки и диаметра электрода, толщины металла, вида шва и положения шва при сварке [13].

Величина $\alpha_н$ зависит от рода сварочного тока, его полярности и плотности, от свойств электродной проволоки и покрытий, а также марки флюса.

Для ручной дуговой сварки значения $\alpha_н$ по каждой марке электрода указываются в паспортах электродов.

При многопроходной сварке основное время

$$t_о = 60\gamma \left(\frac{F_1}{I_1\alpha_{н_1}} + \frac{F_2}{I_2\alpha_{н_2}} + \ldots + \frac{F_n}{I_n\alpha_{н_n}} \right) \text{ мин пог. м шва}, \quad (133)$$

где F_1, F_2, ..., F_n — площадь поперечного сечения шва при первом и всех последующих проходах в $мм^2$;

$I_{н_1}$, $I_{н_2}$, ..., I_n — сила тока при первом и всех последующих проходах в $а$;

$\alpha_{н_1}$, $\alpha_{н_2}$, ..., $\alpha_{н_n}$ — коэффициент наплавки при первом и всех последующих проходах в $г\,а \cdot ч$.

Основное время сварки 1 *пог. м* шва при однопроходной сварке

$$t_о = \frac{60\gamma F}{I \cdot \alpha_н}. \quad (134)$$

Вспомогательное время делится на время, связанное с выполнением свариваемых швов (время на осмотр и очистку кромок свариваемых элементов, смену электродов, очистку швов от шлака и брызг расплавленного металла, измерение швов и т. д.), и время, связанное со свариваемой конструкцией (время на установку, повороты, закрепление и снятие ее, перемещение сварщика с инструментом и т. д.). Вспомогательное время для типовых видов работ может быть принято по данным ЦБНИТ [12].

Вспомогательное время на осмотр и очистку кромок свариваемых элементов включается в норму на сварку в том случае, если указанная работа выполняется сварщиком.

Время на смену электродов, расходуемых на сварку 1 *пог. м* шва,

$$t_э = t_{э1} \frac{F}{V_{эф}} \text{ мин пог. м шва}, \quad (135)$$

где $t_{э1}$ — время на смену одного электрода в *мин*;

F — площадь поперечного сечения наплавляемого металла в $мм^2$;

$V_{эф}$ — эффективный объем одного электрода в $см^3$. Значения $V_{эф}$ могут быть приняты по данным справочника [13].

Время обслуживания рабочего места при ручной дуговой сварке составляет в среднем 3—5% от оперативного времени.

Время на отдых и естественные надобности при ручной сварке может быть принято в размере 5—15% от оперативного времени (дифференцированно значения этого времени приведены в трудах ЦБНИТ, [12]).

Подготовительно-заключительное время в серийном производстве принимают ≈ 2—4% от оперативного времени. В единичном производстве оно составляет значительную величину и колеблется в широком интервале. Фактическая величина его может быть определена по нормативам [12].

Норма штучного времени:

$$t_{шт} = [(t_э + t_{в1})\, l + t_{в2}]\, k_1 \text{ мин}, \quad (136)$$

где $t_{в1}$ — вспомогательное время, связанное со сварным швом, в *мин*;

l — длина шва в *м*;

$t_{в2}$ — вспомогательное время, связанное со сварной конструкцией и зависящее от типа оборудования, в *мин*;

k_1 — коэффициент, учитывающий время на обслуживание рабочего места, отдых и естественные надобности; изменяется в пределах 1,11—1,27.

Нормирование полуавтоматической и автоматической сварки под флюсом. Основное время определяют по формуле (131).

Для сварки однопроходных швов при заданной скорости сварки t_o может быть рассчитано по формуле

$$t_o = \frac{60 l_{on}}{v_{св}} \text{ мин}, \tag{137}$$

или

$$t_o = \frac{60}{v_{св}} \text{ мин/пог. м}, \tag{138}$$

где l_{on} — протяженность швов данного размера в узле, свариваемых за операцию, в *м*;

$v_{св}$ — скорость сварки шва данного размера в *м/ч*.

Для многопроходных швов

$$t_o = 60\left(\frac{1}{v_{св\,1}} + \frac{1}{v_{св\,2}} + \ldots + \frac{1}{v_{св\,n}}\right) \frac{\text{мин}}{\text{пог. м}}, \tag{139}$$

где $v_{св_1}$, $v_{св_2}$, $v_{св\,n}$ — скорость сварки соответствующего прохода в *м/ч*.

Скорость подачи электродной проволоки

$$N_э = \frac{4 J \alpha_n}{\pi d^2 \gamma} \text{ м/ч}, \tag{140}$$

где α_n — коэффициент плавления в *г/а·ч*;

d — диаметр проволоки в *мм*;

γ — плотность электродной проволоки в *г/см*^{3}.

При полуавтоматической и автоматической сварке под флюсом коэффициент плавления α_n ввиду малых потерь на угар и разбрызгивание может быть принят равным коэффициенту наплавки $\alpha_н$.

Площадь поперечного сечения наплавленного металла одного прохода

$$F_{пр} = F_э \frac{v_э}{N_{св}}, \tag{141}$$

где $F_э$ — площадь сечения электродной проволоки в *мм*^{2}.

Нормативы основного времени на 1 *пог. м* шва, коэффициент наплавки $\alpha_н$, сила сварочного тока I, скорость подачи электродной проволоки $v_э$ при автоматической и полуавтоматической сварке под флюсом приведены в трудах ЦБНИТ [12].

Вспомогательное время

$$t_в = t_{в.ш} + t_{в.п}, \tag{142}$$

где $t_{в.ш}$ и $t_{в.п}$ — вспомогательное время, зависящее соответственно от длины свариваемого шва и от сварной конструкции и типа оборудования.

Вспомогательное время $t_{в.ш}$ затрачивается на очистку свариваемых кромок от налета ржавчины, сборку флюса со шва и засыпку его в бункер; очистку шва от шлака после каждого прохода; осмотр, промеры и клеймение шва; смену кассеты с электродной проволокой; проверку правильности установки головки автомата по оси шва с прокаткой автомата вхолостую; откатку автомата в исходное положение при многопроходной сварке; переходы сварщика к началу шва при многопроходной сварке; подтягивание проводов; откусывание огарка проволоки. В зависимости от толщины свариваемого металла, вида соединений и сварных швов вспомогательное время $t_{в.ш}$ изменяется в широких пределах. При $\delta = 3 \div 50$ *мм* $t_{в.ш} = 1{,}2 \div 22{,}2$ *мин* на 1 *м* шва.

Вспомогательное время $t_{в.п}$ расходуется на установку головки полуавтомата в начале шва; перемещение сварщика с полуавтоматом (автоматом) и инструментом от шва к шву (при работе с переносными автоматами и полуавтоматами);

установку, поворот и снятие изделия; перемещение сварщика (при работе на стационарных автоматах); клеймение шва.

Нормативы вспомогательного времени $t_{в.\,п}$, $t_{в.\,н}$ по всем перечисленным видам работ на 1 *м* шва приведены в справочнике [13].

Время обслуживания рабочего места, затрачиваемое на регулирование заданного режима, на включение и выключение оборудования и механизмов, на уборку рабочего места и т. д. принимают по табл. 14.

Время на отдых и естественные надобности определяется так же, как и время обслуживания рабочего места, в процентах от оперативного времени по данным табл. 14 и 15.

14. Время обслуживания рабочего места, время на отдых и личные надобности при автоматической сварке и выполнении сварки в удобном положении

Оборудование (установка)	Время обслуживания рабочего места	Время на отдых и личные надобности	Коэффициент к оперативному времени
	в % от оперативного времени		
Стационарные установки	5	4	1.09
Переносные автоматы	6 8 9	5 10 12	1.11 1.18 1.21

15. Время обслуживания рабочего места, время на отдых и личные надобности при полуавтоматической сварке [12]

Условия выполнения сварки	Время на обслуживание рабочего места	Время на отдых и естественные надобности	Коэффициент к оперативному времени
	в % от оперативного времени		
В удобном положении	7	6	1.13
В неудобном положении	9	11	1.20
В закрытых свободных или полуоткрытых тесных объемах	12	18	1.30
Конструкции с применением переносных лестниц высотой 3 *м*	15	20	1.35
Крупногабаритных объемных и полуобъемных конструкций с применением специальной оснастки (постелей, кондукторов и кантователей)	18	27	1.45

Подготовительно-заключительное время в зависимости от типа производства, конструктивной и технологической сложности изготовляемых сварных конструкций может быть принято 2—4% от оперативного времени.

Нормирование электрошлаковой сварки

Основное время при электрошлаковой сварке затрачивается на расплавление кромок свариваемого изделия и присадочного металла, а также формирование шва свариваемого соединения:

$$t_o = \frac{60}{v_{св}} \text{ мин/м шва}, \qquad (143)$$

16. Вспомогательное время при электрошлаковой сварке [5, 13]

Наименование элементов	Время в мин/м	Наименование элементов	Время в мин/м
Зависящее от длины шва			
Зачистка свариваемых кромок от окалины, шлака, ржавчины вручную зубилом и щеткой	1,0	Зачистка шва от шлака, глины, асбеста после сварки (с одной стороны) вручную зубилом и щеткой, осмотр шва	0,4
Обмазка медных подкладок огнеупорной глиной, асбестом:		Передвижение аппарата в исходное положение для сварки прямолинейных швов (сверху вниз), корректировка расположения мундштука в зазоре по длине шва	1,0
а) в удобном положении	2,0		
б) в неудобном »	3,5		
Связанное с изделием и работой оборудования			
Установка направляющей рейки с аппаратом на изделие и снятие их после сварки	12,0	Зарядка аппарата (мундштука) электродной проволокой, поперечная корректировка мундштука по зазору	2,5
Установка аппарата типа А-340 на изделие, крепление и снятие его после сварки	5,0–9,0	Установка концевика возвратно-поступательного движения по зазору	2,2
Установка кассеты весом до 250 кг на стойки стенда и снятие их:		Установка и крепление медных подкладок для сварки прямолинейных швов, подключение к ним шлангов с охлаждающей водой, снятие их после сварки при длине подкладки:	
на полу	2,0	до 1 м	5,0
на балконе краном	4,5	до 3 м из двух частей	8,0
Установка токоподвода к изделию	2,0–3,5	Установка кармана и двух выходных планок, прихватка их; обмазка глиной и засыпка флюсом с металлической стружкой перед сваркой	7,5
Установка, крепление и снятие, стойки, штанги и внутреннего ползуна при сварке кольцевых швов	50,0	Установка ползуна на подвеску, поджатие его к изделию, обмазка глиной, снятие ползуна после сварки	2,5
Установка и крепление пластинчатого электрода	8,0		
Установка и крепление плавящегося мундштука в зазор с постановкой изолятора по длине шва и гибкого шланга с проволокой; снятие шланга после сварки при длине мундштука:			
до 1 м	12,0	Опробование схемы работы установки в соответствии с инструкцией	7,0
до 2 »	15,0		
св. 2 »	20,0		

17. Подготовительно-заключительное время при электрошлаковой сварке [12]

Наименование элементов	Время в мин/м	Наименование элементов	Время в мин/м
Получение производственного задания и инструктаж	6,0	Установка скорости возвратно-поступательного (поперечного) движения мундштука путем перестановки сменных шестерен	3,3
Ознакомление с работой	5,0	Правка мундштука перед установкой на аппарат	2,5
Получение и сдача инструмента	4,0	Установка мундштука на аппарат и снятие с него	3,1
Осмотр и подготовка стенда к работе	5,0	Смена (перестановка) на аппарате кронштейна подвески ползунов	18,0
Установка скорости сварки или скорости подачи электрода путем перестановки пары сменных шестерен	4,2	Сдача работы	2,0

где $v_{св}$ — скорость сварки с учетом конструктивной характеристики шва и вида электродов в *м/ч*.

Скорость сварки плавящимся мундштуком (пластинчато-проволочными электродами)

$$v_{св.м} = \frac{7{,}06 n_{эл} v_{эл}}{F_{э.п}}, \qquad (144)$$

где $F_{э.п}$ — площадь поперечного сечения шва, наплавляемая электродной проволокой, в *мм*^{2},

$$F_{э.п} = F_{об} - F_{п.т}. \qquad (145)$$

где $F_{об}$ — общая площадь поперечного сечения наплавленного металла шва в *мм*^{2};

$F_{п.т}$ — площадь поперечного сечения шва, наплавляемая пластинами и трубками, в *мм*^{2}.

Скорость сварки прямолинейных и кольцевых стыковых швов проволочными электродами, а также скорость сварки стыковых прямоугольных сечений пластинчатыми электродами определяют по формулам, приведенным в справочнике [13]. Основное время электрошлаковой сварки определенных толщин металла, свариваемого проволочными, пластинчатыми и пластинчато-проволочными электродами (плавящимися мундштуками), приведено в трудах ЦБНИТ [12] и справочнике [13].

Вспомогательное и подготовительно-заключительное время, а также время обслуживания рабочего места при электрошлаковой сварке приведено в табл. 16—18.

18. Время на обслуживание рабочего места, отдых и естественные надобности в % к оперативному времени [13]

Вид сварного шва и свариваемых сечений	Условия выполнения работы	Время			Коэффициент к оперативному времени
		на обслуживание рабочего места	на отдых и естественные надобности	Всего	
Прямолинейные швы проволочными электродами	В удобном положении	4	6	10	1,10
	В неудобном положении (затруднен доступ к свариваемому шву)	6	8	14	1,14
	С балкона, лестниц	8	10	18	1,18
	С предварительным подогревом до 150—250° С	10	12	22	1,22
Кольцевые швы проволочными электродами	Без предварительного подогрева	7	8	15	1,15
	С предварительным подогревом до 150—250° С	12	15	27	1,27
Прямоугольные сечения пластинчатыми электродами	Без предварительного подогрева	5	7	12	1,12
Прямоугольные сечения плавящимся мундштуком	Без предварительного подогрева изделия	8	9	17	1,17
	В неудобном положении (затруднен доступ к свариваемому шву) и на высоте св. 2 *м* С предварительным подогревом до 150—250° С	10	12	22	1,22

Нормирование расхода электродов, электродной проволоки, флюса и электроэнергии при дуговой сварке

Расход электродов на 1 *м* шва по формуле

$$G_э = k_э G \ г, \tag{146}$$

где G — вес наплавленного металла в *г*;

$k_э$ — коэффициент расхода электродов.

Коэффициент $k_э$ учитывает потери электродов на угар, разбрызгивание и огарки и вес покрытия электродов. Величина этого коэффициента зависит от марки применяемых электродов и режима сварки [12]:

$$k_э = k_{у.р} k_{ог} k_{покр}, \tag{147}$$

где $k_{у.р}$ — коэффициент, учитывающий потери металла на угар и разбрызгивание;

$k_{ог}$ — коэффициент потерь на огарки, зависящий от конструкции электрододержателя и силы сварочного тока, не более 7—10% от веса электродного стержня;

$k_{покр}$ — коэффициент, учитывающий вес покрытия по паспорту электрода [13].

Расход электродной проволоки при полуавтоматической и автоматической сварке под флюсом

$$G_{э.п} = G k_п, \tag{148}$$

где $k_п$ — коэффициент, учитывающий неизбежные потери электродной проволоки при наладке оборудования, неиспользование концов проволоки в бухте ($k_п = 1{,}03$).

Расход флюса определяют опытным путем; для ориентировочных расчетов принимают 0,8—1,13 от расхода электродной проволоки.

Расход электроэнергии на 1 *м* шва при ручной дуговой сварке $A_{э.п.м}$,

$$A_{э.п.м} = A_э G_п, \tag{149}$$

где $G_п$ — вес наплавленного металла на 1 *м* шва в *кг*;

$A_э$ — удельный расход электроэнергии без учета потерь в силовой сети завода и на трансформаторной подстанции в *квт · ч кг*

$$A_э = \frac{\frac{U_д I_{св}}{\eta 1000} t + W_0 (T - t)}{G}, \tag{150}$$

где $U_д$ — напряжение на дуге при сварке в *в*;

$I_{св}$ — сила сварочного тока в *а*;

η — к. п. д. сварочного поста;

T — полное время сварки в *ч*;

t — время горения дуги за время T в *ч*;

G — вес наплавленного металла за время T в *кг*;

W_0 — мощность холостого хода сварочного трансформатора или генератора в *квт*.

Удельный расход электроэнергии определяется также по формуле

$$A_э = \frac{\frac{W_д}{\eta} \cdot \frac{1}{k_{исп}} - W_0}{0{,}001 I \alpha_н}, \tag{151}$$

где $k_{исп}$ — коэффициент использования сварочного поста, равный отношению времени горения дуги за смену к продолжительности смены;

$\alpha_н$ — коэффициент наплавки в *г а-ч*;

$W_д$ — мощность сварочной дуги в *квт*,

$$W_д = 0{,}001 U_д I. \tag{152}$$

С учетом потерь в сети и на подстанциях при укрупненных расчетах $A_э$ может быть принят равным для однопостового агрегата 6—7 *квт·ч/кг*, для многопостовой сварочной машины постоянного тока 8—11 *квт·ч/кг*, для однопостового однофазного трансформатора (без осциллятора) 3—5 *квт·ч/кг*, при сварке на переменном токе 3—4 *квт·ч/кг* и при сварке на постоянном токе 6—7 *квт·ч/кг*.

Расход электроэнергии на 1 *м* шва при полуавтоматической и автоматической сварке (без дополнительных затрат электроэнергии на вращение изделия, передвижение трактора и т. д.) определяют по формуле

$$A_{э.н.м} = \frac{W_д}{\eta v_{св}}, \tag{153}$$

где η — к. п. д. установки, принимаемый в зависимости от ее типа;

$v_{св}$ — скорость сварки в *м/ч*.

Нормирование контактной электросварки

Норма штучного времени при контактной сварке может быть рассчитана по формуле

$$t_{шт} = t_{опер}\left(1 + \frac{a + b}{100}\right). \tag{154}$$

Основное время точечной сварки малоуглеродистой стали ориентировочно можно принимать по табл. 19.

Основное время шовной сварки

$$t_{о.ш} = \frac{l_ш}{v}, \tag{155}$$

где $l_ш$ — длина шва в *м*;

v — скорость сварки в *м/мин*.

Это время при сварке малоуглеродистой стали может быть определено ориентировочно по табл. 20.

Основное время стыковой сварки зависит от способа ее выполнения, площади поперечного сечения стыка, свойств и конфигурации свариваемого материала и режима сварки. Ориентировочно это время при сварке оплавлением малоуглеродистой стали может быть принято по табл. 21.

Вспомогательное время расходуется:

при точечной сварке на стационарных машинах — на сборку деталей в приспособлениях по рискам, кромкам, отверстию и шаблону; установку деталей в электродах машины; включение машины; перемещение и снятие изделия;

при точечной сварке переносными машинами — на подноску и установку машины в начале сварки; включение машины, перемещение ее для сварки последующей точки и возвращение в исходное положение;

при шовной сварке — на подноску детали и установку ее на нижний ролик; включение и выключение машины; поднятие верхнего ролика; снятие и перемещение изделия;

при стыковой сварке — на подноску деталей и установку их в губки машины; опускание защитного щитка; раскрепление губок; снятие и перемещение изделия.

Время, затрачиваемое на все перечисленные выше работы, определяется по нормативам [12, 13].

19. Ориентировочные нормативы основного времени точечной сварки малоуглеродистой стали [5]

Тип сварочной машины	Время на одну точку в *мин* при суммарной толщине свариваемых листов в *мм*											
	1,0	1,5	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
МТП-100	—	—	0,013	0,014	0,015	0,018	0,020	0,023	0,26	—	—	—
МТП-150	—	—	—	—	0,015	0,018	0,020	0,022	0,24	0,26	0,028	—
МТП-200	—	—	—	—	0,015	0,018	0,020	0,021	0,23	0,25	0,027	0,030
Сварочные клещи с пневмоуправлением при мощности:												
50 *ква*	0,012	0,015	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
100 *ква*	—	0,015	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
150 *ква*	—	—	0,020	—	—	—	—	—	—	—	—	—

20. Ориентировочные нормативы основного времени шовной сварки малоуглеродистой стали [5]

Мощность машины в *ква*	Суммарная толщина металла в *мм*	Скорость сварки в *м/мин*	Норма времени в *мин/м*	Мощность машины в *ква*	Суммарная толщина металла в *мм*	Скорость сварки в *м/мин*	Норма времени в *мин/м*
60	1,6	1,2	0,83	150	2,0	1,75	0,57
	2,0	0,8	1,25		3,0	1,5	0,66
					4,0	0,9	1,12
100	2,0	1,0	1,00	200	2,0	2,5	0,4
	3,0	0,8	1,25		3,0	1,75	0,57
					4,0	1,0	1,0

21. Ориентировочные нормативы основного времени стыковой сварки оплавлением малоуглеродистой стали

Площадь сечения стыка в *мм*²	Номинальная мощность машины в *ква*	Норма времени на стык в *мин* при сварке			
		с подогревом детали		без подогрева детали	
		сплошного сечения	с развитым периметром	сплошного сечения	с развитым периметром
30	10	0,05	—	—	—
50	10	0,06	—	0,16	—
80	10	0,08	—	0,18	—
120	30	0,10	—	0,20	—
150	30	0,12	—	0,23	—
200	30	0,15	—	0,25	—
250	60	0,17	—	0,28	—
300	60	0,19	0,13	0,31	0,21
400	60	0,21	0,14	0,34	0,24
500	100	0,25	0,17	0,40	0,29
600	100	0,28	0,20	0,46	0,34
700	100	0,31	0,22	0,52	0,38
800	100	0,34	0,24	0,58	0,46
1000	250	0,39	0,28	0,72	0,53
1200	250	—	0,34	—	0,60
2000	350	—	—	—	0,68

Время обслуживания рабочего места устанавливают по данным фотографии рабочего дня, а при укрупненных расчетах в виде коэффициентов к оперативному времени.

Нормирование ацетилено-кислородной сварки

Основное время при ацетилено-кислородной сварке (t_o) зависит от толщины свариваемого металла, вида соединения и подготовки свариваемых кромок, режима и способа сварки:

$$t_o = \frac{G}{a_н} = \frac{FV}{a_н} \text{ мин на } м \text{ шва}, \tag{156}$$

где G — вес наплавленного металла 1 *м* шва в *г*;
$a_н$ — коэффициент наплавки в *г/мин*;
F — площадь поперечного сечения шва в *мм*²;
V — плотность наплавленного металла в *г/см*³.
Основное время сварки шва заданного размера

$$t_{o.шв} = t_o l + t_p n_p, \tag{157}$$

где t_o — основное время сварки 1 *пог. м* шва в *мин* [13];
l — длина свариваемого шва в *м*;
t_p — время на один разогрев свариваемых кромок в *мин* [13].
n_p — число разогревов.

Вспомогательное время подразделяется на время, связанное со свариваемым швом (осмотр и очистка свариваемых кромок, смена присадочных прутков, осмотр, очистка и измерение шва) и со свариваемым изделием, состоящее из элементов работы, аналогичных ручной дуговой электросварке. Поэтому при расчете этого времени можно воспользоваться нормативами на вспомогательное время, связанное со свариваемым изделием, при ручной дуговой сварке. Вспомогательное время на осмотр, очистку и измерение шва принимают в размере 0,6 *мин* на 1 *м* шва.

Вспомогательное время на смену прутков при сварке 1 *м* шва заданного сечения

$$t_{см} = \frac{F}{t_{см\,уд}} \text{ мин/м}, \tag{158}$$

$$t_{см\,уд} = \frac{t'_{см}}{V_{эф}} = \frac{(t_{пр}+t_р)\cdot 4\cdot 1000}{\pi d_{пр}^2 l_п 0{,}9}, \tag{159}$$

$$V_{эф} = \frac{\pi d_{пр}^2 l_п 0{,}9}{4\cdot 1000} \text{ см}^3, \tag{160}$$

где $t_{см\,уд}$ — время на смену прутка, отнесенное к 1 $см^3$ наплавленного металла шва, в $мин/см^3$;

$t'_{см}$ — время на смену одного прутка в *мин*;

$t_{пр}$ — время на приварку одного прутка к огарку;

$t_р$ — время на один разогрев шва в *мин*;

$V_{эф}$ — эффективный объем одного прутка с учетом потерь на угар и разбрызгивание (последние равны 10%);

$d_{пр}$ — диаметр присадочной проволоки в *мм*;

$l_п$ — длина присадочного прутка в *мм* ($l_п \approx 500$ *мм*).

Значения указанных величин при сварке металла толщиной 0,8—6 *мм* приведены в табл. 22.

22. Вспомогательное время на смену присадочного прутка, отнесенное к 1 $см^3$ наплавленного металла [13]

Обозначение величин	Толщина металла в *мм*							
	0,8	1	1,5	2	3	4	5	6
$d_{пр}$ в *мм*	1	1,5	1,5	2	3	3	4	4
$t_{пр}$ в *мин*	0,1	0,1	0,1	0,15	0,15	0,15	0,2	0,2
$t_р$ в *мин*	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5
$t_{см}$ в *мин*	0,2	0,2	0,3	0,35	0,35	0,45	0,6	0,7
$V_{эф}$ в $см^3$	0,35	0,8	0,8	1,4	3,2	3,2	5,6	5,6
$t_{см\,уд}$ в *мин*	0,57	0,25	0,37	0,25	0,11	0,14	0,11	0,12

Время обслуживания рабочего места при централизованной подаче газов от магистрали составляет 3—4% от оперативного времени. При питании сварочного поста от баллона затраты этого времени увеличиваются и зависят от расхода газа ($t_{обс}$ изменяется в пределах 5—12% от $t_{опер}$).

Время на отдых в единичном и мелкосерийном производстве составляет ≈ 6—10%, а время на естественные надобности 2% от оперативного времени.

Подготовительно-заключительное время составляет примерно 2% от оперативного времени.

Норма штучного времени при ацетилено-кислородной сварке

$$t_{шт} = [(t_о + t_{в.с.ш})\,l + t_{рп} + t_{в.изд}]\,k_1, \tag{161}$$

где $t_{в.\,с.ш}$ — вспомогательное время, связанное со свариваемым швом, в *мин*;

l — длина шва в *м*;

$t_{в.\,изд}$ — вспомогательное время, связанное со свариваемым изделием, в *мин*;

k_1 — коэффициент, учитывающий затраты времени на обслуживание рабочего места, перерывы на отдых и естественные надобности ($k_1 \approx 1{,}11 \div 1{,}24$).

Нормирование газовой резки

Основное время, в течение которого осуществляется воздействие струи режущего кислорода и подогревательного пламени резака на металл,

$$t_{o.газ} = t_1 l + t_2 n_п \text{ мин}, \tag{162}$$

где t_1 — основное время резки на 1 *м* реза в *мин*;
l — расчетная длина реза на одну деталь в *м*;
t_2 — основное время на один подогрев в начале реза в *мин*;
$n_п$ — число подогревов в начале резки на одну деталь;

$$t_1 = \frac{1000}{v_p} \text{ мин/м}, \tag{163}$$

где v_p — скорость резки в *мм/мин*, устанавливаемая по паспортным данным оборудования и аппаратуры.

Вспомогательное время, зависящее от длины реза, затрачивается на осмотр и очистку металла вдоль линии реза, регулировку движения резака по отношению к линии реза, осмотр и проверку качества обрезаемых кромок, зачистку кромок от шлака, а время, связанное с изделием и работой оборудования, — на установку, повороты и снятие изделия; переходы газорезчика: подвод суппорта с резаком и установку резака в исходное положение; установку и перестановку полуавтомата, копирного пальца, направляющей линейки; передвижение и выверку копира; установку резака на заданный режим и клеймение изделия.

Основное время, режимы для различных видов ручной и машинной газовой резки сталей, скорости резки, поправочные коэффициенты к основному времени резки, время на подогрев в начале реза, а также вспомогательное время приведены в справочнике [13].

Время обслуживания рабочего места в зависимости от вида оборудования, условий выполнения работы, толщины разрезаемого металла принимают при машинной резке 4—6% и при ручной 3—12% от оперативного времени.

Время перерывов на отдых и естественные надобности при машинной резке составляет 5—6% и при ручной 7—10% от оперативного времени.

Подготовительно-заключительное время при единичном и мелкосерийном производстве по элементам работ приведено в табл. 23.

23. Подготовительно-заключительное время при единичном и мелкосерийном производстве по элементам работ

Наименование элементов	Время в *мин* при резке	
	механизированной	ручной
Получение производственного задания и инструктаж	5,0	5,0
Ознакомление с работой	3,0	3,0
Получение и сдача инструмента и приспособлений	3,0	2,0
Установка и снятие копира, шаблона	5,2	–
Установка и снятие циркуля	–	1,0
Подключение шлангов к резаку, магистрали, баллонам	3,0	3,0
Отключение шлангов от магистрали, баллонов и уборка их	3,0	3,0
Установка давления газов	0,8	0,8
Установка скорости резки	0,1	—
Подготовка резака типа УР, РМР	0,8	0,8
Подготовка керосинореза к работе	—	1,5
Установка и снятие катков к резаку	—	0,25
Сдача работы	2,0	2,0

Подготовительно заключительное время в серийном и крупносерийном производстве составляет 2% от оперативного времени.

Норма штучного времени при газовой резке

$$t_{шт.газ} = [(t_1 + t_{в.р})\,l + t_{2п} + t_{в.и.о}]\,k_1 \text{ мин}, \quad (164)$$

или

$$t_{шт.газ} = [(t_1 + t_{в.р})\,l + t_{2п} + t_{в.изд}]\,k_2 \text{ мин}, \quad (165)$$

где $t_{в.р}$ — вспомогательное время, зависящее от длины реза, на 1 *м* реза в *мин*;

$t_{в.и.о}$ — вспомогательное время, связанное с изделием и работой оборудования, на 1 деталь в *мин*;

k_1 — коэффициент, учитывающий время на обслуживание рабочего места, отдых и естественные надобности, при машинной резке $k_1 = 1{,}09 \div 1{,}16$, при ручной $k_1 = 1{,}11 \div 1{,}22$ [13].

k_2 — коэффициент, учитывающий те же затраты времени, что и k_1, а также подготовительно-заключительное время, при ручной резке k_2 равен 1,12—1,24, при машинной $k_2 = 1{,}12 \div 1{,}19$ [13].

ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА, ЗАРАБОТНОЙ ПЛАТЫ И ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СТИМУЛИРОВАНИЕ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В сварочных цехах применяется индивидуальный и бригадный способ организации труда. Индивидуальный способ выполнения работ целесообразен, если возможно их разделить на части, каждую из которых можно спланировать и учесть.

Бригады создаются в случаях изготовления трудоемких сварных конструкций с применением сложного оборудования; выполнения сложных работ, расчленение которых на индивидуальные задания невозможно или нецелесообразно; необходимости соблюдения взаимосвязи и последовательности выполнения операций (сборочно-сварочные бригады); непрерывного графика работы, когда круглосуточные «сквозные» бригады передают работу на ходу от смены к смене.

Методы разделения труда в сварочном производстве должны обеспечивать такое распределение работ между исполнителями, при котором сварщики полностью освобождаются от операций по подготовке и обслуживанию рабочего места, достигается четкая производственная взаимосвязь между всеми работниками на всех стадиях процесса изготовления сварных конструкций.

Совмещение профессий работниками сварочных цехов должно осуществляться прежде всего в направлении создания комплексных бригад. Это диктуется систематическим расширением области применения процессов сварки при изготовлении деталей и узлов различных машин и наличием большого количества сварочных цехов с широкой и переменной номенклатурой (40—60% от общего числа сварочных цехов машиностроительных заводов).

На заготовительных и обрабатывающих участках (пролетах) совмещение профессий может осуществляться в форме многостаночного или многоагрегатного обслуживания при выполнении рабочим на каждой единице оборудования разных технологических операций. В условиях серийного и массового производства при наличии поточных линий и предметно-замкнутых участков совмещение профессий достигается путем овладения рабочими несколькими профессиями и специальностями. Совмещение профессий при производстве сварных конструкций является одним из эффективных путей повышения производительности труда, уплотнения рабочего дня рабочих и уменьшения их численного состава, а также устранения монотонности труда рабочих операторов на поточных линиях.

Рационализация трудовых процессов при изготовлении сварных конструкций должна осуществляться путем целесообразного рас-

членения процессов труда на составные элементы и наивыгоднейшего их сочетания. В сварочных цехах на ручные приемы труда затрачивается до 60% времени. За счет совершенствования ручных приемов, как показал опыт ряда сварочных цехов, в 1,5—2 раза сокращается вспомогательное время. Необходимо стремиться к такому размещению оборудования и средств управления им, а также заготовок, деталей, инструментов, приспособлений и других предметов, при котором рабочий выполнял бы закрепленную за ним работу с минимальным количеством трудовых движений. Во всех случаях работа должна выполняться без особых напряжений рук и корпуса рабочего, т. е. в наиболее удобном для него положении. Наименьшая утомляемость рабочих сборщиков и сварщиков наблюдается при применении стендов, поворотных устройств, кантователей и манипуляторов.

Организация рабочих мест в сварочных цехах зависит от уровня их специализации и механизации, количества единиц оборудования и технологической оснастки, имеющихся на рабочем месте; габаритных размеров, веса и характера технологии изготовления сварных конструкций и их элементов. Организация специализированных рабочих мест, оснащенных механизированным и автоматизированным оборудованием, освобождающим частично или в значительной мере рабочего от выполнения основных, вспомогательных и транспортных операций, должна предусматривать прежде всего создание возможностей и удобств для правильного управления оборудованием (своевременное регулирование работы механизмов, контроль за их работой и т. д.). При этом необходимо учитывать особенности конструкций машин и сложность управления ими, стабильность технологических режимов и возможности рабочего.

При работе вручную (или частичной механизации работ) главное внимание должно быть уделено удобству трудовых движений рабочего, рационализации приемов труда, устранению лишних движений рабочего путем применения наиболее целесообразных и удобных способов выполнения сборочно-сварочных и других операций.

Важными элементами организации рабочих мест являются рациональная их планировка и систематическое обслуживание, предусматривающие кратчайшие пути перемещения изготовляемых деталей (узлов), продуманное расположение в зоне рабочего места заготовок, инструмента, приспособлений и транспортных устройств, а также своевременное проведение ремонта оборудования, обеспечение рабочих мест документацией, материалами, заготовками, электроэнергией и т. п.

Рабочие места, предназначаемые для сборки и сварки крупногабаритных тяжелых узлов (изделий), должны быть оборудованы местными кран-балками, подъемными приспособлениями, кантователями. При сварке изделий небольших габаритов рабочие места сварщиков оборудуются специальными кабинами (площадью 4—5 $м^2$); при сварке громоздких изделий на сборочных площадках рабочие места сварщиков ограждаются переносными щитами или ширмами.

Не менее важным мероприятием при организации рабочих мест является также поддержание высокой производственной культуры. Следует иметь в виду, что рациональное освещение рабочих мест позволяет увеличить производительность труда рабочих в среднем на 10—15%; устранение вредных шумов на 5—8%; поддержание чистоты и порядка на рабочем месте, наличие хорошей вентиляции на 3—6%. Непременным условием рациональной организации рабочих мест сварочных цехов является обеспечение охраны труда рабочих.

Показатели производительности труда в сварочных цехах

В общем виде производительность труда определяется по формулам

$$П_т = \frac{B}{k_{сп}}, \tag{166}$$

$$П_т = \frac{B}{Н_{т.ч-ч}}, \tag{167}$$

где B — объем валовой продукции в планируемом году в оптовых ценах;
$k_{сп}$ — среднесписочное число работающих;
$H_{т.\,н\text{-}ч}$ — трудо-нормочасы (или человеко-часы), затраченные на годовой объем производства.

Эти показатели производительности труда отражают качество работы всех категорий работающих и используются обычно для регулирования их численности. Рост производительности труда планируют по выработке на одного производственного рабочего.

Следует отметить, что валовая продукция в оптовых ценах, используемая в формулах (167) и (168), изменяется с течением времени ввиду сдвигов в ассортименте изготовляемой продукции в сторону материалоемких сварных конструкций, а также возрастания или уменьшения удельного веса кооперированных поставок в общем объеме производства и т. д. Эти изменения могут привести к искажению фактически выполненного объема работ, а следовательно, и показателей производительности труда. Более точным показателем производительности труда, который может быть использован для оценки работы сварочных цехов различных машиностроительных заводов, является объем продукции, исчисленный по нормативной стоимости обработки $B_{нор.\,ст}$, отнесенный к среднесписочному составу работающих:

$$П_т = \frac{B_{нор.\,ст}}{k_{сп}}; \tag{168}$$

$$B_{нор.\,ст} = Ц_о - (M + K_{пост} + П_{пр}), \tag{169}$$

где $Ц_о$ — оптовая цена в руб.;
$K_{пост}$ — кооперированные поставки (покупные полуфабрикаты и комплектующие детали) в руб.;
$П_{пр}$ — прибыль в руб.;
M — стоимость основных материалов в руб.

Применительно к сварочным цехам, перешедшим на новые условия работы, формула (169) приобретает следующий вид:

$$B_{нор.\,ст.\,с.\,к} = Ц_{р.\,ц} - (M + K_{пост} + П_{пр.\,ц}), \tag{170}$$

где $B_{нор.\,ст.\,с.\,к}$ — нормативная стоимость изготовления сварных конструкций сварочным цехом;
$Ц_{р.\,ц}$ — внутризаводская расчетная цена на продукцию сварочного цеха;
$П_{пр.\,ц}$ — прибыль (накопления) цеха за счет снижения себестоимости изготовления сварных конструкций.

Оплата труда

В сварочных цехах машиностроительных заводов применяются сдельная и повременная системы оплаты труда, дополняемые системой премирования, а в отдельных случаях — прогрессивно-сдельная и косвенно-сдельная оплата.

Преобладающей системой оплаты труда основных производственных рабочих на заготовительных, обрабатывающих и сборочно-сварочных операциях является прямая сдельная оплата, при которой расчет заработной платы производится по формуле

$$З_{п.\,с} = \sum_{1}^{m} N_i p_i, \tag{171}$$

где N_i — количество i продукции, изготовленной рабочим (количество заготовок, деталей и узлов i-го типоразмера, или же количество погонных метров i-го типа сварного шва данной марки и толщины металла, полученного определенным способом сварки);

m — количество типоразмеров заготовок, деталей, узлов и типов сварных швов;

p_i — расценка за единицу i-й продукции (штуку, деталь-операцию, погонный метр сварного шва, тонну и т. п.) в руб. или коп.

В общем виде расценка

$$p = ч_т t_{шт}, \tag{172}$$

где $ч_т$ — часовая тарифная ставка рабочего данного разряда в руб. или коп. (см. табл. 11);

$t_{шт}$ — норма времени на единицу продукции в *ч*, или

$$p = \frac{ч_т}{Н_{выр}}, \tag{173}$$

где $Н_{выр}$ — норма выработки за 1 *ч* в штуках, метрах сварного шва и т. п.

Процент выполнения сдельных норм (по отработанному времени)

$$в_в = \frac{N_{н.ч}}{F_{ч.ч}} 100, \tag{174}$$

где $N_{н.ч}$ — объем выполненных работ в нормочасах за месяц;

$F_{ч.ч}$ — отработанное время в человеко-часах за этот же период.

Процент выполнения сдельных норм (по заработной плате)

$$в_з = \frac{З_с}{З_т} \cdot 100, \tag{175}$$

где $З_с$ — сдельная заработная плата за изготовленную в течение месяца продукцию в руб.;

$З_т$ — месячный расчетный заработок рабочего по тарифу в руб.

Процент выполнения планового задания

$$в_{пл} = \frac{N_{фак}}{N_{пл}} \cdot 100, \tag{176}$$

где $N_{фак}$ $N_{пл}$ — фактически выполненный и запланированный объем работ в нормо-часах.

При сдельно-прогрессивной оплате труда заработная плата

$$З_{с.п} = N_{пл} p_o + N_{св} p_{п.н}, \tag{177}$$

где $N_{пл}$ — объем работ, выполненных в пределах нормы;

p_o — основная сдельная расценка;

$N_{св}$ — объем работ, выполненных сверх нормы;

$p_{п.н}$ — повышенная (прогрессивно нарастающая) расценка.

Эта система оплаты труда экономически оправдывает себя при условии $\Delta З \leqslant Э_{усл}$, где $\Delta З$ — увеличение заработной платы в связи с применением повышенных расценок; $Э_{усл}$ — экономия по условнопостоянной части накладных расходов в результате увеличения выпуска продукции.

При коллективно-сдельной оплате, применяемой при бригадной организации труда, заработная плата каждого члена бригады

$$З_к = \frac{\sum_1^m N_n p_n}{\sum_1^a F_i k_i} F_i k_i, \tag{178}$$

где m — количество видов работ, выполненных бригадой;

N_n — объем работ n-го вида в нормочасах;

p_n — расценка за единицу работы (*шт*, *т* и т. п.) *n*-го вида;
a — количество разрядов;
F_i — количество часов, отработанных рабочим *i*-го разряда;
k_i — тарифный коэффициент *i*-го разряда (или часовая тарифная ставка).

При повременной системе оплаты труда заработная плата

$$З_{пов} = ч_т F_o, \qquad (179)$$

где F_o — количество часов, отработанных рабочим определенного разряда за *отчетный период*;

$ч_т$ — часовая тарифная ставка рабочего этого разряда.

Наиболее целесообразным является применение в сварочных цехах не простой повременной, а повременно-премиальной оплаты труда. Ориентировочные данные о размере выплачиваемых премий приведены в табл. 24.

24. Показатели премирования и ориентировочный размер премий

Показатели премирования	Рабочие	Размер премий в % от тарифной ставки
Высококачественное и досрочное выполнение работ	Экспериментальных и опытных производств	40
Высококачественное выполнение работ и планового задания в установленный срок	Операторы поточных линий, разметочных участков, участков термической обработки и т. д.	25
Высококачественное выполнение работ в установленный срок	Монтажники оборудования	20–40
Своевременное выполнение плановых заданий в соответствии с требованиями технических условий в результате высококачественного и своевременного ремонта, настройки и наладки оборудования	Ремонтники и наладчики	20–30
Бесперебойное обслуживание объектов и поддержание в рабочем состоянии подъемно-транспортных средств, технологического и энергетического оборудования	По эксплуатации и обслуживанию оборудования	20
По особым положениям премируются	Контролеры качества продукции и другие вспомогательные рабочие	10–20

В условиях новой системы планирования и экономического стимулирования производства эффективной формой оплаты труда является повременная оплата бригады с коллективной премией за выпуск «конечной» продукции. При этой форме оплаты количественный состав бригады обычно сокращается, а размер общей премии сохраняется. Это стимулирует уменьшение количества вспомогательных рабочих и позволяет получить экономию по заработной плате.

Оплата брака при сдельной оплате труда производится в случае, если брак возник не по вине рабочего. Окончательный брак оплачивается в размере $\frac{2}{3}$ тарифной ставки повременщика соответствующего разряда, а исправимый — по пониженным расценкам. Если брак возник вследствие плохого качества материала и обнаружен после приемки продукции работниками ОТК, оплата производится по полной сдельной расценке. Брак, возникший в период освоения новых изделий, оплачивается по полной тарифной ставке повременщика. За брак по вине рабочего удерживается часть заработной платы его (до 25%) для возмещения потерь от брака.

Простои не по вине рабочего при сдельной оплате оплачиваются в размере до 50% тарифной ставки повременщика соответствующего разряда.

Экономическое стимулирование

Экономическое стимулирование является одним из важных условий достижения высоких показателей заводов-центросваров и сварочных цехов по объему реализуемой продукции [1] и по уровню рентабельности, которая равна отношению прибыли к величине производственных фондов. В свою очередь, от величины указанных показателей зависит размер поощрительных фондов.

Фонд материального поощрения образуется за счет отчислений от прибыли по определенным нормативам, которые выражают в процентах к фонду заработной платы (около 20% от фонда заработной платы ИТР и служащих плюс 1,5% от всего фонда заработной платы производственного персонала [2]). Практика промышленных предприятий показала, что указанные нормативы целесообразно выражать в долях фонда заработной платы за каждый процент увеличения объема реализации и за каждый процент уровня рентабельности, предусмотренного планом.

Фонд материального поощрения предназначается для выплаты ежемесячных премий ИТР и служащим; до 30% этого фонда может использоваться для ежегодных вознаграждений рабочих, ИТР и служащих за производственные достижения с учетом стажа их работы на данном заводе.

Премирование рабочих сварочных цехов производится главным образом на основе применения сдельно-премиальной [3] и повременно-премиальной (табл. 24) систем оплаты труда.

Однако при образовании фонда материального поощрения за счет прибыли становится возможным определенное увеличение размера премии рабочим, а также выплата им премии за улучшение качества сварных конструкций, экономию электроэнергии и т. д. из средств этого фонда.

В первые периоды работы сварочных цехов в новых условиях планирования и экономического стимулирования ввиду отсутствия отработанных нормативов отчислений от прибыли в поощрительные фонды, а также ряда сравнимых данных, в качестве временного фондообразующего показателя вместо прибыли может быть принят уровень рентабельности продукции по отношению к ее себестоимости. Расчет отчислений в фонд материального поощрения применительно к этому случаю приведен в табл. 25.

Отчисления от прибыли в фонд материального поощрения сварочных цехов производят ежеквартально по итогам работы за период с начала года или с момента начала работы по новой системе. Если отдельные планируемые показатели не выполняются, то размер отчислений в фонд материального поощрения уменьшается (по установленным на заводе нормативам). При перевыполнении показателей производят дополнительные отчисления по нормативным показателям, уменьшенным (по сравнению с установленными) на 30—40%. Минимальный размер отчислений не должен быть ниже 40% от установленного по плану.

К фондам экономического стимулирования относятся также фонд на социально-культурные мероприятия и жилищное строительство (образуемый в размере ~2% от фонда заработной платы завода) и фонд технического развития производства (предназначаемый для осуществления механизации и автоматизации производства сварных конструкций, улучшения и облегчения условий труда).

---

[1] Если заводу не планируется значительное ежегодное увеличение объема выпуска сварных конструкций, оценка работы его производится не по приросту реализуемой продукции, а по увеличению прибыли против прошлого года.

[2] В период перехода на новые условия работы нормативы отчислений в поощрительные фонды на заводах не одинаковы. Накопление определенного опыта позволит стабилизировать эти нормативы по группам заводов и сварочных цехов на ряд лет.

[3] Рабочие на поточных линиях и предметно-замкнутых участках получают премию за хорошее качество работы и выполнение плана в размере 10%, а также по 2% за каждый процент перевыполнения плана от их сдельной заработной платы (максимальный размер премии не должен быть больше 30% заработной платы сдельщика). Рабочие ведущих участков при применении технически обоснованных норм получают премию в размере 1,5—2% от месячной сдельной зарплаты за каждый процент перевыполнения технически обоснованных норм.

25. Ориентировочный расчет фонда материального поощрения [1]

№ строки	Перечень и наименование показателей	За месяц работы		
		по плану	Фактически	Результат плана
1	Прибыль в тыс. руб.	4,00	5,80	+1,80
2	Производственные фонды в тыс. руб.	450,0	440,0	−10,0
3	Плата за фонды (6% : 12 месяцев · 0,5)	2,25	2,20	−0,05
4	Расчетная прибыль (строка 1−строка 3)	1,75	3,60	+1,85
5	Себестоимость продукции	65,0	62,5	−2,5
6	Рентабельность продукции (строка 4 : строка 5) в %	2,7	5,77	+3,07
7	Рентабельность сварочного цеха (строка 4 : строка 2)	0,39	0,82	+0,41
8	Норматив отчислений прибыли к фонду заработной платы за 1% расчетной рентабельности продукции в %	0,45	—	0,27
9	То же за 1% рентабельности цеха	2,42	—	0,16
10	Фонд материального поощрения за рентабельность продукции (строка 6 × строка 8 : 100) в % к фонду заработной платы	1,22	—	0,83
11	То же за рентабельность цеха (строка 7 × × строка 9 : 100)	0,94	—	—
12	Плановый фонд заработной платы в тыс. руб.	30,0	—	—
13	Фонд материального поощрения в руб. [строка 12 × (строка 10 + строка 11) : 100]	648	950	302

[1] Из опыта работы машиностроительных предприятий в условиях хозяйственной реформы.

Этот фонд образуется: за счет отчислений от прибыли определенного процента к стоимости основных фондов; за счет выручки от ликвидации лишнего оборудования и оснастки, а также отчислений от той части амортизационного фонда, который предназначается для реновации основных фондов (≈ 30—50% этой части).

ОСНОВНЫЕ ФОНДЫ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ МОЩНОСТИ СВАРОЧНЫХ ЦЕХОВ

Основные фонды и амортизационные отчисления

Основные фонды оцениваются:
по полной первоначальной стоимости

$$K_{пер} = K_{нач.\,пл} + K_{в.\,в} - K_{выб}, \qquad (180)$$

где $K_{нач.\,пл}$ — стоимость действующих основных фондов на начало планируемого периода;
$K_{в.\,в}$ — стоимость вновь вводимых за этот период основных фондов;
$K_{выб}$ — стоимость выбывших основных фондов;
по полной первоначальной стоимости с учетом износа

$$K_{п.\,и} = K_{пер} - K_{перен} + K_{к.\,р.\,м}, \qquad (181)$$

где $K_{перен}$ — перенесенная стоимость основных фондов;
$K_{к.\,р.\,м}$ — затраты на капитальный ремонт, модернизацию и т. п.;
по восстановительной стоимости с учетом износа [1]

$$K_{в.\,и} = K_{вос} - И_{о.\,ф}, \qquad (182)$$

[1] При переоценке основных фондов.

где $K_{вос}$ — полная восстановительная стоимость основных фондов;
$И_{.ф}$ — износ основных фондов, исчисленный в стоимостном выражении.
Ежегодные амортизационные отчисления (см. табл. 13)

$$A = \frac{K_{осн}}{T_A} = \frac{K_{пер} + K_{к.р.м} - K_{ср.спис}}{T_A}, \quad (183)$$

где $K_{осн}$ — стоимость основных фондов;
T_A — амортизационный период с учетом морального износа основных фондов в годах;
$K_{пер}$ — первоначальная стоимость вновь вводимых в эксплуатацию (или восстановленная стоимость переоцененных) основных фондов;
$K_{к.р.м}$ — средняя стоимость капитальных ремонтов и модернизации основных фондов за весь амортизационный период;
$K_{ср.спис}$ — средняя стоимость списанных (выбывших) основных фондов за вычетом расходов по демонтажу.

Норма амортизации

$$И_A = \frac{A}{K_{пер}} \cdot 100, \quad (184)$$

$$И_A = И_в + И_{к.р.м}, \quad (185)$$

где $И_в$ — норма амортизации для полного восстановления основных фондов;
$И_{к.р.м}$ — норма амортизации на капитальный ремонт и модернизацию основных фондов;

$$И_в = \frac{K_{пер} - K_{ср.спис}}{K_{пер} T_A} \cdot 100, \quad (186)$$

$$И_{к.р.м} = \frac{K_{ср.к.р} + K_{ср.м}}{K_{пер} T_A} \cdot 100 = \frac{K_{к.р.м}}{K_{пер} T_A} \cdot 100, \quad (187)$$

где $K_{ср.к.р}$ — средняя стоимость капитальных ремонтов за амортизационный период;
$K_{ср.м}$ — средняя стоимость модернизации за амортизационный период.

Показатели уровня использования производственных фондов и способы их расчета

Фондоотдача основных фондов

$$Ф_{отд} = \frac{N_{вып}}{K_{осн}}, \quad (188)$$

где $Ф_{отд}$ — выпуск продукции сварочным цехом на 1 руб. основных фондов;
$N_{вып}$ — годовой выпуск продукции;
$K_{осн}$ — среднегодовая (среднеквартальная) стоимость основных производственных фондов в руб.

Фондоотдача производственных фондов сварочных цехов

$$Ф_{отд} = \frac{N_{вып}}{K_{осн} + K_{обор}}, \quad (189)$$

где $K_{обор}$ — среднегодовая (среднеквартальная) стоимость нормируемых оборотных фондов в руб.

Фондоемкость сварных конструкций с учетом используемых при их производстве основных фондов

$$Ф_{см} = \frac{K_{осн}}{N_{вып}}. \quad (190)$$

Уровень рентабельности использования основных фондов завода центросвара

$$P_o = \frac{N_{вып.опт} - N_{вып.себ}}{K_{осн}}, \quad (191)$$

где $N_{вып.опт}$ — годовой выпуск сварных конструкций в оптовых ценах;
$N_{вып.себ}$ — годовой выпуск сварных конструкций по фактической заводской себестоимости.

Уровень рентабельности использования основных фондов сварочных цехов, образованных по предметному принципу

$$P_{о.ц} = \frac{N_{вып.п.р} - N_{вып.себ}}{K_{осн}}, \quad (192)$$

где $N_{вып.п.р}$ — товарная продукция сварочного цеха в планово-расчетных ценах;
$N_{вып.себ}$ — фактическая цеховая себестоимость продукции.

Уровень рентабельности использования основных фондов сварочных цехов, производящих продукцию для других цехов завода,

$$P_{о.ц.о} = \frac{N_{вып.пл.себ} - N_{вып.себ}}{K_{осн}}, \quad (193)$$

где $N_{вып.пл.себ}$ — выпуск продукции цехом по плановой себестоимости;
$N_{вып.себ}$ — выпуск продукции цехом по фактической цеховой себестоимости.

Коэффициент интенсивности использования оборудования

$$k_{исп} = \frac{t_{техн}}{t_{фак}}, \quad (194)$$

$t_{техн}$ — техническая норма времени;
$t_{фак}$ — фактически затраченное время на изготовление единицы продукции (на единицу работы),

или

$$k_{исп} = \frac{N_{фак}}{N_{пл}}, \quad (195)$$

где $N_{фак}$ — фактически изготовленная продукция за определенное расчетное время (например, за 1 ч);
$N_{пл}$ — количество продукции за то же время по плану.

Показателем уровня интенсивности использования оборудования является также коэффициент использования его по машинному времени

$$k_{маш} = \frac{t_{маш}}{t_{шт}}, \quad (196)$$

где $t_{маш}$ — машинное время в общей норме;
$t_{шт}$ — норма штучного времени.

Коэффициент экстенсивного использования оборудования

$$k_{эк} = \frac{F_{фак}}{F_{реж}}, \quad (197)$$

$F_{фак}$ — фактически отработанное оборудованием время;
$F_{реж}$ — время возможного использования оборудования,

$$F_{реж} = csqJ; \quad (198)$$

$$F_{фак} = F_{реж}(1 - k_{пр}), \quad (199)$$

где c — количество единиц имеющегося в цехе оборудования;

s — сменность работы цеха;
q — средняя продолжительность рабочей смены;
$Д$ — число рабочих дней в году;
$k_{пр}$ — коэффициент простоя оборудования, устанавливается с учетом времени плановых и непредвиденных простоев (планируемые простои оборудования в сварочных цехах составляют примерно 4—12% от $F_{реж}$).

Коэффициент сменности работы оборудования

$$k_{см} = \frac{c_{м1} + c_{м2} + c_{м3}}{c_{общ}}, \tag{200}$$

где $c_{м1}$, $c_{м2}$, $c_{м3}$ — число фактически отработанных машино-смен в 1, 2 и 3-й сменах;
$c_{общ}$ — общее число машин, которым располагает сварочный цех.

Коэффициент использования парка оборудования

$$k_{и} = \frac{c_{ср.сут}}{c_{общ}}, \tag{201}$$

где $c_{ср.сут}$ — среднесуточное количество работавшего оборудования;
$c_{общ}$ — общее запланированное количество оборудования, находящееся на балансе предприятия.

Производственная мощность и методы ее расчета

Под производственной мощностью сварочных цехов понимается максимально возможный годовой выпуск сварных конструкций при полном использовании всего наличного парка оборудования и производственных площадей, применении передовых технологических процессов, прогрессивных технических норм, научной организации труда и производства, внедрении передового опыта и мобилизации имеющихся резервов производства.

Проектная производственная мощность — заранее заданная величина выпуска сварных конструкций проектируемому цеху, исходя из минимально необходимых ему средств производства и рабочей силы, предусмотренных проектом технологии, методов организации производства и прогрессивных технических норм.

Плановая производственная мощность — величина выпуска сварных конструкций, устанавливаемая сварочному цеху на определенный период (дату), с учетом не только имеющихся в его распоряжении средств производства и достигнутых прогрессивных нормативов, но и того прироста мощностей, который должен быть получен в результате внедрения намеченных организационно-технических мероприятий.

Достигнутая производственная мощность — это мощность сварочного цеха на определенную дату текущего периода, обусловленная имеющимися на эту дату средствами производства, применяемыми прогрессивными нормами трудоемкости, достигнутой производительностью оборудования и т. д.

Среднегодовая производственная мощность сварочного цеха (участка)

$$M_{ср.год} = M_{вход} + M_{ср.год.пр} - M_{ср.год.выб}, \tag{202}$$

где $M_{вход}$ — входная мощность;
$M_{ср.год.пр}$ — среднегодовой прирост мощности;
$M_{ср.год.выб}$ — среднегодовое выбытие мощности.

$$M_{ср.год.пр} = \frac{M_{в_1}F_1 + M_{в_2}F_2 + \ldots + M_{в_n}F_n}{12}, \tag{203}$$

где $M_{в_1}$, $M_{в_2}$, $M_{в_n}$ — мощности сварочного цеха, введенные на определенную дату планируемого года;

F_1, F_2,..., F_n — периоды времени с момента введения мощностей до конца текущего года в месяцах.

$$M_{ср.\,год.\,выб} = \frac{M_{выб_1}F_1 + M_{выб_2}F_2 + \ldots + M_{выб_n}F_n}{12}, \quad (204)$$

где $M_{выб_1}$, $M_{выб_2}$, $M_{выб_n}$ — выбывшие мощности на соответствующие даты текущего года;

F_1, F_2,..., F_n — количество месяцев, в течение которых мощности не использовались до конца года.

Показатель среднегодовой мощности используется для установления сварочным цехам годовой производственной программы, а также для сравнительного анализа годового выпуска продукции и уровня использования производственных мощностей. Коэффициент использования производственной мощности

$$k_{исп.\,мощн} = \frac{N_{фак.\,вып}}{M_{ср.\,год}}, \quad (205)$$

где $N_{фак.\,вып}$ — фактический выпуск сварных конструкций.

Производственная мощность сварочного цеха может быть определена по мощности ведущих групп оборудования или ведущего участка:

$$M_{в.\,о} = \frac{F_{фак}c}{t_{п.\,н}}, \quad (206)$$

где $M_{в.\,о}$ — производственная мощность ведущей группы взаимозаменяемого оборудования при однономенклатурной программе выпуска сварных конструкций;

$F_{фак}$ — фактический (эффективный) фонд времени работы единицы оборудования за определенный планируемый период;

c — количество единиц взаимозаменяемого оборудования;

$t_{п.\,н}$ — прогрессивная норма трудоемкости изготовления единицы (тонны) сварных конструкций.

При изготовлении сварочным цехом сварных конструкций нескольких наименований и установленной количественной пропорции выпуска производственная мощность группы взаимозаменяемого оборудования определяется по формуле

$$M'_{в.\,о} = \frac{F_{фак}c}{t_{усл}} m, \quad (207)$$

где $t_{усл}$ — условная трудоемкость единицы сварных конструкций.

Производственная мощность по площади ведущего участка, предназначенного для изготовления широкой номенклатуры сварных конструкций $M_{уч}$:

$$M_{уч} = \frac{F_{фак}F_{п.\,л}}{m\sum_{1} f_i T_{ц\,i} N_i}, \quad (208)$$

где $F_{п.\,л}$ — производственная площадь участка в $м^2$;

f_i — площадь, необходимая для изготовления i-го наименования сварной конструкции соответствующего веса, в $м^2/т$;

$T_{ц\,i}$ — длительность производственного цикла изготовления i-го наименования сварной конструкции в $ч$;

N_i — количество изготовляемых сварных конструкций i-го наименования.

В заводской практике нередко расчет производственной мощности сварочного цеха (участка, пролета) производят укрупненным методом, исходя из объема производства сварных конструкций (в тоннах), достигнутого в отчетном периоде:

$$M_{отч} = N_{ост} t_{отч} F_{п.\,л}, \quad (209)$$

где $N_{дост}$ — достигнутый выпуск сварных конструкций с 1 $м^2$ производственной площади в отчетном периоде в $т$;

$t_{отч}$ — трудоемкость 1 $т$ изготовленных в отчетном периоде сварных конструкций в нормочасах;

$F_{пл}$ — производственная площадь цеха, фактически занятая под производство сварных конструкций.

Этот метод целесообразно применять прежде всего для расчета мощности сварочных цехов единичного и мелкосерийного производства.

Объем производства сварных конструкций в планируемом периоде $M_{пл}$ ориентировочно может быть рассчитан по формуле

$$M_{пл} = \frac{N_{дост} t_{отч}}{t_п \gamma \alpha} F_{пл}, \tag{210}$$

или более точно

$$M_{пл} = \frac{N_{дост} t_{отч} k_{пот} k_{упл}}{t_п \gamma \alpha} F_{пл}, \tag{211}$$

где $k_{пот}$ — коэффициент, учитывающий потери рабочего времени в отчетном периоде, определяется по данным сварочных цехов;

$k_{упл}$ — коэффициент возможного уплотнения производственных площадей цеха (участка, пролета) производственными рабочими;

$t_п$ — запланированная трудоемкость 1 $т$ сварных конструкций в нормочасах;

γ — коэффициент увеличения $t_п$ за счет дополнительных затрат времени, возникающих в процессе производства из-за изменений в номенклатуре изготовляемых сварных конструкций, их конструктивных и технологических различий, неточностей в определении трудоемкости и т. д.;

α — коэффициент снижения трудоемкости в планируемом периоде в результате внедрения организационно-технических мероприятий.

Коэффициент возможного уплотнения производственных площадей

$$k_{упл} = \frac{\kappa_{раб.\,пл} F_{пл.\,отч}}{\kappa_{раб.\,отч} F_{пл.\,пл}}, \tag{212}$$

где $\kappa_{раб.\,пл}$, $\kappa_{раб.\,отч}$ — количество основных производственных рабочих соответственно в планируемом и отчетном периодах;

$F_{пл.\,отч}$, $F_{пл.\,пл}$ — размер площадей, занятых под производство сварных конструкций в отчетном и планируемом периодах.

Коэффициент увеличения трудоемкости

$$\gamma = \frac{t_п t_{доп}}{t_п}. \tag{213}$$

Коэффициент снижения трудоемкости

$$\alpha = \frac{t_п - t_{сниж}}{t_п}, \tag{214}$$

где $t_{доп}$ — дополнительные затраты времени, имеющие место в единичном и мелкосерийном производстве;

$t_{сниж}$ — экономия времени, достигаемая в результате внедрения организационно-технических мероприятий.

$t_{доп}$, $t_{сниж}$ определяют по заводским данным с учетом специфических особенностей сварочного производства.

Плата за производственные фонды

При новой системе планирования и экономического стимулирования расчет платы за фонды $П_ф$ может быть произведен по формуле

$$П_ф = [(К_{с.ф} - К_{с.л} + К_{зап}) + (Н_о + К_{с.з})] Н_п, \quad (215)$$

где $К_{с.ф}$ — среднегодовая стоимость производственных фондов;
$К_{с.л}$ — среднегодовая стоимость производственных фондов, по которым предусмотрены льготы;
$К_{зап}$ — среднегодовые сверхплановые непрокредитованные банком запасы неустановленного оборудования;
$Н_о$ — среднегодовой норматив собственных оборотных средств;
$К_{с.з}$ — среднегодовые сверхнормативные непрокредитованные банком запасы товарно-материальных ценностей;
$Н_п$ — норматив платы за фонды.

СЕБЕСТОИМОСТЬ ПРОДУКЦИИ СВАРОЧНЫХ ЦЕХОВ И УРОВЕНЬ РЕНТАБЕЛЬНОСТИ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Себестоимость 1 $т$ данного вида продукции, выпускаемой сварочным цехом,

$$С_{тi} = \frac{С_{мi} + \sum_{1}^{m} С_{iз} + С_{о.цi}}{G_i} \text{ руб.}, \quad (216)$$

где $С_{т\,i}$ — цеховая себестоимость 1 $т$ i-го вида продукции;
$С_{м\,i}$ — стоимость материала (заготовок, полуфабрикатов), израсходованных на продукцию i-го вида;
m — количество наименований заготовительных, обрабатывающих и т. п. переделов (фаз производства);
$С_{i\,з}$ — затраты на продукцию i-го вида по заготовительному переделу;
$С_{о.ц\,i}$ — общецеховые расходы, приходящиеся на продукцию i-го вида;
G_i — вес изготовленной сварочным цехом продукции i-го вида.

Затраты по заготовительному (обрабатывающему, сборочно-сварочному и т. д.) переделу

$$С_{iз} = С_{м.т} + З_{оо} + С_{об}, \quad (217)$$

где $С_{м.т}$ — стоимость материалов для технологических целей;
$З_{оо}$ — основная и дополнительная заработная плата производственных рабочих с отчислениями в соцстрах;
$С_{об}$ — затраты, связанные с работой оборудования.

Расчеты затрат по этим статьям приведены выше, данные по стоимости машино-смен сварочного оборудования — ниже в табл. 27—30.

Располагая данными по затратам на изготовление отдельных видов продукции и их весу, можно определить укрупненно (как средневзвешенную величину) себестоимость 1 $т$ продукции сварочного цеха в планируемом периоде.

Структура [1] себестоимости 1 $т$ сварных конструкций следующая (в %):

Основные материалы за вычетом реализуемых отходов	30,0
Покупные полуфабрикаты и услуги кооперирующих предприятий	22,0
Вспомогательные материалы технологического назначения	3,5
Топливо и электроэнергия для технологических целей	4,0
Зарплата основная, дополнительная и отчисления в соцстрах производственных рабочих	8,0
Расходы по содержанию и эксплуатации оборудования	15,0

[1] Составлена на основе анализа и систематизации данных ряда машиностроительных заводов.

Потери от брака	0,5
Расходы по освоению новых видов производства	2,0
Общецеховые расходы	7,0
Общезаводские расходы	5,0
Внепроизводственные расходы	3,0

Из приведенных данных следует, что наибольшая часть затрат при производстве сварных конструкций приходится на основные материалы и полуфабрикаты, на содержание и эксплуатацию оборудования и заработную плату. Очевидно, уменьшение расходов по этим статьям позволяет достигнуть более существенного снижения себестоимости сварных конструкций.

Снижение себестоимости сравниваемых (сопоставимых) [1] сварных конструкций в %

$$a = \frac{C_{отч} - C_{пл}}{C_{отч}} \cdot 100 = \frac{\sum_{1}^{m} N_{пл} C_{отч.ед} - \sum_{1}^{m} N_{пл} C_{пл.ед}}{\sum_{1}^{m} N_{пл} C_{отч.ед}}, \qquad (218)$$

где $C_{отч}$, $C_{пл}$ — соответственно себестоимость сравниваемых сварных конструкций в отчетном (истекшем) и планируемом периодах;

m — количество наименований сравниваемых сварных конструкций;

$N_{пл}$ — количество сварных конструкций n-го наименования по программе;

$C_{отч.ед}$, $C_{пл.ед}$ — соответственно себестоимость единицы сварной конструкции n-го наименования в отчетном и планируемом периодах

Снижение себестоимости сварных конструкций за счет уменьшения условно-постоянных накладных расходов, обусловленное ростом объема сварочного производства,

$$a_{у.н} = \left(1 - \frac{100}{100 + \delta}\right) в \ \%, \qquad (219)$$

где δ — увеличение объема производства сварных конструкций по плану в %;

$в$ — удельный вес условно-постоянных накладных расходов в затратах на производство сварных конструкций в %.

Снижение себестоимости сварных конструкций в результате роста производительности труда

$$a_{п.т} = \left(1 - \frac{100}{100 + p}\right) з \ \%, \qquad (220)$$

где g — увеличение заработной платы к отчетному периоду в %;

p — рост производительности труда в %;

$з$ — удельный вес заработной платы в себестоимости сварных конструкций в %.

Снижение себестоимости сварных конструкций за счет уменьшения норм расхода материалов (топлива, электроэнергии и других материальных затрат) и изменения цен на них

$$a_{м.ц} = \frac{м \cdot г}{100} + \frac{м \cdot е}{100} \ \%, \qquad (221)$$

[1] Одинаковые сварные конструкции, изготовляемые в отчетном и планируемом периодах.

где $м$ — удельный вес затрат на материалы в себестоимости сварных конструкций в отчетном году в %;

$г$ — процент снижения затрат на материалы в планируемом году в результате уменьшения норм расхода материалов;

$е$ — то же, за счет изменения цен на материалы.

Укрупненные расчетные данные стоимости машино-смены сварочного оборудования приведены в табл. 26—30.

26. Стоимость машино-смены сварочных полуавтоматов и автоматов (без источников питания током)

Виды сварки	Тип оборудования	Расчетная стоимость машино-смены в руб.
Полуавтоматическая в защитных газах	ПДПГ-500	2,88
	А-929	4,58
Полуавтоматическая под флюсом	ПШ-54	1,09
Полуавтоматическая порошковой проволокой	А-765	3,15
Полуавтоматическая открытой дугой проволокой сплошного сечения	А-1011	5,24
Автоматическая под флюсом	ТС-17МУ	1,55
	ТС-17Р	2,18
Электрошлаковая	А-820М	10,75
	А-433Р	8,14

27. Стоимость машино-смены сварочных преобразователей при ручной сварке

Режим сварки		Расчетная стоимость машино-смены в зависимости от типа сварочного преобразователя в руб.				
$I_{св}$ в $а$	$U_д$ в $в$	ПСО-300А ПСО-300М ПСО-300-3	ПСО-300-2	ПСО-500 ПСО-500-3	ПСУ-500	ПСУ-500-2
100—150	22—26	2,22	2,42	2,45	2,78	2,51
160—200	23—27	2,46	2,66	2,69	2,96	2,74
210—250	23—27	2,66	2,85	2,87	3,14	2,92
260—300	25—29	2,95	2,77	3,13	3,41	3,19
310—350	25—30	—	—	3,35	3,62	3,40
360—400	26—32	—	—	4,66	3,94	3,72

28. Стоимость машино-смены сварочных преобразователей при полуавтоматической сварке в защитных газах порошковой проволокой и открытой дугой проволокой сплошного сечения

Режимы сварки		Расчетная стоимость машино-смены в зависимости от типа сварочного преобразователя в руб.			
$I_{св}$ в $а$	$U_д$ в $в$	ПСГ-500	ПСГ-500-1	ПСУ-500	ПСУ-500-2
100—150	18—20	2,35	2,21	2,60	2,37
160—200	21—23	2,57	2,43	2,83	2,61
210—250	22—27	2,82	2,66	3,14	2,92
260—350	27—30	3,20	3,05	3,55	3,33
360—450	30—32	3,67	3,52	4,08	3,98
460—500	32—34	4,10	3,95	4,62	4,40

29. Стоимость машино-смены сварочных преобразователей при полуавтоматической сварке под флюсом

Режимы сварки		Расчетная стоимость машино-смены в зависимости от типа сварочного преобразователя в руб.		
$I_{св}$ в *а*	$U_д$ в *в*	ПС-500	ПСУ-500	ПСУ-500-2
300—350	30—35	3,57	3,85	3,63
360—400	30—35	3,85	4,12	3,90
410—450	33—37	4,12	4,50	4,28
460—500	35—40	4,63	4,90	4,69

30. Стоимость машино-смены сварочных преобразователей при электрошлаковой сварке и автоматической сварке под флюсом

Режимы сварки		Расчетная стоимость машино-смены в зависимости от типа сварочного преобразователя в руб.	
$I_{св}$ в *а*	$U_д$ в *в*	ПС-1000	ПСМ-1000
Электрошлаковая сварка			
550—600	38—42	6,05	6,15
610—650	40—44	6,63	6,73
660—700	44—46	7,16	7,26
710—800	44—48	7,70	7,80
Автоматическая сварка под флюсом			
700—750	34—36	6,50	6,60
760—800	35—38	6,94	7,04
810—850	36—38	7,28	7,38
860—900	36—40	7,53	7,63
910—950	38—42	8,02	8,12
960—1000	40—44	8,52	8,62

Уровень рентабельности завода-центросвара

$$P_{з.ц} = \frac{N_{вып.опт} - N_{вып.себ}}{K_{осн} + K_{обор}}, \qquad (222)$$

где $N_{вып.опт}$ — годовой выпуск сварных конструкций в оптовых ценах;
$N_{вып.себ}$ — то же, по себестоимости;
$K_{осн}$ — стоимость основных производственных фондов;
$K_{обор}$ — стоимость оборотных фондов.

Уровень рентабельности предметно-замкнутых сварочных цехов

$$P_{п.з} = \frac{N_{вып.пл.расч} - N_{вып.себ}}{K_{осн} + K_{обор}}, \qquad (223)$$

где $N_{вып.пл.расч}$ — продукция сварочного цеха в планово-расчетных ценах;
$N_{вып.себ}$ — фактическая цеховая себестоимость изготовленной продукции.

Уровень рентабельности сварочных цехов, производящих продукцию для других цехов завода, может быть рассчитан ориентировочно по формуле

$$P_{св.ц} = \frac{N_{вып.пл.себ} - N_{вып.фак.себ}}{K_{осн} + K_{обор}}, \qquad (224)$$

где $N_{вып.пл.себ}$ — выпуск продукции сварочным цехом по плановой себестоимости;
$N_{вып.факт.себ}$ — выпуск продукции цехом по фактической себестоимости.

Уровень рентабельности сварной конструкции $P_{св.кон}$ определяется по формулам

$$P_{св.кон} = \frac{Ц_{оп.отп} - С_з}{С_з}, \quad (225)$$

или

$$P_{св.кон} = \frac{С_{пл.цех} - С_{фак.цех}}{С_{фак.цех}}, \quad (226)$$

где $Ц_{оп.отп}$ — оптово-отпускная цена сварной конструкции;
$С_з$ — полная заводская себестоимость сварной конструкции;
$С_{пл.цех}$ — плановая цеховая себестоимость сварной конструкции;
$С_{фак.цех}$ — фактическая цеховая себестоимость сварной конструкции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Директивы XXIII съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1966–1970 г. М., Политиздат, 1966.
2. Материалы сентябрьского (1965 г.) Пленума ЦК КПСС. М., Политиздат, 1965.
3. Бартащев Л. В. Технико-экономические расчеты при проектировании и производстве машин. М., «Машиностроение», 1968.
4. Вильдавский И. М. Проектирование и эксплуатация поточных линий в серийном производстве машин и приборов. М., Машгиз, 1962.
5. Гитлевич А. Д., Животицкий Л. А., Жмакин Д. Ф. Техническое нормирование технологических процессов в сварочных цехах. М., Машгиз, 1962.
6. Голубков А. П. Оценка технико-экономической эффективности внедрения новой техники. М., «Экономика», 1964.
7. Думлер С. А. и др. Основы экономики и организации машиностроительного производства. М., Машгиз, 1962.
8. Либерман Е. Г. и др. Организация и планирование производства на машиностроительных предприятиях. М., «Машиностроение», 1967.
9. Летенко В. А. и др. Экономика машиностроительной промышленности СССР. М., «Машиностроение», 1968.
10. Общемашиностроительные нормативы времени на электродуговую сварку. ЦБНТ, М., 1964.
11. Разумов И. М., Соколицин С. А. и др. Организация и планирование машиностроительного производства. М., «Машиностроение», 1967.
12. Снежко В. И. и др. Методы определения экономической эффективности внедрения новой техники в сварочное производство. Киев, изд. ОНТИ Института электросварки им. Е. О. Патона, 1967.
13. Справочник нормировщика-машиностроителя, том III. Машгиз, 1962.
14. Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений (проект АН СССР, Госплан СССР, Госстрой СССР).
15. Фаерман А. И. Экономика и организация сварочного производства. М., «Высшая школа», 1965.
16. Чернов Е. С. Основные фонды в новых условиях хозяйствования М., «Экономика», 1967.

ГЛАВА XI

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦЕХОВ СВАРНЫХ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

ЭЛЕМЕНТЫ ПРОИЗВОДСТВА И ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В проектировании современного производства установлены следующие основные элементы, необходимые для его рациональной организации и функционирования [10].

Материалы для изготовления заданной продукции — основные и вспомогательные.

Оборудование производственное — основное и вспомогательное, включая сборочно-сварочную оснастку, приспособления, инструмент, контрольно-измерительную аппаратуру, производственный инвентарь, внутрицеховое транспортное оборудование, вентиляционные и отопительные устройства, электроосветительные установки и т. п.

Энергия всех видов, подлежащая использованию в проектируемом производстве при изготовлении заданной продукции.

Состав работающих, включая производственных и вспомогательных рабочих, младший обслуживающий, счетно-конторский и административно-технический персонал.

К дополнительным элементам производства относят следующие.

Техническая документация производственного процесса, устанавливающая взаимодействие между всеми основными элементами производства при изготовлении заданной продукции.

Пространство для рационального размещения основных элементов запроектированного производства, включающее площади производственные и вспомогательные при необходимой и достаточной высоте всех помещений.

Схема рациональной организации производства и его управления, соответствующая типу данного производства.

Основными задачами проектирования цехов сварных конструкций являются следующие:

1) разработка технологического процесса производства, включающая выбор рациональных в технико-экономическом отношении способов изготовления деталей, сборки и сварки, технического контроля и внутрицеховой транспортировки материалов, деталей, узлов и готовых конструкций заданной продукции;

2) определение потребного качественного и количественного состава всех необходимых элементов производства для обеспечения изготовления заданной продукции;

3) разработка плана рационального размещения в проектируемом цехе всех элементов производства и составление разрезов здания цеха с указанием необходимой высоты всех его помещений;

4) определение необходимых капитальных затрат и оборотных средств для осуществления и последующей эксплуатации проектируемого цеха, а также

1. Классификация и организационно-технические характеристики цехов сварных машиностроительных конструкций в зависимости от годового выпуска продукции и типа производства

Единичное и мелкосерийное производство

Показатели	Годовой выпуск продукции в *т*				
	до 2000	2000—10000	10000—30000	30000—70000	более 70 000
Преобладающий сортамент металла в изготовляемых изделиях	Легкий, в том числе для стальных конструкций — лист толщиной $\delta \leqslant 5$ *мм*, сортовая сталь $g \leqslant 3$ *кг* (1 *пог. м*), трубы $d_{вн} \leqslant 50$ *мм*		Тяжелый, в том числе для стальных конструкций — лист толщиной $\delta \geqslant 5$ *мм*, сортовая сталь $g \geqslant 3$ *кг* (1 *пог. м*), трубы $d_{вн} \geqslant 50$ *мм*		
Концентрация производства изделий: по номенклатуре	Малая	Большая	Большая	Средняя	Большая
по количеству					
Специализация производства: технологическая	Средняя	Большая	Средняя	Большая	
предметная			*Малая*		
Технологические процессы	Индивидуальные и в некоторых случаях типовые, составленные на основе конструктивно-технологической классификации деталей, узлов и изделий заданной производственной программы с использованием прогрессивной технологии обработки, сборки и сварки				
Специализация пролетов и производственных участков	Частичная: в заготовительных отделениях — по толщине и размерам профиля обрабатываемого металла, в сборочно-сварочных — по конструктивно-технологическим типам собираемых и свариваемых узлов и изделий				
Производственный процесс и оборудование	Предметно-замкнутые участки (пролеты) и многономенклатурные переналаживаемые и частично механизированные прямоточные линии с использованием в них универсального оборудования; групповой запуск деталей, узлов и изделий после их комплектации с применением в основном общецехового транспорта для их перемещения в цехе				
Планировка оборудования и рабочих мест	Групповое расположение технологического оборудования и рабочих мест по направлению грузопотоков с закреплением технологических путей для транспортировки исходного металла, деталей и узлов; рациональное использование продольно-поперечного расположения грузопотоков				

Состав схемы компоновки плана цеха	Весь комплекс производственных и вспомогательных отделений и цеховых складов	Комплектовочный склад, сборочно-сварочное отделение и цеховой склад готовых изделий	Весь комплекс производственных и вспомогательных отделений и цеховых складов	Комплектовочный склад, сборочно-сварочные отделения и цеховой склад готовых изделий
Технико-экономические показатели производства	Пониженный коэффициент использования всех элементов производства (материалов, оборудования, рабочих); значительная длительность цикла изготовления изделий; пониженная фондоотдача оборудования и экономическая эффективность производства; повышенная себестоимость продукции			
Серийное производство				
Показатели	Годовой выпуск продукции в *т*			
	2000—10000	10000—30000	30000—70000	Более 70 000
Преобладающий сортамент металла в изготовляемых изделиях	Легкий (как в единичном и мелкосерийном производстве)	Тяжелый (как в единичном и мелкосерийном производстве)		
Концентрация производства изделий: по номенклатуре по количеству годового выпуска	Средняя	Малая	Средняя	Большая
Специализация производства: технологическая предметная	Большая	Средняя	Средняя	Большая
Технологические процессы	Типовые, составленные на основе конструктивно-технологической классификации деталей, узлов и изделий заданной производственной программы с использованием прогрессивной технологии обработки, сборки и сварки			

Продолжение табл. 1

Показатели	Годовой выпуск продукции в *т*			
	2000—10000	10000—30000	30000—70000	Более 70 000
Специализация пролетов и производственных участков	Как в проектах цехов единичного и мелкосерийного производства, но полная			
Производственный процесс и оборудование	Предметно-замкнутые участки (пролеты) и малономенклатурные переналаживаемые механизированные и частично автоматизированные ритмично работающие поточные линии с использованием в них преимущественно специализированного агрегатного и частично специального оборудования с комплексной механизацией и частичной автоматизацией всех работ; групповой запуск деталей, узлов и изделий после их комплектации с использованием общецехового и напольного транспорта для перемещения металла, деталей, узлов и изделий			
Планировка оборудования и рабочих мест	Как в проектах цехов единичного и мелкосерийного производства			
Состав схемы компоновки плана цеха	Весь комплекс производственных и вспомогательных отделений и цеховых складов		Комплектовочный склад, сборочно-сварочные отделения и цеховой склад готовых изделий	
Технико-экономические показатели производства	Повышенный коэффициент использования всех элементов производства. Сокращенная длительность цикла изготовления изделий. Повышенная фондоотдача оборудования и экономическая эффективность производства Пониженная себестоимость продукции			
Крупносерийное и массовое производство				
Преобладающий сортамент металла в изготовляемых изделиях	Легкий (как в единичном и мелкосерийном производстве)		Тяжелый (как в единичном и мелкосерийном производстве)	
Концентрация производства изделий: по номенклатуре по количеству	Малая	Малая Средняя		Большая

Специализация производства: технологическая предметная	Малая Большая	
Технологические процессы	Разработанные с учетом предметной специализации производства конкретных изделий, включенных в программу выпуска цеха, с использованием прогрессивной технологии обработки, сборки и сварки изделий	
Специализация пролетов, производственных участков и линий	В заготовительных отделениях — по толщине и размерам профиля обрабатываемого металла. В сборочно-сварочных отделениях — по типам конкретных собираемых и свариваемых узлов и изделий	
Производственный процесс и оборудование	Предметно-замкнутые однономенклатурные непереналаживаемые конвейерные механизированные и автоматические поточные линии с использованием в них специального оборудования с комплексной механизацией и автоматизацией всех работ. Для серийного производства — групповой запуск деталей, узлов и изделий после их комплектации; в массовом производстве — непрерывный ритмичный поток с широким применением подвесного, напольного и специализированного цехового транспорта для перемещения металла, деталей и изделий	
Планировка оборудования и рабочих мест	Как в проектах цехов серийного производства; рациональное использование продольного, смешанного либо продольно-поперечного расположения грузопотоков	
Состав схемы компоновки плана цеха	Весь комплекс производственных и вспомогательных отделений и цеховых складов	Комплектовочный склад, сборочно-сварочные отделения и цеховой склад готовых изделий
Технико-экономические показатели производства	Высокий коэффициент использования всех элементов производства. Малая длительность цикла изготовления изделий. Высокая фондоотдача оборудования и экономическая эффективность производства. Низкая себестоимость продукции.	

подсчет себестоимости заданной для него продукции и технико-экономических показателей ее производства.

В результате разработки проекта должна быть обеспечена возможность осуществления современного, передового по техническому уровню и экономичного в эксплуатации цеха для выпуска заданной продукции при ее себестоимости, обусловливающей рентабельность производства и приемлемые сроки окупаемости капитальных затрат (см. гл. X).

КЛАССИФИКАЦИЯ, ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И СОСТАВ ПРОЕКТИРУЕМЫХ ЦЕХОВ СВАРНЫХ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Классификация современных цехов сварных машиностроительных конструкций (табл. 1) показывает, что организационно-технические характеристики таких цехов зависят от достаточно большого количества факторов, которые во многом предопределяют принимаемые при проектировании технические решения. В зависимости от типа производства в нем преобладает либо технологический (единичное и мелкосерийное производство), либо предметный (массовое и крупносерийное производство) принцип формирования цехов. В производствах серийного типа преобладание предметного принципа организации цехов возможно лишь при поточных методах изготовления изделий.

Тип производства может быть определен по характеристике заданной производственной программы (табл. 2).

Дополнительной характеристикой цехов, изготовляющих сварные изделия, служит состав их производственных отделений. В цехах с годовым выпуском продукции до 30 000 *т*, к таким отделениям цеха относят заготовительное и сборочно-сварочное. В заготовительном отделении обрабатывают исходный металл и изготовляют из него детали заданных изделий. В сборочно-сварочном отделении собирают готовые детали и сваривают их с целью получения заданных изделий. В случаях производства достаточно сложных изделий сборочно-сварочное отделение подразделяют на два отделения: узловой сборки-сварки и общей сборки-сварки. В первом из них выполняют сборку деталей и их сварку с целью получения отдельных технологических узлов заданных изделий, а во втором — общую сборку между собой этих узлов и сварку их для получения заданных изделий.

Между заготовительным и сборочно-сварочными отделениями располагают промежуточный комплектовочный склад деталей, поступающих из заготовительного отделения и из других цехов завода для передачи в сборочно-сварочное отделение. Кроме того, в составе сборочно-сварочного цеха обычно предусматривают: цеховой склад металла (передаваемого для обработки в заготовительное отделение), отделение покрытий и внешней отделки продукции, располагаемое после отделения общей сборки-сварки, и небольшой склад готовой продукции цеха, направляемой на комплектовочный склад завода для отгрузки в адрес заказчика.

В цехах с годовым выпуском продукции более 30 000 *т* уровень концентрации производства обусловливает необходимость выделения заготовительного отделения в самостоятельный заготовительный цех. По той же причине отделение покрытий и внешней отделки продукции также выделяют в самостоятельный цех. В этом случае проектируемый сборочно-сварочный цех имеет в своем составе только комплектовочный склад деталей, направляемых в сборочно-сварочный цех из разных цехов завода, и сборочно-сварочные отделения узловой и общей сборки-сварки, либо участки, линии и отдельные рабочие места в различных (предметных) отделениях цеха. Обособление заготовительных работ от сборочно-сварочных предусматривается также при проектировании предприятий с высоким уровнем технологической специализации производства типа «центрорез» и «центросвар».

2. Характеристика заданной программы годового выпуска сварной продукции для определения типа проектируемого производства (по материалам норм технологического проектирования Гипростройдормаш) [13]

Общий вес сварных узлов изделия в *т*	Годовой выпуск изделий в *т* при производстве			
	единичном и мелкосерийном, не более	серийном	крупносерийном	массовом, более
До 0,025	125	125—5000	5000—10000	10 000
0,025—0,1	200	200—10000	10000—20000	20 000
0,1—0,5	250	250—15000	15000—35000	35 000
0,5—1,0	300	300—5000	5000—50000	50 000
1—5	1000	1000—17500	17500—125000	125 000
5—25	2500	2500—50000	50000—250000	250 000
25—100	5000	5000—100000	100000—250000	250 000
Более 100	1000	Более 1000	—	—

В состав цеха, как правило, также входят размещаемые обычно в двух-, четырехэтажной пристройке к производственному корпусу административно-конторские и бытовые помещения цеха.

СОСТАВ ПРОЕКТА, СТАДИИ ЕГО РАЗРАБОТКИ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Проект сборочно-сварочного цеха подразделяется на следующие специальные части:

технологическую и транспортную — эта основная часть проекта содержит определение и расчет всех элементов производства для организации технологического процесса и внутрицехового потока, включая технико-экономический анализ различных вариантов проекта и обоснования выбора наиболее целесообразного из них;

строительную — строительное и архитектурное оформление здания цеха;

санитарно-техническую — отопление, вентиляция, водопровод и канализация в здании цеха;

энергетическую — снабжение цеха всеми потребными видами энергии и топлива для производственных нужд, сжатым воздухом, кислородом, защитными и инертными газами, а также устройство телефонной связи и внутрицеховой сигнализации;

основные данные и технико-экономические показатели — конспективная сводка результативных данных по всем частям проекта.

Кроме того, для составления общей по проекту завода в целом экономической части расчетным путем определяют по каждому цеху завода необходимые капитальные затраты, годовые эксплуатационные расходы и проектную себестоимость продукции.

Таким образом, специфические основы проекта цеха содержатся в технологической и транспортной части проекта совместно с основными данными и технико-экономическими показателями. Поэтому дальнейшее изложение ограничено содержанием только указанных основных частей проекта.

Каждая часть проекта включает пояснительную записку, содержащую сжатое описание всех элементов производства, методики их технико-экономического выбора и определения качественного и количественного состава с приведением всех обоснований и сводных результатов расчетов; приложения к пояснительной записке, необходимые расчеты по всем элементам производства, таблицы, ведомости, технические характеристики и спецификации, а также сводные сметы капитальных и годовых эксплуатационных затрат; чертежи и схемы (в том числе фотокопии макетов или наборных досок), поясняющие конструктивное и

техническое оформление запроектированных элементов производства и их расположение в цехе.

Согласно инструкции Госстроя СССР [4] задание на проектирование должно содержать: указание о районе или пункте будущего строительства данного промышленного предприятия; характеристику его продукции, сведения о предусматриваемой его производительности (мощности) в натуральном и ценностном выражении по основным видам продукции; режим работы основных цехов предприятия; сведения о будущих производственных связях (кооперации) с другими предприятиями, об источниках снабжения данного предприятия сырьем, топливом и энергией, а также указания о количестве стадий выполнения проекта, требуемых сроках строительства и очередности ввода мощностей данного предприятия в эксплуатацию, о предприятиях и ведомствах, которые должны выдать необходимые для проектирования рабочие чертежи подлежащих выпуску изделий со спецификациями их деталей и техническими условиями на изготовление, испытание и приемку продукции.

В соответствии с майским (1969 г.) постановлением ЦК КПСС и СМ СССР об улучшении проектно-сметного дела, начиная с 1971 г., предшествующие выдаче подобных указанным выше заданий решения о проектировании и строительстве предприятий и сооружений должны приниматься, исходя из схем развития и размещения соответствующих отраслей народного хозяйства и промышленности и схем развития и размещения производительных сил по экономическим районам и союзным республикам. Кроме того, такие решения по крупным и сложным предприятиям и сооружениям должны подкрепляться технико-экономическими обоснованиями (ТЭО), подтверждающими экономическую целесообразность и хозяйственную необходимость проектирования и строительства данных предприятий и сооружений.

Упомянутым постановлением установлено также, что проектирование предприятий, зданий и сооружений может осуществляться в две стадии — технический проект и рабочие чертежи или в одну стадию — техно-рабочий проект (технический проект, совмещенный с рабочими чертежами). При этом проектирование в одну стадию должно осуществляться по отношению к объектам, строительство которых предполагается выполнять по типовым проектам и по повторно применяемым экономичным индивидуальным проектам, а также по отношению к технически несложным объектам. В остальных случаях проектирование должно осуществляться в две стадии. Во всех случаях проектирование должно вестись на основе максимального учета новейших достижений науки и техники с тем, чтобы строящиеся и реконструируемые предприятия ко времени их ввода в действие были технически передовыми и имели высокие показатели по производительности труда, себестоимости производства и качеству продукции, а по условиям труда отвечали современным требованиям.

Технологическая и транспортная часть технического проекта цеха должна содержать следующие сведения: программу производства и режим работы каждого отделения цеха; определение потребного качественного и количественного состава всех основных элементов производства; нормированные технологические процессы производства; планы и разрезы цеха с расположением оборудования, рабочих мест, складочных мест и транспортных устройств. Для новых, оригинальных и сложных установок и устройств дают технические описания, схемы и эскизы, сопровождаемые необходимыми расчетами производительности, пропускной способности, прочности, устойчивости и т. д. Кроме того, в этой части технического проекта должны быть помещены сведения о годовой потребности будущего цеха в основных и вспомогательных материалах и в энергии, данные о производственной связи (грузообороте) с другими цехами и со складами завода; сводная смета капитальных затрат (включающая полную стоимость оборудования с монтажом и другие затраты), сводная смета годовых эксплуатационных расходов, технико-экономические показатели по цеху и сравнение их с показателями аналогичных экономично запроектированных или построенных цехов. В основу технических расчетов принимают утвержденные нормативы и нормы

образцовых действующих предприятий либо проверенные данные ранее утвержденных экономичных проектов. Стоимость сооружения цеха и годовые эксплуатационные расходы определяют на основании смет по отдельным видам работ и затрат.

Технический проект сопровождают необходимой документацией с приложением схем, чертежей или фотокопий макетов либо заполненных наборных досок, расчетов, спецификаций, ведомостей и сводных смет капитальных затрат и эксплуатационных расходов. Состав и объем этой документации определяются по эталонному проекту, пересмотренному в соответствии с упомянутым выше постановлением об улучшении проектно-сметного дела.

3. Основные исходные данные для разработки технологической и транспортной части различных стадий проекта сооружения или реконструкции сборочно-сварочного цеха

Исходные данные	Стадии проектирования [1]		
	ТП	РЧ	ТРП
Утвержденное задание на проектирование (с технико-экономическими обоснованиями для случаев проектирования крупных и сложных объектов)	с, р	—	с, р
Утвержденный проект предшествующей стадии	—	с, р	—
Рабочие чертежи подлежащих выпуску изделий со спецификациями деталей и техническими условиями на изготовление, приемочные испытания и упаковку	с, р	—	с, р
План цеха с расположением оборудования	р	—	р
Ведомости имеющегося производственного и подъемно-транспортного оборудования с указанием балансовой и восстановительной стоимости и степени износа	р	—	р
Ведомость заказанного нового оборудования	с, р	—	с, р
Трудоемкость изделий, нормированная по видам ручных и механизированных работ с указанием процентов переработки норм	р	—	р
Технологический процесс (существующий) по основным изделиям (с нормами)	р	—	р
Режим работы цеха и коэффициент сменности	р	—	р
Ведомость сложной и дорогостоящей оснастки (по изделиям)	р	—	р
Нормы расхода материалов по изделиям	с, р	—	с, р
Выпуск продукции цеха в натуральном и ценностном выражении за истекший год до реконструкции	р	—	р
План выпуска продукции цеха в натуральном и ценностном выражении на будущий год после реконструкции	р	—	р
Ведомость среднесписочного производственного персонала по цеху за истекший год до реконструкции (с указанием среднегодовой заработной платы и средних разрядов рабочих)	р	—	р
Справка о действующей (или рекомендуемой для новостройки) тарифной сетке с коэффициентами и ставками по разрядам	с, р	—	с, р
Показатели затрат производства за истекший до реконструкции год и ведомость цеховых расходов	р	—	р
Отчетные калькуляции себестоимости готовой продукции за истекший год до реконструкции	р	—	р
Технико-экономические показатели по цеху за истекший год до реконструкции	р	—	р

[1] Условные обозначения: ТП — технический проект; РЧ — рабочие чертежи; ТРП — техно-рабочий проект; с — сооружение нового цеха; р — реконструкция существующего цеха.

Рабочие чертежи представляют собой уточнение и доработку предшествующей стадии проекта. По рабочим чертежам осуществляют строительные и монтажные работы, включая установку оборудования и устройство коммуникаций. При выполнении рабочих чертежей производят: уточнение размещения всего

оборудования на планах и разрезах цеха с привязкой его расположения к конструктивным элементам здания цеха; расчет и разработку конструкций фундаментов оборудования, всех оригинальных приспособлений, стендов, подъемно-транспортных устройств и т. п. По всем указанным работам составляют подробные спецификации на потребное оборудование и материалы. Рабочие чертежи выполняют комплектно — по видам работ и по очередям строительства.

Сведения, необходимые для разработки технологической и транспортной части проекта цеха (отделения, участка) по своему составу (табл. 3) зависят от стадии и объекта проектирования (новый цех или реконструкция существующего). В последнем случае, помимо решения обычных задач проектирования, необходимо определять степень рационального использования основных средств реконструируемого цеха (отделения, участка).

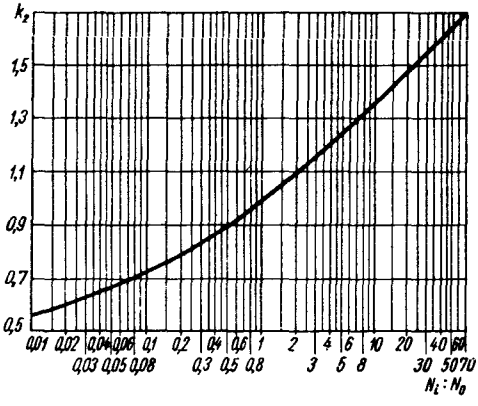


Рис. 1. Зависимость коэффициента k_2 изменения трудоемкости изделия от отношения заданного его выпуска N_i к расчетному выпуску N_0 в шт., для которого трудоемкость τ_0 данного изделия известна

Из вышеизложенного вытекает, что базой для разработки проекта цеха служит заданная программа производства, включенная в утвержденное задание на проектирование. Она представляет собой перечень подлежащих изготовлению изделий с подразделением на конструктивно однородные группы и с указанием годового выпуска их в количественном (штучном и весовом) выражении.

При проектировании цехов (отделений, участков) серийного и единичного производства, когда номенклатура заданных изделий обширна и разнообразна по типоразмерам, с целью уменьшения объема и стоимости проектных работ и сокращения сроков проектирования производят приведение номенклатуры заданных изделий к сокращенной номенклатуре «изделий — представителей программы» следующим образом [10].

В каждой группе конструктивно однородных изделий, включенных в заданную программу производства, выбирают изделие-представитель, которое:

а) обеспечено всеми необходимыми данными для проектирования (чертежи, спецификации);

б) наиболее полно объединяет все характерные (конструктивные и технологические) особенности представляемой им группы изделий;

в) по своему единичному весу G_0 отличается не более чем вдвое от веса G_i каждого из остальных изделий группы, т. е. удовлетворяет условию

$$0{,}5 \leqslant (G_i : G_0) \leqslant 2. \qquad (1)$$

Приведенную программу получают умножением указанных в заданной программе количеств каждого типа изделий на соответствующие коэффициенты приведения и последующим суммированием этих произведений по каждой группе приводимых изделий. При этом применяют коэффициент приведения по весу $k_в = \frac{G_i}{G_0}$ и коэффициент приведения по трудоемкости $k_{тр} = k_1 k_2 k_3$, где коэффициенты учитывают влияние на трудоемкость изделия основных его производственно-технических характеристик:

k_1 - единичного веса (массы) изделия на относительную его трудоемкость,

$$k_1 = \left(\frac{G_i}{G_0}\right)^{\frac{2}{3}};$$

k_2 — относительного изменения трудоемкости изделия в зависимости от количественного его выпуска, определяют по эмпирическим данным (рис. 1);

k_3 — относительной сложности приводимого изделия на его трудоемкость, принимают приближенно равным отношению общего числа деталей n_i — приводимого изделия к числу деталей n_0 — изделия-представителя:

$$k_3 = \frac{n_i}{n_0}.$$

Коэффициент $k_в$ служит для определения приведенных количеств изделий при сохранении заданного веса годового выпуска приводимых изделий. С помощью этого коэффициента находят потребность проектируемого производства в основных и вспомогательных материалах.

Коэффициент $k_{тр}$ применяют для определения приведенных количеств изделий при сохранении трудоемкости работ для изготовления заданных изделий по каждой группе. Этим коэффициентом пользуются при вычислении потребных для выполнения заданной программы количеств рабочих, оборудования, рабочих мест и производственной площади цеха (отделения, участка).

РЕЖИМ РАБОТЫ И ФОНДЫ ВРЕМЕНИ

Обычный режим работы в цехах машиностроительных заводов нашей страны определяется семидневной прерывной рабочей неделей и двухсменным рабочим днем. При этом, по согласованию с Госстроем СССР, для проектирования машиностроительных заводов принимают 40-часовую рабочую неделю ($t_н$ — 40 ч).

4. Расчетные значения потерь рабочего времени в % от номинального фонда времени

Обозначения в формулах	Наименования потерь	Потери в %
$p_н$	Невыход на работу по болезни и другим уважительным причинам	4
$p_о$	Периодический отдых в рабочее время (учитывается только при выполнении ручных работ на конвейере) в зависимости от веса собираемых деталей, темпа и слежности работ	5—8
$p_д$	Ежегодный непрерывный профессиональный отпуск:	
	двухнедельный	4
	трехнедельный	6
	четырехнедельный	8
$p_р$	Осмотры и частичный ремонт оборудования в рабочее время в зависимости от сложности оборудования при его работе:	
	в одну смену	2
	в две смены	3—6
	» три »	4—10

Примечание. Продолжительность профессионального отпуска устанавливают в соответствии с трудовым законодательством в зависимости от условий работы и профессии рабочего.

В проектах сборочно-сварочных цехов принимают:

а) четырехнедельный отпуск – для рабочих, выполняющих дуговую и газовую сварку и резку в любых условиях в помещении и сопряженные с этими процессами работы, а также травление металла;

б) трехнедельный отпуск – для рабочих, выполняющих дуговую и газовую сварку и резку при наружных работах, контактную сварку, очистку металла сухим способом и вспомогательные работы на участках горячих работ;

в) двухнедельный отпуск – для рабочих, выполняющих прочие работы в нормальных условиях.

Принимая во внимание, что из числа восьми дополнительных нерабочих дней (1 января, 8 марта, 1, 2 и 9 мая, 7 и 8 ноября и 5 декабря) в среднем семь дней не совпадают с общими выходными днями, можно считать [10], что общее расчетное число рабочих недель в году составляет 51. Поэтому номинальные годовые фонды времени рабочих $F_н$ и оборудования $F_к$ составляют соответственно:

$$F_н = 51t_н = 51 \cdot 40 = 2040 \text{ ч}; \quad (2)$$

$$F_к = F_н n_{см} = 2040 \cdot 2 = 4080 \text{ ч} \quad (3)$$

(при числе рабочих смен в сутки $n_{см} = 2$).

Действительные годовые фонды времени рабочих $F_р$, станочного и другого механизированного оборудования $F_с$ и немеханизированных рабочих мест $F_м$ получают из соответствующих им номинальных путем вычитания принятых расчетных значений неизбежных потерь рабочего времени (табл. 4):

$$F_р = F_н [1 - 0{,}01 (p_н + p_о + p_д + p_р)] \text{ ч}; \quad (4)$$

$$F_с = F_к [1 - 0{,}01 (p_р + p_о)] \text{ ч}; \quad (5)$$

$$F_м = F_к (1 - 0{,}1 p_о) \text{ ч}. \quad (6)$$

РАЗРАБОТКА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЕГО ВАРИАНТОВ

Разработке технологического процесса изготовления заданных изделий предшествует расчленение каждого из них (по чертежам) на технологические узлы, намечаемые к сборке и сварке на отдельных рабочих местах.

При разработке проекта единичного и мелкосерийного производства производственный процесс заимствуют из соответствующего типового проекта и корректируют его применительно к заданной программе производства с учетом новых достижений техники либо составляют «маршрутный» технологический процесс.

При составлении ведомости маршрутной технологии выясняют (и вносят в ведомость) необходимые типы технологического, контрольного и транспортного оборудования и оснастки, намечают специальности и квалификацию (разряд) рабочих, потребное количество их на каждом рабочем месте и устанавливают приближенно продолжительность работ на всех рабочих местах. При этом рекомендуется использовать соответствующую справочную литературу (см. стр. 457). Трудоемкость изготовления сварных узлов и изделий в этих случаях определяют по показателям ранее выполненных проектов или по отчетным данным действующих передовых предприятий, изготовляющих аналогичные либо конструктивно подобные заданным изделия.

При составлении проекта крупносерийного или массового производства производственный процесс разрабатывают с необходимой степенью детализации (в зависимости от типа производства) по каждому отделению (участку) проектируемого цеха в отдельности. По сборочно-сварочным отделениям разрабатывают процессы сборки и сварки одной транспортной партии узлов (изделий), а при поштучной их передаче (в отделении цеха) — процессы сборки и сварки единицы узла или изделия. По заготовительному отделению проектируемого цеха детальный технологический процесс составляют на обработку единицы проката металла и на последующее изготовление одной транспортной партии деталей. При этом трудоемкости операций определяют техническим нормированием [2], а продолжительности работ на каждом сборочно-сварочном стенде и на каждом станке — посредством составления циклограмм этих работ [10]. Значения трудоемкостей на годовую программу производства получают умножением отдельных трудоемкостей (сборки, сварки, обработки и т. п.) изготовляемой расчетной единицы (транспортной партии) на количество таких единиц в заданной программе.

В результате детальной разработки технологических процессов должны быть достигнуты:

наименьшая трудоемкость всех производственных операций путем применения высокопроизводительных способов и приемов работ, рациональных сборочных приспособлений, совершенной аппаратуры и оборудования, комплексной механизации и автоматизации процесса;

минимальная продолжительность производственного цикла изготовления изделий;

наименьшее общее потребное количество рабочих, участвующих в выполнении производственного процесса, путем совмещения профессий, многостаночного обслуживания и комплексной механизации и автоматизации производства;

наилучшее (с высокой загрузкой) использование производственного, транспортного и вспомогательного оборудования;

наименьшее количество отходов материалов;

наименьший расход производственной энергии.

При разработке технологических процессов используют особые бланки (ведомости технологического процесса, технологические и инструкционные карты). Разработка технологии изготовления изделий единичного и мелкосерийного производства ограничивается составлением технологических (маршрутных) ведомостей. В проектах цехов (отделений, участков) серийного производства для основных наиболее характерных и сложных изделий составляют технологические карты, а для прочих изделий — технологические (маршрутные) ведомости. Для всех изделий крупносерийного и массового производства разрабатывают подробные технологические карты, дополняемые (преимущественно при массовом производстве) инструкционными картами для каждого рабочего места или по каждой операции.

В итоге составления технологического процесса устанавливают по каждой его операции требуемый качественный состав основных элементов проектируемого производства. Кроме того, путем подсчетов значений годовой трудоемкости по каждому предусмотренному виду станочных и ручных работ получают исходные данные для определения необходимого количественного состава элементов производства.

Существенную часть разработки технологического процесса составляет установление рациональных режимов сварки, зависящих от свойств свариваемых материалов, их толщины и конструктивных форм выполняемых соединений. Согласно теории тепловых расчетов при сварке основным обобщенным параметром режима дуговой сварки служит погонная энергия $\left(\frac{q}{v}\right.$ или $\left.\frac{J}{v}\right)$. Другим основным параметром режима дуговой сварки является расчетная скорость w_0 охлаждения околошовного участка сварного соединения, обусловливающая возможность образования в нем неблагоприятных (хрупких) структур и неоднородности свойств. Оба эти параметра связаны между собой расчетными номограммами {[17], ГОСТ 13585—68}.

Допускаемые для металла каждой марки пределы значений w_0 устанавливают по результатам исследований его свариваемости.

Одним из существенных показателей свариваемости, определяющих технологическую и эксплуатационную надежность сварных соединений, является их сопротивляемость образованию трещин, которая при прочих равных условиях зависит от химического состава металла шва, условий его кристаллизации (горячие трещины) и характера изменений структуры в зоне термического влияния (холодные трещины). Подробные рекомендации по определению сопротивляемости образованию трещин приведены в гл. VI настоящего тома.

Приближенно обобщенное влияние химического состава основного металла низколегированной стали на ее сопротивляемость образованию трещин при сварке принято выражать посредством эквивалента углерода $C_э$, числовое

значение которого подсчитывают по различным эмпирическим формулам. Достаточно полно эквивалент углерода определяют по следующей формуле:

$$C_э = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{15} + \frac{Mo}{4} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} + 0{,}0024\,t, \qquad (7)$$

где символ каждого химического элемента означает его максимальное содержание в процентах по ГОСТу для стали данной марки, а буква t в последнем члене формулы — толщину (в *мм*) свариваемых встык деталей. Для ответственных сварных конструкций может быть допущена сталь с содержанием $C \leqslant 0{,}22\%$ и $C_э \leqslant 0{,}50\%$.

Пользуясь формулой (7), устанавливают (в соответствии с данными табл. 5) степень сложности технологии сварки углеродистых и низколегированных сталей перлитного класса, обеспечивающую отсутствие трещин в околошовных участках сварных соединений.

5. Степень сложности технологии сварки различных углеродистых и низколегированных сталей перлитного класса в зависимости от их химического состава

Эквивалентное содержание углерода в свариваемых сталях в %	Технологический процесс, обеспечивающий удовлетворительное качество сварных соединений
До 0,25	Сварка в обычных условиях (без подогрева)
Св. 0,25 до 0,35	Сварка с предварительным низким подогревом (423—473 °К) и с последующей термической обработкой (нормализация или отпуск)
» 0,35 » 0,50	Сварка с предварительным высоким подогревом (773 - 873 °К) либо в некоторых случаях с сопутствующим подогревом и с последующей термической обработкой (нормализация или отпуск)

Примечание. При сварке изделий с небольшой массой либо в условиях малой интенсивности отвода тепла указанная в таблице степень сложности технологии выполнения сварных соединений может быть снижена путем применения соответствующих повышенных режимов сварки.

Аналогичная классификация сталей по разрезаемости их струей кислорода в зависимости от эквивалента углерода, определяемого по соответствующей другой формуле, приведена С. Г. Гузовым и О. Ш. Спектором [18].

Для оценки свариваемости сталей используют также следующую сокращенную формулу:

$$C_э = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr + Mo + V}{10}. \qquad (8)$$

Применительно к этой формуле на фиг. 2 представлена графически зависимость необходимой и достаточной для предотвращения образования трещин начальной (перед сваркой) температуры низколегированной стали от величины эквивалента углерода $C_э$ и толщины свариваемых деталей δ, значениям которой пропорциональна скорость охлаждения околошовного участка зоны термического влияния. График построен для случая ручной дуговой сварки низколегированной стали электродами диаметром 5 *мм* с покрытием основного типа при погонной энергии ~1,6 *Мдж/м* (~ 3,8 *ккал/см*). Скорость охлаждения зависит

не только от толщины свариваемых деталей, но и от конструкции сварного соединения, обусловливающей в различных случаях разную интенсивность теплоотвода в околошовных участках (рис. 3). Поэтому на графике (рис. 2) по оси абсцисс дано два ряда значений толщины свариваемого металла: в верхнем ряду обозначены толщины металла стыкового и бортового соединения, а в нижнем — таврового и внахлестку. Поле графика разделено ломаными линиями на отдельные области различного уровня начальной температуры (в °К) деталей перед сваркой.

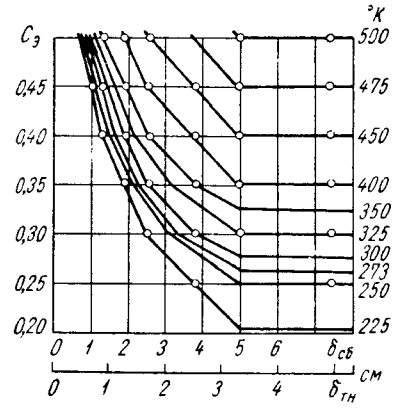


Рис. 2. Зависимость между эквивалентом углерода в стали, конструкцией соединения, толщиной свариваемых деталей и допускаемой минимальной температурой их перед сваркой

Разработка производственного процесса изготовления заданных изделий обычно допускает различные варианты решений. На основе технико-экономического сравнения выбирают наиболее целесообразный из них. При этом технические достоинства и недостатки оценивают, используя следующие основные характеристики и показатели:

1) прогрессивность технологии производства, определяемая высокой производительностью применяемых сварочных процессов, отсутствием существенных препятствий для комплексной их механизации и автоматизации, возможностью достижения высокого качества заданной продукции и снижения ее трудоемкости при обеспечении безопасности и безвредности выполняемых работ;

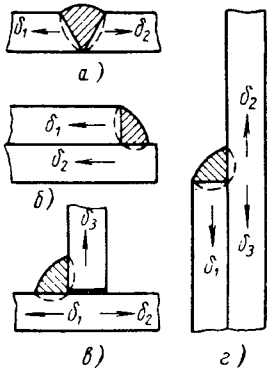


Рис. 3. Схемы типовых соединений, отличающихся различной скоростью охлаждения при сварке: *а* — стыковое; *б* — бортовое; *в* — тавровое; *г* — внахлестку; интенсивность и направление теплоотвода обозначены количеством и направлением стрелок

2) длительность производственного цикла изготовления заданных изделий (при одинаковом качестве продукции лучшему варианту присуща наименьшая длительность производственного цикла);

3) габариты и вес необходимого технологического оборудования (при одинаковом качестве продукции лучшему варианту присущи наименьшие габариты и вес оборудования);

4) площадь и кубатура здания цеха, необходимые для размещения производственного процесса (при одинаковом качестве продукции лучший вариант отличается наиболее компактным размещением производственного процесса);

5) потребное количество рабочего и обслуживающего персонала для изготовления заданной продукции (при одинаковом качестве и темпах изготовления продукции лучший вариант требует наименьшего количества указанного персонала);

6) удельные показатели производительности, определяемые годовым выпуском продукции на одного рабочего и на 1 $м^2$ производственной площади.

Техническую оценку сравниваемых вариантов технологии производства всегда дополняют их экономической оценкой ([10, 12, 16, 23, 24 и гл. X настоящего тома справочника). Для этого при проектировании выполняют графическое построение прямых, выражающих по каждому сравниваемому

ва рианту зависимость суммы приведенных затрат от величины годового выпуска изделий [10].

Графический метод позволяет обеспечить не только приведение сравниваемых вариантов проекта к одинаковому годовому выпуску изделий и определить сравнительный экономический эффект, но и установить рациональные пределы годового выпуска продукции для каждого из них.

МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

В разработке проекта сборочно-сварочного цеха необходимо учитывать, что наибольшее повышение производительности труда достигается организацией поточных методов работы и осуществлением комплексной механизации и автоматизации производственных процессов.

Основными расчетными параметрами всякой поточной линии, определяющими меру ритмичности и непрерывности ее работы, служат такт производства и ритм потока.

Такт производства (r) представляет собой расчетную величину промежутка времени между выпуском одного и выпуском изготовляемого непосредственно за ним другого такого же изделия:

$$r = \frac{F}{N}, \tag{9}$$

где F — действительный годовой фонд времени оборудования и рабочих мест поточной линии, а N — количество изделий, изготовляемых на поточной линии в течение года.

Ритм потока (R) представляет собой расчетный промежуток времени между последовательными передачами с одного рабочего места на другое равных количеств (транспортных партий) одинаковой продукции. Величина ритма потока может быть различной в разных местах производственного потока. Она зависит от величины транспортной партии n_m и от количества одинаковых узлов n_y, входящих в состав изготовляемого изделия. Поэтому для поточной линии, изготовляющей эти узлы,

$$R = r\frac{n_m}{n_y}, \tag{10}$$

а для поточной линии общей сборки изделия при $n_y = 1$

$$R = r. \tag{10а}$$

Для обеспечения ритмичной работы внутрицеховых транспортных средств необходимо, чтобы числовые значения R и r были в кратных соотношениях между собой и с продолжительностью смены. Следовательно, во всех случаях ритм потока либо равен такту производства, либо в целое число раз больше или меньше его.

Строгая ритмичность и непрерывность работы каждой поточной линии достигаются лишь при равной или кратной такту производства продолжительности операций на всех ее рабочих местах. Это требование удовлетворяется путем синхронизации рабочих операций.

Другим расчетным параметром поточной линии, определяющим ее производительность в единицу времени (или пропускную способность), является темп выпуска продукции

$$Q = \frac{1}{r} = \frac{N}{F}. \tag{11}$$

При разработке производственного процесса необходимо стремиться к достижению наименьшей длительности производственного цикла $T_ц$ изготовления изделия

$$T_{ц\min} = \frac{\tau_{\min} l_{u\min}}{L_{u\max}} = \frac{\tau_{\min}}{\sigma_{p\max} n_{м\max}}, \qquad (12)$$

где τ — трудоемкость работ на поточной линии;

L_u и l_u — общий и удельный фронт работ на поточной линии;

σ_p — плотность работ; $n_м$ — количество рабочих мест на проектируемом участке.

Эксплуатация автоматических поточных линий характеризуется неизбежностью потерь времени ($p_н < 1$) на настройки их после возможных случайных отказов в работе отдельных агрегатов. Поэтому при расчете параметров таких поточных линий следует учитывать коэффициент использования ($\eta_л = 1 - p_н$) действительного фонда времени $F_с$ оборудования, включенного в их состав. Таким образом, расчетные параметры автоматических поточных линий будут:

такт производства $r_a = r\eta_л$;

ритм потока $R_a = R\eta_л$,

темп выпуска продукции $Q_a = \dfrac{Q}{\eta_л}$,

т. е. $r_a < r$, $R_a < R$ и $Q_a > Q$.

Для большинства существующих в машиностроении автоматических сборочно-сварочных линий коэффициент их использования $\eta_л = 0{,}70 \div 0{,}75$. Более высокие значения этого коэффициента при проектировании автоматических линий могут быть приняты, если предусмотреть следующие организационно-технические мероприятия: 1) поузловой ремонт элементов и устройств автоматических линий; 2) установку параллельных резервных агрегатов (рабочих мест), наиболее подверженных выходу из строя в процессе их эксплуатации (если только это мероприятие не потребует существенного увеличения капитальных затрат); 3) расчленение автоматических линий на отдельные участки с установкой между ними механизированных пульсирующих накопителей полуфабрикатов изготовляемой продукции.

Перечисленные мероприятия могут быть применены на отдельных участках проектируемых автоматических линий как раздельно, так и совместно, в зависимости от конкретных условий и технико-экономической целесообразности. Наиболее эффективны первое и третье мероприятия. При этом следует предусматривать установку накопителей для пульсирующих заделов после агрегатов, наиболее подверженных отказам в работе. Емкость таких накопителей должна обеспечивать бесперебойную работу участка автоматической линии, расположенного после накопителя, на все время ликвидации неисправности отказавшего агрегата на предыдущем участке. Емкость a каждого межучасткового накопителя должна обеспечивать вместимость десятикратного числа полуфабрикатов, накапливающихся (или расходуемых) на протяжении $t_н$ настройки средней длительности:

$$a \approx 10 \frac{t_н}{r_a}, \qquad (13)$$

где r_a — заданный для проектируемой линии такт производства.

Кроме того, для расчлененной автоматической линии расчетная величина ритма потока

$$R_a = \frac{F_с \eta_л}{N} \cdot \frac{n_m}{u_y}$$

должна быть обеспечена только на последнем участке, выдающем законченную продукцию. На предыдущих участках величина ритма потока должна быть соответственно меньше с таким расчетом, чтобы полуфабрикаты, изготовляемые в единицу времени на этих участках в количестве, большем, чем потребляет

каждый последующий участок за то же время, накапливались в промежуточных между этими участками накопителях.

Результаты разработки и внедрения в проект сборочно-сварочного цеха комплексной механизации и высшей ее ступени — автоматизации производственных процессов — оценивают особыми показателями — $У_1$ и $У_2$ (см. гл. IX), определяющими достигнутые степень и уровень механизации и автоматизации предусмотренных в проекте работ по изготовлению заданных к выпуску изделий.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЕКТИРУЕМОГО СОСТАВА ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОИЗВОДСТВА

В качестве основных критериев для правильного выбора рациональных типов оборудования и оснастки следует принимать конструктивные их признаки и эксплуатационные технико-экономические характеристики, приведенные в соответствующих разделах «Справочника».

Количественный состав станочного оборудования n_0 и сборочно-сварочных мест $n_м$ каждого выбранного типа устанавливают расчетным путем по формулам

$$n_0 = \frac{T_c}{F_c}, \qquad n_м = \frac{T_м}{F_м} = \frac{T_ч}{\sigma_p F_м}, \tag{14}$$

где T_c, $T_м$ и $T_ч$ — трудоемкость работ на годовую программу, закрепленных за станочным оборудованием или сборочно-сварочным местом каждого данного типа (соответственно — в станко-часах, место-часах или человеко-часах);

σ_p — плотность работ в чел./рабочее место;

F_c и $F_м$ — действительный годовой фонд времени станочного оборудования и рабочих мест соответственно.

При детальном проектировании поточных линий

$$n_0 = \frac{\tau_c}{r}; \qquad n_м = \frac{\tau_м}{r}, \tag{15}$$

где r — такт производства в *мин*;

τ_c и $\tau_м$ — трудоемкость станочных и сборочно-сварочных операций на одно изделие заданной программы, выполняемых на оборудовании либо на рабочем месте каждого данного типа (обычно трудоемкость операций численно равна их продолжительности: τ_c станко-минут $= t_c$ минут и $\tau_м$ место-минут $= t_м$ минут).

Потребное количество $n_{тр}$ единиц транспортного оборудования (самоходных тележек) и количество рейсов $N_р$ для перевозки в пролете за одну смену грузов, закрепленных за данным видом транспортных средств, определяют по формулам

$$n_{тр} = \frac{N_р\left(\frac{2L_р}{v_{тр}} + t_{см}\right)}{3600 t_{с.м}(1 - 0.01 p_з)}; \qquad N_р = \frac{\Sigma G_т}{Q k_г}, \tag{16}$$

где $\Sigma G_т$ — суммарный вес грузов в *т*, перевозимых в течение смены данным видом транспортных средств;

Q — грузоподъемность самоходной тележки (от 0,4 до 5,0 *т*); $k_г$ — коэффициент использования грузоподъемности тележки (в среднем $k_г = 0{,}8$); $L_р$ — средняя длина рейса в один конец в *м*; $v_{тр}$ — средняя скорость движения самоходных тележек (2—3 *м/сек*); $t_{см}$ — средняя продолжительность стоянок при погрузке и разгрузке за один рейс в *сек*; $p_з$ — потери рабочего времени на смену аккумуляторов либо на заправку горючим (3—6% от продолжительности рабочей смены); $t_{с.м}$ — продолжительность рабочей смены в *ч*.

Потребное количество козловых, портальных либо мостовых кранов в пролете назначают, исходя из интенсивности грузопотока в нем. В этом случае за каждым транспортным устройством закрепляют определенную длину пролета (в цеховых складах металла и готовой продукции 60—80 *м*, в заготовительном отделении 40—60 *м*, в сборочно-сварочных отделениях 30—50 *м*). Кроме того, принятое в проекте распределение подъемно-транспортных работ между кранами и другими транспортными средствами, а также степень загрузки кранов проверяют и корректируют на основе результатов разработки графика движения кранов [10].

Потребность проектируемого цеха в материалах и энергии определяют из расчета выполнения заданной годовой программы производства.

Потребность в прокате каждой марки (при наличии заготовительного отделения в составе цеха) устанавливают по каждой группе его сортамента в отдельности, пользуясь формулой

$$G_{пр} = \frac{\sum g_{пр}}{1 - 0{,}01 p_{от}}, \qquad (17)$$

где $\Sigma g_{пр}$ — сумма чистого веса деталей, предусмотренных к изготовлению на годовую программу из металла данного сортамента; $p_{от}$ — количество отходов проката в %; принимают по средним данным 2—8%.

Годовую потребность в электродах (или в электродной проволоке) для дуговой сварки и наплавки определяют по формуле

$$G_э = \sum \frac{G_н N}{k_п} (1 + k_э), \qquad (18)$$

где $G_н$ — вес наплавленного металла на одно изделие; N — количество изделий на годовую программу; $k_п$ и $k_э$ — соответственно коэффициент перехода металла из электрода в шов и отношение веса электродного покрытия к весу электродной проволоки, принимают по паспортным данным электродов и технологическим характеристикам отдельных способов сварки плавлением.

Потребность в других сварочных и вспомогательных материалах, а также в энергии, используемой в сварочных процессах, определяют по технологическим характеристикам каждого из предусмотренных в проектируемом цехе способов сварки, описанных в соответствующих разделах «Справочника».

Качественный состав (т. е. требуемую квалификацию) производственных и вспомогательных рабочих цеха устанавливают на основе данных тарифно-квалификационного справочника ВЦСПС.

Общее потребное для цеха (отделения, участка) списочное $K_с$ и явочное $K_я$ количество производственных рабочих определяют путем суммирования:

$$K_с = \sum \kappa_с \text{ чел.}; \qquad K_я = \sum \kappa_я \text{ чел.}, \qquad (19)$$

где $\kappa_с$ и $\kappa_я$ — расчетные значения соответственно списочного и явочного состава производственных рабочих каждой в отдельности специальности, предусмотренных технологическим процессом изготовления заданных изделий,

$$\kappa_с = \frac{T_ч}{F_р}; \qquad \kappa_я = \frac{T_ч}{F_н}. \qquad (20)$$

Для каждой данной специальности рабочих значения $T_ч$ — трудоемкости работ (в чел.-час.) на годовую программу, определяют по показателям трудоемкости заданных изделий или путем выборки из карт технологического процесса; $F_р$ и $F_н$ — соответственно действительный и номинальный годовые фонды времени рабочего, определяют по формулам (2) и (4).

Общее явочное количество рабочих распределяется по сменам в соответствии с коэффициентом сменности рабочих (отношение общего явочного количества

рабочих к их количеству в наиболее многочисленной смене), который в сборочно-сварочных цехах машиностроительных заводов находится в пределах $k_p = 1{,}2 \div 1{,}9$.

Примерное количественное соотношение различных групп списочного состава работающих в сборочно-сварочных цехах составляет: а) вспомогательные рабочие — 25—30% от числа производственных рабочих; б) инженерно-технические работники, счетно-конторские служащие, младший обслуживающий персонал соответственно $(8 \div 10) + (2 \div 4) + (1{,}5 \div 3) = 11{,}5 \div 17\%$ от числа всех рабочих.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА

В соответствии с различными типами сварочных производств и разновидностями их организации в практике проектирования сборочно-сварочных цехов, размещенных в одноэтажных зданиях, установились определенные схемы взаимного расположения (компоновки) включаемых в их состав следующих производственных отделений и участков, а также вспомогательных, бытовых и прочих помещений (рис. 4—8): *I* — склад металла, *II* — кузнечно-прессовое отделение,

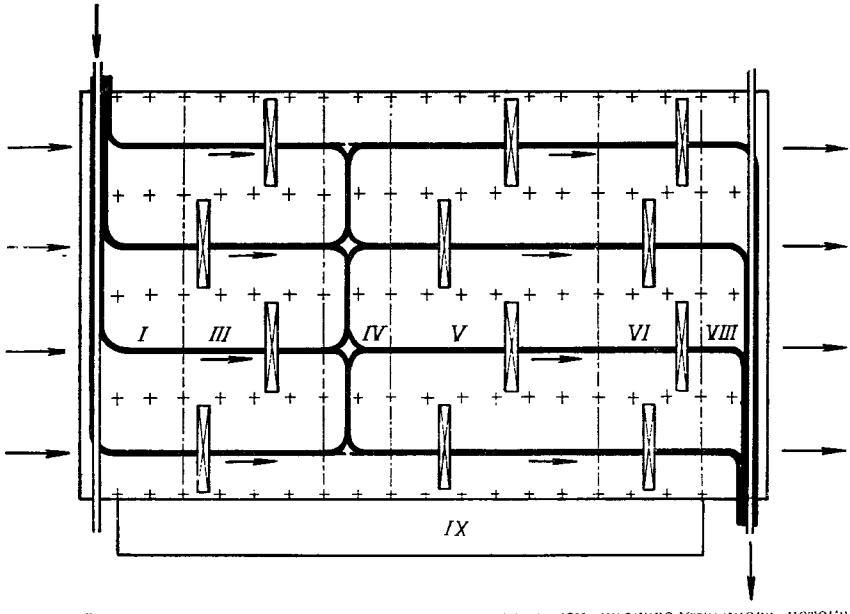


Рис. 4. Схема компоновки цеха с продольным направлением производственного потока

III — заготовительное отделение, *IV* — комплектовочный промежуточный склад, *V* — отделение узловой сборки-сварки, *VI* — отделение общей сборки-сварки, *VII* — отделение покрытий и отделки продукции, *VIII* — склад готовой продукции, *IX* — административно-конторские, служебные и бытовые помещения, *X* — пожарные проезды.

Каждая типовая схема удовлетворяет требованиям организации отдельных разновидностей сварочного производства. Направления грузопотоков в пределах

цеха, а также ввоза металла в цех и вывоза продукции из цеха показаны на схемах стрелками.

В цехе с продольным направлением производственного потока (рис. 4) последний на всем протяжении совпадает с направлением, заданным на плане завода. Продольное перемещение обрабатываемого металла и изготовляемых деталей, узлов и изделий осуществляется обычно мостовыми кранами, а поперечное (на складах) — самоходными тележками (электро-, автокарами и т. п.). Специализация пролетов в заготовительном отделении — по группам сортамента обрабатываемого металла, а в отделениях узловой и общей сборки-сварки — по типоразмерам изготовляемых изделий. Эта схема рекомендуется для всех типов производства различных несложных изделий.

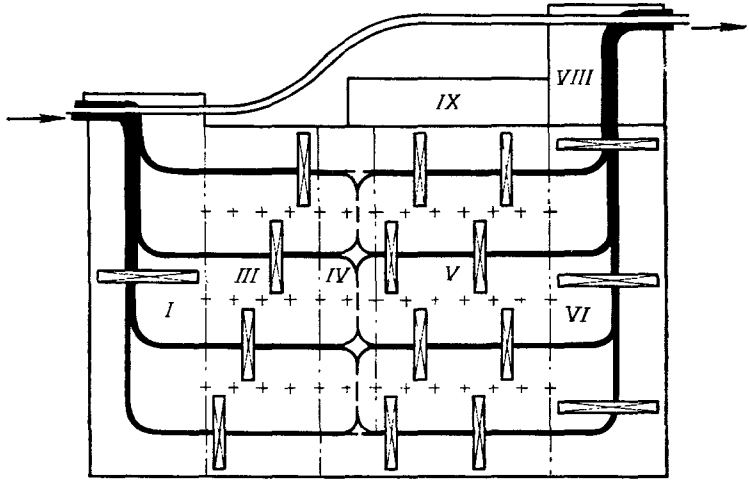


Рис. 5. Схема компоновки цеха со смешанным направлением производственного потока

В цехе со смешанным направлением производственного потока (рис. 5) в отделениях заготовительном и узловой сборки-сварки он совпадает с заданным на плане завода направлением, а в пролете общей сборки-сварки — перпендикулярен ему. Перемещения всех грузов и специализация пролетов организуются так же, как по схеме рис. 4. Размещение процессов изготовления узлов по продольным пролетам отделения узловой сборки сварки обусловлено расположением процесса общей сборки-сварки в заключительном поперечном пролете цеха. Схема рекомендуется для массового (реже крупносерийного) производства однотипных сложных изделий.

Схема на рис. 6 отличается от предыдущей (рис. 5) только наличием большого отделения покрытий и отделки готовой продукции. Этот заключительный производственный процесс расположен в продольном пролете после поперечного пролета общей сборки-сварки.

При продольно-поперечном направлении производственного потока (рис. 7) он совпадает с направлением, заданным по плану завода. Наряду с этим часть производственного потока систематически перемещается в поперечном направлении — из одного пролета в другие и обратно. Продольные перемещения деталей, узлов и изделий осуществляются на вагонетках по рельсовым путям. Поперечные перемещения (подача к манипуляторам, автоматам и другому высокопроизводительному оборудованию, обслуживающему несколько пролетов)

выполняются мостовыми кран-балками. Специализация пролетов организуется так же, как по схеме на рис. 4. Схема рекомендуется для серийного и единичного производства громоздких изделий, в том числе строительных металлоконструкций.

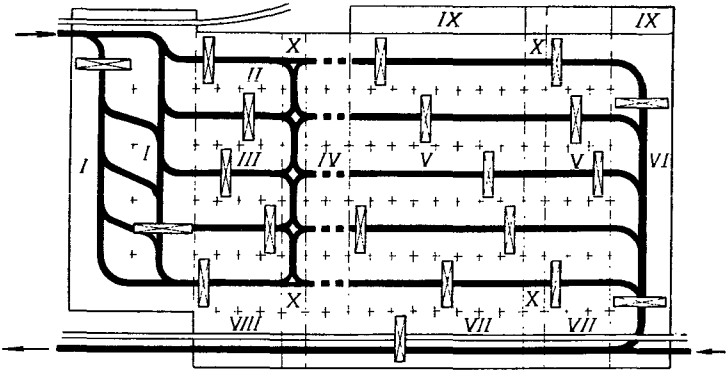


Рис. 6. Схема компоновки со смешанным направлением производственного потока в цехе с большим отделением покрытий и отделки продукции

В цехе с петлевым направлением производственного потока (рис. 8) он дважды отклоняется от заданного на плане завода попеременно в разные стороны. Склады металла и готовой продукции располагаются рядом и обслуживаются

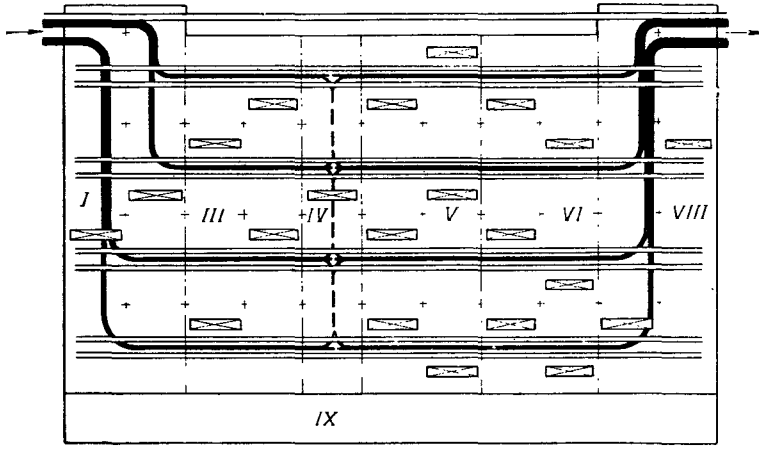


Рис. 7. Схема компоновки цеха с продольно-поперечным направлением производственного потока

одними путями для ввоза и вывоза. Перемещения всех грузов и специализация пролетов заготовительного отделения организуются так же, как по схеме на рис. 4. В отделении узловой сборки-сварки пролеты специализируются на изготовлении различных узлов выпускаемого изделия. Возможно применение коль-

цевой (замкнутой) системы транспортеров (конвейеров). Схема рекомендуется для серийного и массового производства однотипных и относительно несложных изделий.

В целях снижения стоимости строительства промышленных зданий Госстрой СССР утвердил унифицированные типовые секции и пролеты для строительства всех производственных зданий ряда отраслей промышленности. Для цехов машиностроительных заводов установлены унифицированные типовые секции следующих размеров в плане:

основные секции (для продольных пролетов) — 144 × 72 и 72 × 72 *м* с сеткой колонн 24 × 12 и 18 × 12 *м*, где размер 12 *м* представляет собой шаг колонн, а размеры 18 и 24 *м* означают ширину пролетов (между осями колонн);

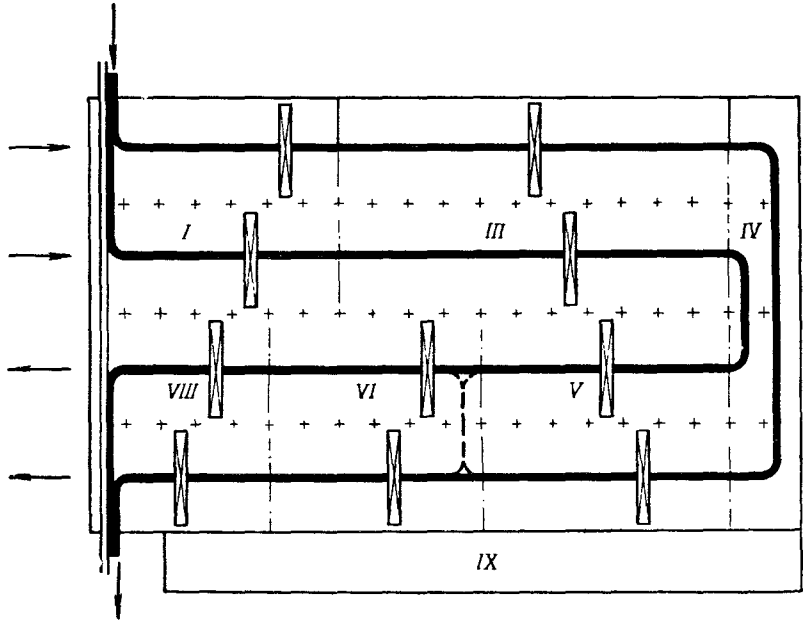


Рис. 8. Схема компоновки цеха с встречным направлением производственного потока

дополнительные секции (для поперечных пролетов) — 24 × 72, (24 ÷ 24) × × 72 и 30 × 72 *м*, где 24 и 30 *м* — ширина пролетов.

Указанная длина унифицированных типовых секций, а также количество пролетов в них могут быть в отдельных случаях изменены с учетом технико-экономических обоснований целесообразности таких изменений, вытекающих из требований рационального размещения производственного процесса в проектируемом цехе.

Таким образом, общая площадь каждой компоновочной схемы (см. рис. 4—8) должна состоять из площадей некоторого целого числа унифицированных типовых секций.

Для выполнения чертежей приняты следующие масштабы: 1) для планов компоновочных схем 1 : 1000 и 1 : 500; 2) для технологических планов с показанием размещения оборудования и рабочих мест 1 : 200 или 1 : 400 (для особо крупных цехов 1 : 800); 3) для разрезов здания цеха 1 : 200.

Придерживаясь выбранной схемы компоновки проектируемого сборочно-сварочного цеха, на его плане в принятом стандартном масштабе размещают

«знаки» («габариты») типоразмеров оборудования и рабочих мест, предусмотренных в разработанном производственном процессе. При этом соблюдают установленные нормальные размеры пролетов (табл. 6), допускаемые расстояния между оборудованием, складочными местами и элементами здания (табл. 7), а также размеры проходов, проездов и проемов в пролетах цеха (табл. 8). Подсчет размеров и размещение на плане цеховых складов и кладовых производят с учетом допускаемых для хранения запасов материалов, полуфабрикатов и продукции и допускаемых для них значений удельной площади (табл. 9 и 10).

6. Размеры пролетов в сборочно-сварочных цехах и соответствующая грузоподъемность подъемно-транспортных средств [13]

Размеры пролета в *м*			Грузоподъемность в *т*	
Ширина	Высота [1]	Отметка головки рельса подкранового пути	напольного транспорта	электрических кранов
Одноэтажные здания (шаг колонн 12 *м*), *оборудованные мостовыми кранами общего назначения*				
18	8.4 9.6; 10.8 12.6; 14.4	6.15 6.95; 8.15 9.65; 11.45	—	10 10; 20 10; 20; 30
24	8.4 9.6; 10.8 12.6; 14.4 16.2; 18.0	6.15 6.95; 8.15 9.65; 11.45 12.65; 14.45	—	10 10; 20 10; 20; 30 30; 50
30	12.6 14.4 16.2; 18.0	9.65 11.45 12.65; 14.45	—	10; 20; 30 20; 30 30; 50
Оборудованные напольным транспортом, а также подвесными и однобалочными кранами				
18 или 24	6.0; 7.2 8.4; 9.6; 10.8; 12.6	—	0.25; 0.5; 1; 2; 3; 5	
Многоэтажные здания (шаг колонн 6 *м*)				
6	4.8; 6.0	—	0.25; 0.5; 1; 1.5; 2; 2.5	
9	4.8; 6.0	—	0.25; 0.5; 1; 1.5	

[1] До низа перекрытия (в одноэтажном здании) или от пола до пола (в многоэтажном).

Примечания: 1. Ширину пролета 30 *м* и более разрешается принимать только при технико-экономическом ее обосновании.

2. При технологической необходимости высоту 18 *м* до низа перекрытия можно увеличивать на величину, кратную 1.8 *м*.

3. Основным критерием при выборе грузоподъемности транспортных средств является максимальный вес подлежащих перемещению грузов.

4. Для изготовляемых изделий и узлов весом 30 *т* и более грузоподъемность мостовых кранов в пролетах шириной 24 и 30 *м* может быть увеличена при соответствующем обосновании.

5. Подвесные краны в пролетах можно располагать в несколько рядов.

6. В многоэтажных зданиях при соответствующих обоснованиях допускается: а) высота первого этажа 7.2 *м*; б) при технологической необходимости в высоте этажа более 6 *м* назначать ее кратной 1.2 *м*; в) применять высоту этажа 4.2 *м*.

7. Допускаемые пределы минимальных расстояний между оборудованием (рабочими местами), складочными местами и элементами здания [13]

Определяемое минимальное расстояние	Допускаемые значения в *м*
Между колонной в стене цеха и боковой стороной станка или сборочно-сварочного стенда	0,5 – 2,6
Между колонной на границе смежных пролетов и боковой стороной станка или стенда	0,5 – 2,0
Между колонной в стене цеха и тыльной стороной станка или стенда	0,5 – 2,6
Между колонной на границе смежных пролетов и тыльной стороной станка или стенда	0,5 – 2,2
Между колонной в стене цеха и фронтом станка или стенда	1,2 – 2,4
Между колонной на границе смежных пролетов и фронтом станка или стенда	1,8 – 2,2
Между фронтом одного и тыльной стороной другого станка или стенда	1,0 – 3,0
Между тыльной одного и боковой стороной другого станка или стенда	0,5 – 1,6
Между тыльными сторонами двух станков или стендов	1,0 – 1,6
Между боковыми сторонами двух станков или стендов	0,5 – 3,0
Между фронтами двух станков или стендов	2,0 – 3,2
Между фронтом оборудования и складочным местом	1,0 – 1,6
Между двумя соседними складочными местами	1,0 – 1,4
Между тыльной стороной оборудования и складочным местом	1,0 – 1,2
Между боковой стороной оборудования и складочным местом	1,0 – 1,6

Примечание. Меньшие значения относятся к малогабаритным, а большие – к крупногабаритным (в плане) станкам, стендам и складочным местам.

8. Размеры проходов, проездов и проемов в пролетах сборочно-сварочного цеха [13]

Расположение прохода или проезда	Направление движения в пролете	Ширина проходов и проездов в *м* при разных видах применяемого транспорта				
		Малогабаритные самоходные тележки шириной до 0,5 *м*	Самоходные тележки шириной до 0,7 *м*	Малогабаритные штабелеры, электропогрузчики аккумуляторные типами шириной 1,2 *м*	Погрузчики с боковым грузоподъемником (для длинномеров) шириной 1,7 *м*	Рольганги, подвесные и напольные конвейеры
Между тыльными сторонами оборудования, рабочих мест и складочных мест	Одностороннее	1,1	1,3	1,8	2,3	—
	Двустороннее	1,6	2,0	3,0	4,0	—
Между тыльной стороной одного ряда и фронтовой стороной другого ряда оборудования или рабочих мест, включая рабочую зону	Одностороннее	1,8	2,0	2,5	3,0	—
	Двустороннее	2,5	2,9	3,9	—	—
Между фронтами двух рядов оборудования или рабочих мест, включая рабочую зону	Одностороннее	2,7	2,9	3,4	3,9	2 – наибольший размер ширины транспортных средств
	Двустороннее	3,4	3,8	—	—	

Продолжение табл. 8

Расположение прохода или проезда	Направление движения в пролете	Ширина проходов и проездов в м при разных видах применяемого транспорта				
		Малогабаритные самоходные тележки шириной до 0,5 м	Самоходные тележки шириной до 0,7 м	Малогабаритные штабелеры, электропогрузчики аккумуляторные тягачи шириной 1,2 м	Погрузчики с боковым грузоподъемником (для длинномеров) шириной 1,7 м	Рольганги, подвесные и напольные конвейеры
Между боковыми сторонами оборудования или рабочих мест	Одностороннее	1,1	1,3	1,8	2,3	0,2 наибольший размер ширины транспортных средств
	Двустороннее	1,6	2,0	3,0	4,0	

Примечания: 1. Ширина рабочей зоны 1 м.

2. Проезды шириной более 1,5 м принимать при соответствующем обосновании.

3. Центральный проезд для двустороннего движения между фронтами двух рядов оборудования или рабочих мест принимать шириной 3—4 м; этот размер можно увеличить при соответствующем обосновании.

4. Центральный проезд между фронтами двух рядов оборудования или рабочих мест для двустороннего движения по железнодорожным путям широкой колеи (1524 мм) принимать шириной 4,8 м, а узкой колеи (750 мм) — шириной 3,85 м.

5. Ширина проезда между боковыми сторонами оборудования или рабочих мест в случае применения подвесных конвейеров не нормируется.

6. В зависимости от технологических требований величину проемов (в стенах) для проездов и проходов, исходя из типовых строительных норм, следует принимать (ширина × высота) в м:

ворота 4,7 × 5,6; 4 × 4,2; 4 × 3; 3 × 3;

двери 1,79 × 2,3; 1,39 × 2,3; 1,09 × 2,3; 1,29 × 2; 1,09 × 2.

9. Расчетные значения запасов материалов, полуфабрикатов и продукции для хранения на складах сборочно-сварочного цеха и нормы грузонапряженности полезной площади складов [13]

Склад	Нормы запаса, соответствующего количеству рабочих дней производства			Нормы грузонапряженности полезной площади (в *т* на $м^2$), занимаемой материалами [4] с удельным весом	
	единичного и мелкосерийного [2]	серийного	крупносерийного и массового [3]	до 4	более 4
Металлы (листового и сортового)	10—8	6	4—2	1,0	2,5
Промежуточный заготовок, деталей и полуфабрикатов:					
крупных [1]	6—4	3	2—1	1 (0,8)	2,5 (1,5)
средних и мелких	12—8	6	4—2	0,4	1,0
Сварных изделий цеха:					
крупных [1]	6—4	3	2—1	0,6	1,5
средних и мелких	12—8	6	4—2	0,4	1,0

Примечания: 1. Для случаев непрерывной подачи заготовок и деталей запас их на промежуточном складе не предусматривается.

2. Коэффициент использования площади для всех цеховых складов рекомендуется принимать равным 0,4.

[1] Размеры в плане более 2 × 3,5 м.

[2] Меньшие цифры относятся к мелкосерийному, а большие — к единичному производству.

[3] Меньшие цифры относятся к массовому, а большие — к крупносерийному производству.

[4] Цифры в скобках относятся к крупным полуфабрикатам

10. Расчетные значения удельной площади производственных кладовых в заготовительных и сборочно-сварочных отделениях цехов сварочного производства [13]

Кладовая	Измеритель для определения площади	Норма удельной площади в м² для производства		
		единичного и мелкосерийного	серийного	крупносерийного и массового
Инструментально-раздаточная	На единицу заготовительного оборудования	0,5	0,5	0,4
	На единицу сборочно-сварочного оборудования	0,7	0,6	0,5
Вспомогательных материалов	На единицу технологического оборудования	0,2	0,15	0,1
Электродов, электродной проволоки и флюсов	На одного сварщика дуговой сварки:			
	ручной	0,25	0,2	0,1
	автоматической и полуавтоматической	0,5	0,4	0,3
Оснастки	На единицу заготовительного оборудования и на одно сборочно-сварочное рабочее место	0,5	0,4	0,2
Шаблонов	На 100 *м* выпуска цеха	0,2	0,15	0,1
Штампов	В % от производственной площади, занимаемой прессами	10	8	6

Затем, используя данными табл. 6 и учитывая максимальные габариты производственного оборудования, подлежащего установке в пролетах цеха, и предусмотренных к изготовлению изделий, определяют высоту пролетов и составляют чертежи поперечных разрезов здания цеха.

Расчет и составление планов и разрезов пролета административно-конторских и бытовых помещений проектируемого цеха выполняют с учетом требований санитарных норм проектирования промышленных предприятий, утвержденных Госстроем СССР.

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЕКТА ЦЕХА И ЕГО ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Экономический анализ принимаемых технических решений в проекте цеха производят на всем протяжении его разработки. Результирующие данные этого анализа находят отражение в заключительной части проекта, называемой «Основные данные и технико-экономические показатели» (табл. 11). При ее составлении используют итоговые данные всех специальных частей проекта, сводные сметы капитальных затрат на сооружение проектируемого цеха и годовых эксплуатационных расходов, подсчет суммы оборотных средств и калькуляцию себестоимости годового выпуска запроектированной продукции.

Следует отметить необходимость включения в перечень основных технико-экономических показателей (табл. 11) нового показателя — «уровень рентабельности», описанного в гл. X настоящего тома «Справочника». Он характеризует относительную экономическую целесообразность запроектированного предприятия (цеха) с учетом его эксплуатации в условиях новой системы планирования и экономического стимулирования.

Полученные в заключительной части проекта технико-экономические показатели сопоставляют с принятыми для сравнения одноименными показателями ранее разработанного проекта другого цеха, с отчетными данными действующего цеха передового завода и с укрупненными показателями, рекомендованными в качестве временных нормативов для данной отрасли машиностроения. Для цехов тяжелого машиностроения примеры таких показателей приведены на рис. 9 и 10. Это сравнение позволяет оценивать качество разработанного проекта и выявить необходимые исправления в нем. Подразделение сборочно-сварочных цехов на пять категорий (см. табл. 1) со средним годовым выпуском до 2, от 2 до 10, от 10 до 30, от 30 до 70 тыс. и цехи с годовым выпуском продукции более 70 тыс. *т* позволяет (рис. 9) в пределах каждой из них обеспечить однородность числовых значений таких технико-экономических показателей, которые в значительной мере зависят от размеров выпуска продукции.

Сборочно-сварочные цехи по уровню специализации, который также существенно влияет на технико-экономические показатели проектируемого сварочного производства (рис. 10), целесообразно подразделять на три группы: I — цехи неспециализированные, производственная программа которых отличается широкой номенклатурой сварных конструкций (например, сборочно-сварочные цехи заводов металлургического машиностроения, турбостроения, различного шахт-

Рис. 9. Зависимость основных технико-экономических показателей сборочно-сварочных цехов на заводах тяжелого машиностроения от годового выпуска продукции (по материалам А. Д. Гитлевича и др.): *а* — удельная трудоемкость изготовления конструкций в *чел. сек/кг*; *б* — годовой выпуск продукции с 1 *м²* общей площади *в т/м²*; *в* — годовой выпуск продукции на одного рабочего в *т*; *г* — то же на одного работающего; *д* — то же на 1 руб. основных средств; *е* — удельная себестоимость сварных конструкций в *коп/кг*; *ж* — удельная себестоимость изготовления сварных конструкций в *коп/кг*

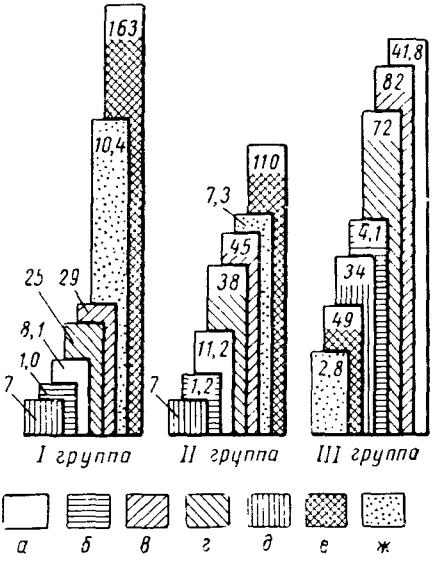


Рис. 10. Влияние специализации производственного процесса на основные технико-экономические показатели сборочно-сварочных цехов на заводах тяжелого машиностроения (по материалам А. Д. Гитлевича и др.): *а* — годовой выпуск продукции (в среднем) в тыс. *т*; *б* — то же в *т* с 1 *м²* общей площади; *в* — годовой выпуск продукции в *т* на одного рабочего; *г* — то же на одного работающего; *д* — то же в *кг* на 1 руб. основных средств; *е* — удельная трудоемкость изготовления конструкций в *чел-сек/кг*; *ж* — удельная себестоимость изготовления конструкций в *коп/кг*

вого и нефтяного оборудования и т. п.); II — цехи с производственным процессом, специализированным по видам изделий (например, цехи сварных барабанов, трубные, котельно-сварочно-сборочные и каркасные котлостроительных заводов, производство емкостей и теплообменников на заводах нефтяного машиностроения и цехи металлоконструкций краностроительных заводов); III — цехи с предметно-специализированным производственным процессом (например, рамно-кузовные и вагоносборочные цехи вагоностроительных заводов, цехи вагонеток, конвейеров, рештаков и стоек на заводах угольного машиностроения и т. п.).

11. Перечень основных данных и технико-экономических показателей по проекту сборочно-сварочного цеха машиностроительного завода

Основные данные и технико-экономические показатели	Единицы измерения	Примечание
I. Основные данные		
Годовой выпуск	*т* или шт.	—
Характеристика производства	—	Указать — единичное, серийное или массовое
Максимальный вес заготовки и неразъемного узла	*т*	—
Максимальные габариты заготовки и неразъемного узла	*м*	—
Максимальный вес собираемого изделия	*т*	Указать чистый вес изделия
Максимальные габариты собираемого изделия	*м*	—
Режим работы (число смен и количество рабочих часов в неделю)	Смена	
Всего работающих, в том числе рабочих	чел.	—
Общая трудоемкость годового выпуска	тыс. чел.-час.	—
Общая площадь без бытовых и конторских помещений	$м^2$	—
Капитальные вложения	тыс. руб.	—
Необходимая сумма оборотных средств	»	—
Себестоимость годового выпуска продукции	»	—
II. Технико-экономические показатели		
Коэффициент сменности рабочих	—	Отношение общего числа производственных рабочих к их числу в наиболее многочисленной смене
Коэффициент сменности оборудования	—	Отношение расчетной суточной загрузки оборудования к максимально возможной сменной его загрузке для принятого режима работ
Средняя загрузка оборудования и рабочих мест	%	Отношение суммы произведений запроектированного количества оборудования и рабочих мест на коэффициент загрузки каждого из них к сумме общего количества оборудования и рабочих мест в цехе
Отношение количества вспомогательных рабочих к количеству производственных рабочих	%	—
Выпуск на 1 $м^2$ общей площади	*т* $м^2$	Общую площадь принимать без площади бытовых помещений
Выпуск на единицу оборудования и рабочее место	*т*	
Выпуск на одного рабочего	»	Расчет по списочному составу

Продолжение табл. 11

Основные данные и технико-экономические показатели	Единицы измерения	Примечание
Выпуск на одного работающего	*т*	Расчет по списочному составу
Трудоемкость 1 *т* выпуска	чел.-час	-
То же	станко-час, место-час.	-
Трудоемкость 1 *т* обрабатываемых деталей	станко-час	-
Общая площадь на единицу оборудования и рабочее место	$м^2$	Принимать без площади бытовых помещений
Степень механизации производственного процесса	%	Отношение трудоемкости работ на годовую программу, запроектированных к выполнению в цехе механизированными способами, к общей трудоемкости всех работ в цехе (в числитель и в знаменатель этого отношения следует вводить трудоемкость всех работ, приведенную к выполнению их без механизации)
Уровень механизации производственного процесса	%	Отношение уменьшения трудоемкости работ, достигаемого в результате предусмотренной в проекте их механизации, к общей трудоемкости всех работ в цехе, приведенной к выполнению их без механизации
Коэффициент использования средств механизации производственного процесса	%	Отношение действительного годового фонда времени оборудования - за вычетом потерь времени на наладки, настройки и ликвидацию аварий автоматических устройств этого оборудования - к тому же действительному годовому фонду времени оборудования
Капитальные затраты на единицу выпуска	*руб т*	—
Выпуск на 1 руб. капитальных затрат	*т руб*	-
Удельная себестоимость единицы выпуска	*руб т* или руб шт	—
Фондоотдача суммы производственных фондов (основных и оборотных)	руб год руб.	Отношение себестоимости годового выпуска к сумме основных фондов и оборотных средств
Расчетная величина уровня рентабельности запроектированного производства	%	Отношение прибыли предприятия (цеха) к сумме основных фондов и оборотных средств

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов М. С. Технология производства сварных конструкций. М., «Машиностроение», 1966.

2. Гитлевич А. Д. и др. Техническое нормирование технологических процессов в сварочных цехах. М., Машгиз, 1962.

3. Гриневич А. Г. Оборудование для комплексной механизации сварочного производства. М., изд-во НТО Машпром, 1963.
4. Госстрой СССР — Инструкция по составлению проектов и смет для промышленного строительства. М., Госстройиздат, 1962.
5. Госстрой СССР — Противопожарные требования. Основные положения проектирования (П-А. 5-62). М., 1962.
6. Госстрой СССР — Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий (СН-245-63). М., 1963.
7. Госстрой СССР — Унифицированные типовые секции и пролеты для строительства предприятий машиностроительной промышленности (Распоряжения № 69 от 7 мая 1963 года и № 8 от 7 мая 1966).
8. Егоров М. Е. Основы проектирования машиностроительных заводов. М., «Высшая школа», 1969.
9. Зотов И. С. и др. Экономическое обоснование проектов машиностроительных заводов. М., «Машиностроение», 1966.
10. Красовский А. П. Основы проектирования сварочных цехов. М., «Машиностроение», 1965.
11. Куркин С. А. Технология изготовления сварных конструкций (Атлас чертежей). М., Машгиз, 1962.
12. Методика расчета экономической эффективности новой техники в машиностроении. Л., «Машиностроение», 1967.
13. Нормы технологического проектирования. Цехи металлоконструкций, котельно-сварочные и заготовительно-сварочные заводов машиностроения и приборостроения. Гипростройдормаш, Ростов-на-Дону, 1962.
14. Прейскуранты и ценники на металл, сварочные материалы, станочное, электрическое, сварочное и другое оборудование, пуско-регулирующую, измерительную и прочую аппаратуру и приборы, издаваемые Комитетом цен при Госплане СССР.
15. Сварочное оборудование. Каталог-справочник. «Наукова думка», Киев, 1968.
16. Снежко В. И. и др. Методы определения экономической эффективности внедрения новой техники в сварочное производство. Киев, изд-во ОНТИ ИЭС им. Е. О. Патона АН УССР, 1967.
17. Справочник по сварке т. 1. (под ред. инж. Е. В. Соколова), М., Машгиз, 1960.
18. Справочник по сварке т. 2. (под ред. инж. Е. В. Соколова). М., Машгиз, 1961.
19. Справочник по специальным работам. Изготовление стальных конструкций. М., Гос. изд-во литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1963.
20. Справочник по технике безопасности и производственной санитарии для предприятий машиностроения. М., Машгиз, 1962.
21. Справочник электросварщика. Киев, Машгиз, 1962.
22. Технология электрической сварки плавлением (под ред. Б. Е. Патона). М. — Киев, Машгиз, 1962.
23. Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений (АН СССР, Госплан СССР, Госстрой СССР). М., 1969.
24. Фаерман А. И. Выбор экономического варианта процесса сварки. Машгиз, 1962.
25. Фаерман А. И. Экономика и организация сварочного производства. М., «Высшая школа», 1965.
26. Фофаров А. А. и Рудаков А. С. Контактная сварка (справочник). М., «Машиностроение», 1964.

ГЛАВА XII

ОХРАНА ТРУДА

САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Основными вредностями процесса сварки являются пыль, газы, ультрафиолетовое излучение, брызги расплавленного металла и трудовой процесс.

Состав пыли и газов, образующихся в процессе сварки, главным образом, зависит от электродов. При ручной электродуговой сварке толстопокрытыми электродами выделяется большое количество пыли, вследствие чего в зоне дыхания сварщика концентрация ее всегда больше предельно-допустимой величины (4 *мг/м*³). Химический состав пыли зависит от марки электродов. Основу пыли составляют окислы железа, а примесями являются соединения марганца, а также хрома, никеля, ванадия, молибдена и др. При сварке образуются газы – окислы азота, окись углерода, а при сварке фторосодержащими электродами, кроме того, фтор. Содержание окислов марганца и фтористых соединений по сравнению с окислами железа невелико, однако вследствие своей токсичности они имеют решающее значение при выборе типа электродов и их покрытий. Поэтому необходимо применять электроды с наименьшим содержанием марганцевых и фтористых соединений. Температура сварочной дуги достаточно велика — порядка 6000° С, поэтому она является источником лучистой энергии широкого диапазона от инфракрасной до ультрафиолетовой радиации. Яркость порядка 15 тыс. стильб, при физиологической норме не более одного стильба. Тепловая радиация на уровне правой руки 0,5—2,0 *кал/см²мин*.

Образующаяся при сварке пыль высокодисперсна. Количество частиц размером меньше 1 *мк* составляет 98—99%, что способствует проникновению ее в легочную ткань; 60—70% электросварочной пыли задерживается дыхательным аппаратом.

Автоматическая и полуавтоматическая сварка под флюсом значительно улучшает условия труда электросварщика, так как дуга горит под слоем флюса и устраняется вредное влияние ее на органы зрения. Кроме того, ликвидируется опасность ожогов брызгами металла, а при автоматической сварке значительно облегчается трудовой процесс. Однако воздушная среда в производственных помещениях загрязняется газами и частицами пыли, состав и количество которых зависят в основном от рецептуры применяемых флюсов.

Электрошлаковая сварка также является наиболее гигиеничным процессом. Однако при этом способе сварки могут выделяться фтористые соединения, окись углерода. Возможны также тепловая радиация, выбрасывание брызг металла из сварочной ванны, вытекание металла и шлака.

Электросварка в среде защитных газов позволяет автоматизировать процесс, увеличить производительность и снизить себестоимость работ. С гигиенической точки зрения [2,5] этот способ также имеет свои положительные стороны. При ручной сварке неплавящимся электродом в среде защитных газов выделяется малое количество пыли, образуется незначительное количество шлака или он отсутствует; применение непокрытой проволоки устраняет необходимость

изготовления электродов, производство которых связано с образованием токсической пыли.

При сварке в среде углекислого газа выделяются пыль и газы — озон, углекислый газ, окиси азота, окись углерода. Наибольшую опасность для здоровья сварщиков представляют отравления марганцем и окисью углерода, концентрация которых в зоне дыхания может превышать предельно допустимые величины. Электросварка специальных сталей хромоникелевыми электродами вносит дополнительные вредности, связанные с выделением окислов хрома и никеля, а сварка оцинкованных сталей — окислов цинка. Концентрации окислов азота и углекислого газа, а также интенсивность тепловой радиации незначительны.

Аэрозоль, образующаяся при сварке в среде углекислого газа, отличается высокой дисперсностью. Пылевые частицы размером меньше 1 *мк* составляют 99,8%, а концентрация пыли примерно такая же, как и при ручной электродуговой сварке — в среднем 20—40 *мг м*^{3}. Особое внимание необходимо обращать на концентрацию марганца, так как его наличие в воздухе 0,3 *мг м*^{3} и выше может вызвать тяжелые заболевания нервной системы.

При высокой температуре сварочной зоны углекислый газ разлагается на окись углерода и кислород. Кроме того, окись углерода может образоваться за счет реакции углекислого газа с железом, марганцем, кремнием и углеродом. Окись углерода, относящаяся к удушающим газам, проникая в организм через дыхательные пути, соединяется с гемоглобином и образует карбоксигемоглобин.

Образование озона при сварке в среде углекислого газа происходит в результате электрических разрядов, ультрафиолетовой радиации и высокой температуры сварочной дуги. В связи с высокой температурой сварочной дуги (10—15 тыс. С) интенсивность ультрафиолетовой радиации в 5—20 раз больше, чем при ручной сварке. Концентрация озона в зоне дыхания может колебаться от 0,1 до 1,0 *мг м*^{3} (при предельно допустимой 0,1 *мг м*^{3}).

Аргоно-дуговая сварка плавящимися и неплавящимися электродами, применяющаяся при изготовлении изделий из конструкционных алюминиевых сплавов, также сопровождается значительным выделением пыли и газов (озон, окислы азота). Количество выделяемой пыли при сварке плавящимся электродом резко зависит от состава применяемых сплавов и электродной проволоки. Основную часть пыли составляют окислы алюминия и марганца. При сварке сплавов, содержащих магний, выделяется большое количество сварочного аэрозоля.

Выделение пыли при аргоно-дуговой сварке плавящимся электродом в зависимости от состава сплавов колеблется в среднем от 10,9 до 139 *г*, а при ручной дуговой от 38,4 до 61 *г* на 1 *кг* расплавляемой проволоки.

Из образующихся газов при аргоно-дуговой сварке наибольшую опасность представляет озон, который в весьма небольших концентрациях может вызвать токсическое действие. Выделение озона по средним данным составляет 0,079—0,137 *г кг*. При ручной дуговой сварке больше всего выделяется фтористого водорода (0,85—1,57 *г кг*).

При сварке неплавящимся электродом (вольфрам) в среде аргона выделение электросварочного аэрозоля и окислов марганца невелико. Основной вредностью является озон.

Газопламенная обработка металлов связана с загазованностью помещений окисью углерода, окислами азота, ацетиленом, фосфористым водородом, с опасностью возникновения пожаров и взрывов.

Наиболее сложным в санитарно-гигиеническом отношении являются процессы напыления, наплавки и резания электродуговым способом, особенно с использованием плазменного факела. Наплавка и напыление сопровождаются интенсивным запылением и загазованностью воздушной среды, во много раз превышающие предельно допустимые величины. Выход вредностей в окружающую среду в виде аэрозолей от испарения и окисления только наплавленного материала может достигать 10% от его расхода. Токсичность образующихся

вредностей зависит от основы обработки (сталь, графит и др.) наплавляемого или напыляемого материала в порошкообразном или жидком состоянии (металлы, карбиды и окислы) и от ионизирующей среды (аргон, гелий, азот, водород и др.).

Помимо пыли и газов, профессиональной вредностью при любой сварке является излучение. Спектр лучистой энергии при сварке состоит из видимых лучей, яркость которых в 10 000 раз превышает физиологически переносимую, а также невидимых ультрафиолетовых и инфракрасных лучей; причем наибольшая энергия падает на ультрафиолетовое излучение с длиной волны 50—100 *ммк*. Поэтому оно является наиболее опасным, вызывающим острое заболевание глаз — электрофтальмию.

Не менее вредным в сварочном производстве является производственный шум, вибрация и ультразвук. Уровень звукового давления при сборочно-сварочных работах и плазменной обработке может достигать 90—120 *дб*, что значительно выше нормы. Уровень мощности ультразвука на рабочем месте зависит от мощности генератора и может достигать 100—120 *дб*.

Трудовой процесс при сварке обычно происходит при неудобной позе сварщика и большом напряжении тела, особенно правой руки; кроме того, специальная одежда в значительной степени сковывает движение работающего. В закрытых пространствах условия труда особенно тяжелы. К основным профессиональным заболеваниям и отравлениям электросварщиков относятся: пневмокониоз, интоксикация марганцем и острые отравления сварочными газами. Для профилактики этих заболеваний необходимо проводить комплекс оздоровительных мероприятий: применение наиболее гигиенических способов сварки и менее токсичных сварочных материалов, устройство местной вентиляции, минимальный объем сварки в закрытых пространствах, гигиеничный режим труда и использование индивидуальных средств защиты.

Все машины, агрегаты и оборудование имеют опасные зоны, в пределах которых не исключены случаи производственного травматизма. К ним относятся: области подвижных частей, деталей механизмов и рабочих органов сварочного оборудования; область разлета осколков, брызг и других элементов обрабатываемого материала; область возможного разлета осколков, частей механизмов или деталей при их разрушении или аварии; агрегаты и токоведущие линии, находящиеся под напряжением выше безопасного; область возможного действия ударно-взрывной волны при взрыве сосудов, содержащихся под давлением, и других взрывоопасных объектов; места и участки работы подъемно-транспортных механизмов; ручной инструмент, особенно в неисправном состоянии или при его применении не по назначению и др.

Защитные мероприятия для создания нормальных условий труда в сварочном производстве должны быть направлены на устранение вредностей от загрязнения воздушной среды, радиации, производственного шума и ультразвука, обеспечение электробезопасности и безопасности при эксплуатации баллонов и систем, содержащихся под давлением.

ВЕНТИЛЯЦИЯ

Основными мероприятиями, направленными на улучшение условий труда и состояния воздушной среды в производственных помещениях, являются механизация и автоматизация сварочных процессов; замена вредных процессов менее вредными; применение изолирующих и защитных устройств (герметичных кожухов и камер, экранов, завес и др.), устройство местной и общеобменной вентиляции.

Эффективная вентиляция сварочных и сборочно-сварочных цехов и участков должна обеспечить на рабочих местах содержание в воздухе сварочного аэрозоля не более 4 *мг/м*^{3}, соединений марганца до 0,3 *мг/м*^{3}, а хрома до 0,1 *мг/м*^{3}. Концентрация пыли в воздухе, выбрасываемом в атмосферу, должна быть не

более 60 *мг/м*³. Местная вытяжная вентиляция предназначена для улавливания вредных пылей и газов непосредственно у мест их образования.

При ручной и полуавтоматической электросварке на стационарных постах и в кабинах должны применяться вытяжные шкафы, наклонные и вертикальные панели равномерного всасывания, нижние отсосы. Количество вредностей, улавливаемых местными отсосами, следует принимать: для вытяжных шкафов 100%, для остальных типов местных отсосов 75% от количества выделяемых вредностей [16]. Тип местных отсосов и объемы отсасываемого воздуха от них необходимо выбирать по данным [16] и чертежам общих видов местных отсосов (серии ОВ-02-151, ОВ-02-70 и альбома НИ-1).

Скорость воздуха во всасывающем факеле у источника выделений вредных веществ должна приниматься (в *м/сек*):

при ручной электросварке на стационарных постах и в кабинах 0,5;

при сварке в среде углекислого газа 0,2—0,5, а в среде инертных газов 0,15—0,25;

при машинной резке на раскроечных столах титановых сплавов и низколегированных сталей 2,2, а для алюминиевомагниевых сплавов и высоколегированных сталей 3,0.

Вытяжные зонты не являются эффективными вентиляционными устройствами. Они предотвращают лишь распространение вредностей по помещению. В зоне же дыхания сварщика загрязненность воздушной среды остается значительной и изменяется в зависимости от положения головы рабочего относительно сварочного факела и вытяжного зонта. Для фиксированных мест сварки рациональными местными вентиляционными устройствами, отклоняющими сварочный факел от сварщика и удаляющими загрязненный воздух, являются наклонные и вертикальные вытяжные панели, нижние отсосы, сварочные столы с подвижными укрытиями и подрешеточными отсосами.

При сварке внутри замкнутых пространств рекомендуется применять высоковакуумные установки с малогабаритными местными отсосами от сварочной дуги. Возможно устройство сквозного проветривания с помощью вытяжки или подачи чистого воздуха в свариваемую емкость. Количество подаваемого воздуха [15] устанавливается в зависимости от расстояния между рабочим патрубком и патрубком, через который подается воздух от 3000 *м*³ *ч* при расстоянии не свыше 1,5 *м* до 6000 *м*³ *ч* при расстоянии 3 *м*. Минимальный воздухообмен при общем вентилировании замкнутых пространств должен составлять 2000 *м*³ *ч* на 1 *кг/ч* расходуемых электродов.

При механической подаче свежего воздуха подвижность воздуха на рабочем месте следует принимать 0,5—1,5 *м/сек*, а температуру подаваемого воздуха в холодный период года 20—22° С. Участки электрошлаковой сварки также следует оборудовать местной вытяжной вентиляцией. Местный отсос (боковой или верхний) может быть выполнен в виде подвижного насадка, соединенного гибким шлангом с вентилятором. В зоне максимального выделения газов и аэрозоля скорость отсоса принимают около 1,5 *м/сек*.

Пыль и газы, образующиеся при автоматической и полуавтоматической сварке под слоем флюса, как правило, должны удаляться местными отсосами, смонтированными на сварочном оборудовании. К автоматам для сварки под слоем флюса разработаны местные отсосы щелевидной формы, которые располагают непосредственно у электрода над свариваемым швом на высоте не более 50 *мм*. Длину щели рекомендуется принимать 250—350 *мм*. Возможно также устанавливать два отсоса: один у места сварки впереди трактора, а второй — сзади трактора. Количество воздуха, удаляемого отсосами этого типа, можно определить по формуле

$$V = \mu \sqrt[3]{I} \ м^3/ч, \qquad (1)$$

где I — сила сварочного тока в *а*;

μ — эмпирический коэффициент, для щелевого отсоса $\mu = 12$, для двойного отсоса $\mu = 16$.

В системах отсосов рекомендуется применять вентиляторы среднего или высокого давления в соответствии с расчетом системы.

Местный отсос, установленный на сварочном автомате, присоединяют к стационарной сети воздуховодов при ходе автомата до 2 *м* при помощи резинового или металлического гибкого шланга, а при ходе более 2 *м* через специальные подвижные устройства.

Сети вытяжных воздуховодов изготовляют из тонкой листовой стали или из тонкостенных стальных труб. Воздуховоды могут прокладываться под полом или подвешиваться на кронштейнах к стенам. В местах установки автоматов или полуавтоматов к воздуховодам приваривают штуцеры для присоединения местных отсосов.

Автоматы для сварки в среде защитных газов (аргоне, углекислом газе) должны быть оборудованы местными отсосами, смонтированными непосредственно на сварочной головке.

При газопламенных работах на сварочных постах должны применяться вентиляция с помощью местных отсосов от передвижных или стационарных установок.

В дополнение к местной вытяжной вентиляции в цехах предусматривается общеобменная вентиляция.

При составлении газовых и тепловых балансов и определении расчетных воздухообменов по отдельным производственным помещениям следует учитывать выделение: аэрозолей окислов металлов и вредных газов, образующихся при сварке и резке металлов; тепла от расходуемой электроэнергии при электрической сварке и резке металлов и от горючих газов при газопламенной обработке металлов.

Требуемый воздухообмен в производственных помещениях для растворения вредных газов и аэрозолей до предельно допустимой концентрации

$$V = \frac{1000 q_u}{q_{пдк} - q_n}, \tag{2}$$

где q_u — выделение вредностей в *г/ч*;

$q_{пдк}$ — предельно допустимая концентрация вредностей в рабочей зоне в *мг/м*^{3} (см. ниже);

q_n — содержание вредностей в подаваемом воздухе в *мг/м*^{3}.

Количество вредностей

$$q_u = Nkq \ г/ч, \tag{3}$$

где N — часовой расход электродов в *кг/ч*;

k — содержание токсичных веществ в электродах в *г/кг* [16];

q — содержание вредностей в аэрозолях в % [16].

Если при сварке применяют различные электроды, то следует определить общее количество токсичных веществ в электродах всех марок и затем определить количество вредностей.

Воздухообмен V при наличии избыточного тепловыделения $Q_{изб}$ в *ккал/ч* определяют по формуле

$$V = \frac{Q_{изб}}{\gamma_n C_p (t_{уд} - t_n)} \ м^3/ч, \tag{4}$$

где γ_n — удельный вес приточного воздуха в *кг/м*^{3};

C_p — удельная теплоемкость воздуха в *ккал/кг·град*, равная 0,24;

$t_{уд}$ и t_n — температура удаляемого и приточного воздуха в °С.

Объемы общеобменной вентиляции в цехах определяют, исходя из количества расходуемой проволоки и типа сварки по данным [16].

Предельно допустимые концентрации вредностей в воздушной среде производственных помещений [12] в *мг/м*³

Пары и газы

Ацетон, бензин	100
Аммиак, окись углерода, бензол	20,0
Сероводород, сернистый ангидрид, сернистый газ, сероуглерод, дихлорэтан, метиловый спирт	10,0
Окись азота (в пересчете на N_2O_5)	5,0
Хлористый водород и соляная кислота (в пересчете на HCl)	5,0
Хлор, серная кислота, формальдегид	1,0
Фтористый водород, фосген	0,5
Мышьяковистый водород, сернистый свинец	0,3
Озон, фосфористый водород	0,1
Ртуть, желтый фосфор	0,01
Тетраэтилсвинец	0,005

Пыли минеральные и органические

Все раздражающие пыли, не содержащие SiO_2	10,0
Цементная, минеральная и их смеси, несвободной SiO_2; пресспорошков и аминопластов	6,0
Окислов железа, содержащая менее 10% общей SiO_2, 1,5—3% окислов марганца и до 10% других окислов металлов	6,0
Барита, апатита, цемента, искусственных абразивов (корунда, карборунда), содержащие менее 10% SiO_2	5,0
Окислов железа, содержащая менее 10% свободной SiO_2 и менее 6% окислов марганца, а также тальковая, угольная, растительного и животного происхождения, содержащие до 10% SiO_2	4,0
Асбестовая, угольная и др., содержание от 10 до 70% свободной SiO_2	2,0
Кварцевая и др., содержание более 70% свободной SiO_2 и ее кристаллической модификации	1,0
Сернистый свинец, пятиокись ванадия	0,5
Свинец и его неорганические соединения	0,01

Аэрозоли металлов, металлоидов и их соединений

Окислы титана и тантала	10,0
Феррованадий, вольфрам, нерастворимые соединения молибдена	6,0
Окись цинка, цирконий	5,0
Растворимые соединения молибдена и окись железа с примесью фтористых или марганцовых соединений	4,0
Алюминий, окись алюминия, сплавы алюминия, аморфный селен	2,0
Щелочные аэрозоли (в пересчете на едкий натр), никель, окись никеля, кобальт и окись кобальта	0,5
Марганец (в пересчете на MnO_2)	0,3
Хромовый ангидрид, хроматы, бихроматы (в пересчете на CrO_2), селенистый ангидрид, окись кадмия	0,1
Бериллий и его соединения	0,001

Так, при ручной дуговой сварке с применением электродов марки ЦМ-7 расход воздуха на 1 *кг* электродов должен быть 7330 *м*³/*ч* с ОММ-5, ЦМ-8 — 6720 *м*³/*ч*, СК-5 — 1720 *м*³/*ч*, а с УОНИ-13 — 880 *м*³/*ч*. При автоматической и полуавтоматической сварке под флюсом с применением флюса марки ОСЦ-45—150 *м*³/*ч*, а с флюсами марок АН-348, ФЦ-6, ФЦ-7, ФЦ-9—100 *м*³/*ч* на 1 *кг*/*ч* расходуемой проволоки.

Общий воздухообмен получают суммированием необходимых объемов вентиляции для каждого вида сварки. При этом учитывают, что унос электросварочного аэрозоля местной вентиляцией составляет 75%. Вытяжка должна осуществляться из верхней зоны помещения. Объемы удаляемого воздуха над каждым сварочным участком должны соответствовать количеству расходуемых электродов на данном участке.

Приточный воздух должен подаваться:

при рассеянной сварке и резке на нестационарных местах — сосредоточенно, с применением насадков, позволяющих регулировать направление воздушной струи в вертикальной плоскости, обеспечивая подвижность воздуха в рабочей зоне: 0,3—0,9 *м/сек* при электродуговой и газопламенной сварке и резке и не более 0,5 *м/сек* при сварке в среде углекислого газа;

при сварке в среде инертных газов и в цехах, оборудованных стационарными отсосами, — рассеянно в рабочую зону, обеспечивая подвижность воздуха на рабочих местах не более 0,25 *м сек*.

Общеобменную вентиляцию, как правило, устраивают механической приточно-вытяжной, в зимнее время с подогревом приточного воздуха.

В сборочно-сварочных цехах не следует допускать неорганизованного поступления больших объемов воздуха через проемы наружных ворот, что может вызвать сквозняки и охлаждение. На заводах при транспортировке разнообразных по габаритам изделий необходимо устанавливать ворота с возможностью раскрытия их на двух уровнях. При транспортировке небольших деталей открывать ворота до 3—4 *м*, а крупных — до максимального уровня. У всех наружных ворот следует устраивать воздушные завесы, которые целесообразно рассчитывать до нижнего уровня. Завесы должны работать постоянно, т. е. не выключаться при закрытии проема.

Удаление радиоактивных аэрозолей из помещения или рабочих мест производится при помощи вытяжной вентиляции, а подача чистого воздуха — через приточную систему из незагрязненных помещений. Для осуществления такой поточности воздуха следует устанавливать перепускные клапаны одностороннего действия.

Воздухообмен в помещениях ([15] том 3) устанавливают в зависимости от класса работ: в помещениях для работ I класса во II зоне десятикратный и в III зоне пятикратный, II класса — пятикратный и III класса - трехкратный. Запрещается применять рециркуляции для работ I и II классов.

ОСВЕЩЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Естественное освещение является основным при работах в производственных помещениях с оконными проемами и световыми фонарями.

Искусственное освещение применяется в ночное время в любых условиях, а в дневное время там, где естественного освещения недостаточно.

Естественное освещение характеризуется коэффициентом естественной освещенности

$$K_{e.o} = \frac{E_в}{E_н} 100\%, \tag{5}$$

где $E_в$ — освещенность в какой-либо точке помещения в *лк*;

$E_н$ — освещенность наружной горизонтальной плоскости от равномерного рассеянного освещения небосводом (для средней широты территории СССР $E_н$ = 5000 *лк*).

При одном боковом освещении этот коэффициент нормируется по минимальному значению, а при верхнем или комбинированном — по среднему. Согласно СН 245-63 коэффициент естественного освещения для сварочных и сборочно-сварочных работ должен быть не менее 1,5% при боковом и 5% при верхнем или комбинированном освещении.

Одним из методов расчета искусственного освещения является расчет по световому потоку одной лампы $F_л$ светотехнической установки, обеспечивающей заданную освещенность:

$$F_л = \frac{E_н k S z}{n \eta} \; лм \tag{6}$$

или расчет фактической освещенности $E_ф$ по световому потоку лампы

$$E_ф = \frac{F_л n \eta}{k S z} \; лк, \tag{7}$$

где $E_н$ — нормируемая освещенность в *лк* [8];

k — коэффициент запаса, учитывающий старение ламп и светильников (1,2—2);

S — площадь производственного помещения в $м^2$;

z — коэффициент неравномерности распределения освещенности в данном помещении (в большинстве случаев 1,1—1,2);

n — количество ламп в светотехнической установке одинаковой мощности;

η — коэффициент использования светового потока, учитывающий коэффициент отражения от стен и потолка, или светильника и светопоказатель производственно помещения [4].

Оборудование электроосвещения производственных и бытовых помещений сварочных и сборочно-сварочных цехов и участков, а также минимальная освещенность должны соответствовать требованиям [14]. Кроме этого, освещенность регламентируется нормами ([15] том II), извлечение из которых для сварочного производства приведено в табл. 1.

1. Нормы освещенности для предприятий машиностроения и судостроения (извлечение) утверждены Постановлением Президиума ЦК профсоюза рабочих машиностроения 22.VI. 1960 г.

Наименование помещений и рабочих мест	Разряд и подразряд по СН245-63	Наименьшая освещенность * в *лк* при освещении			Плоскость нормирования освещенности
		комбинированном		общем	
		общее плюс местное	от общего освещения в горизонтальной плоскости		
Места электросварочных и газосварочных работ	VII	–	–	150 / 50	Горизонтальная
Сборочно-сварочные цехи: участки по разметке металла и проверке **	IIIб	750 / 300	150 / 50	200 / 100	То же
газорезательные машины	IIIб	–	–	200 / 100	»
полуавтоматическая и ручная газорезка	VII	–	–	150 / 50	»
места сварки ***	VII	–	–	150 / 50	Горизонтальная и вертикальная
места контроля качества сварки	IIIa	500**** / 300	200 / 100	300 / 150	

* В числителе при люминесцентных лампах, в знаменателе при лампах накаливания.

* По всему помещению на полу должна быть обеспечена горизонтальная освещенность не менее 75 *лк* при люминесцентных лампах.

** Нормированная освещенность должна быть обеспечена в плоскости рабочей поверхности.

*** Указана при местном освещении, выполненном лампами накаливания.

В сварочных и сборочно-сварочных цехах должна применяться система одного общего или комбинированного электрического освещения. Независимо от системы освещенность на полу помещения от светильников общего освещения

должна быть не менее 50 *лк* при лампах накаливания и 150 *лк* при люминесцентных лампах. Затенение рабочих мест и проходов мостовыми кранами необходимо компенсировать дополнительными светильниками, установленными на кранах. Основные проходы оборудуются аварийным освещением, обеспечивающим освещенность в проходах не менее 0,3 *лк*. К сети аварийного освещения запрещается подключать другие токоприемники.

Стационарные светильники местного освещения должны питаться напряжением не более 36 *в*, переносные — не выше 12 *в*. Конструкции светильников должны исключать ослепленность работающих. Вторичные обмотки понижающих трансформаторов, как правило, заземляют, использование автотрансформаторов для местного освещения запрещается. Очистку светильников общего освещения в помещениях цехов и участках необходимо производить не реже трех раз в месяц, а в бытовых и подсобных — два раза в месяц. Для обслуживания светильников следует использовать специальные устройства, обеспечивающие удобный и безопасный доступ к ним. Очистку светильников должны производить электромонтеры только при отключенном напряжении.

Стекла в помещениях, где ведутся работы с незначительным выделением пыли и дыма, очищают не реже двух раз в год, а потолки и стены помещений белят не реже одного раза в три года. Для очистки остекления применяют специальные эмульсии, способствующие растворению загрязнений. В состав эмульсий входят в различных соотношениях вода, керосин, кальцинированная сода, мылонафт или аммонийное мыло. Эмульсию наносят на стекло, а затем протирают его резиновыми валиками или специальными щетками. Удобство и безопасность очистки стекол обеспечивают применением передвижных тележек, телескопических лестниц, подвесных люлек и т. п.

ЗАЩИТА ОТ ВРЕДНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ШУМА И УЛЬТРАЗВУКА

Если не представляется возможным снизить шум в источнике возникновения, то необходимо применять строительно-акустические методы: рациональную планировку и строительство производственных помещений, предусматривающих раздельное размещение оборудования с высоким и низким уровнем звукового давления; снижение уровня шума оборудования путем эксплуатации его на наивыгоднейших режимах работы или применение бесшумного; проектирование и устройство звукопоглощающих ограждений на рабочих местах и у источников шума; применение глушителей шума. Там, где невозможно уменьшить высокий уровень звуковой мощности, следует использовать индивидуальные средства защиты.

Производственный шум, согласно СН245-63 [12], нормируется по предельно допустимому спектру уровня звукового давления (табл. 2 и 3).

При решении вопросов защиты от производственного шума необходимо учитывать способ его распространения: в воздухе от оборудования и по конструкции здания. Оба этих шума передаются как непосредственно через ограждения, так и вдоль стен и перекрытий, примыкающих к раздельным конструкциям. Кроме того, для правильного определения вредного воздействия производственного шума на работающих, необходимо знать диапазон частот с наиболее высоким уровнем и спектр частот (сплошной, дискретный и смешанный).

Звукоизоляционные качества какого-либо ограждения определяются коэффициентом звукопроницаемости

$$\tau = \frac{\bar{p}^2_{пр}}{\bar{p}^2_{пад}}, \qquad (8)$$

где $\bar{p}^2_{пр}$ и $\bar{p}^2_{пад}$ — соответственно звуковые давления в прошедшей и падающей звуковых волнах.

2. **Предельно допустимые уровни звукового давления в октавных полосах шума со сплошным спектром, действующего в течение более 4 *ч* в смену** (СН245-63)

Вид шума	Уровни звукового давления в *дб* в октавных полосах со среднегеометрическими частотами в *гц*							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Шумы, проникающие извне в помещения, находящиеся на территории промышленных предприятий:								
конструкторское бюро, комнаты расчетчиков и программистов счетно-электронных машин, помещения в лабораториях для обработки экспериментальных данных и лаборатории без собственных источников шума . .	71	61	54	49	45	42	40	38
заводоуправление и здравпункты . . .	79	70	63	58	55	52	50	49
Шумы, возникающие внутри помещений и проникающие в помещения, находящиеся на территории промышленных предприятий:								
помещения счетно-электронных машин и точной сборки	79	70	63	58	55	52	50	49
лабораторные помещения, кабины наблюдения и дистанционного управления	94	87	82	78	75	73	71	70
рабочие места в производственных помещениях и на территории промышленных предприятий	103	96	91	88	85	83	81	80

Примечание. В зависимости от характера шума и времени его воздействия величины октавных уровней звукового давления, приведенные в табл. 2, должны быть уточнены по табл. 3.

3. **Поправки к октавным уровням звукового давления в *дб*** (СН245-63)

Характер воздействия	Широкополосный шум	Тональный или импульсный шум	Примечания
Непрерывно или 4 *ч* и более	0	−5	1. Тональным считается шум, в 1/3-октавный спектр которого имеет пики с уровнями, на 10 *дб* и более превышающими уровни в соседних полосах.
Прерывисто с суммарным временем воздействия в смену в *ч*:			
1,5	+5	0	2. Импульсным считается шум, воспринимаемый как часто следующие друг за другом удары, например шум парового молота. Уровни звукового давления импульсного шума определяются стандартным шумомером.
0,75	−10	+5	
0,5	−15	−10	
0,25 и менее	+20	+15	

Звукоизолирующая способность

$$ЗИ = 10 \lg \frac{1}{\tau} = L_1 - L_2 + 10 \lg \frac{S}{A}\ дб, \qquad (9)$$

где L_1 — средний уровень звукового давления в помещении с источником звука в *дб*;

L_2 — средний уровень звукового давления в изолируемом помещении в *дб*;

S — площадь ограждения, разделяющего помещения, в $м^2$;

A — общее звукопоглощение изолируемого помещения в $м^2$,

$$A = 0{,}162 \frac{V_п}{T_р} = \sum \alpha F \; м^2, \tag{10}$$

здесь $V_п$ — объем помещения в $м^3$;

$T_р$ — время реверберации в *сек*. Время, необходимое для того, чтобы уровень звукового давления в помещении уменьшился до 60 *об* после выключения источника звука [7];

α — коэффициент звукопоглощения материалов и конструкций (табл. 4);

F — площадь ограждающих или звукоизолирующих конструкций в $м^2$.

4. Коэффициенты звукопоглощения материалов и конструкций α

Наименование материала или объекта	Частота звука в *гц*					
	125	250	500	1000	2000	4000
Открытое окно	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Бетон и железобетон	1.011	0.012	0.016	0.019	0.023	0.035
Кирпичная стена	0.024	0.025	0.031	0.042	0.049	0.07
Штукатурка алебастровая	0.02	0.03	0.04	0.05	0.03	0.028
Фанера толщиной 3 *мм* на расстоянии 100 *мм* от стены	0.3?	0.35	0.19	0.13	0.11	0.10
Паркет по асфальту	0.04	0.04	0.07	0.06	0.06	0.07
Асбест	—	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Акустическая штукатурка АШН (пемзовая)	0.22	0.27	0.31	0.31	0.33	0.30
Акустические плиты РосНИИМСа толщиной 2–2,5 *см*, весом 250–270 $кг/м^3$	0.45	0.35	0.39	0.04	0.49	0.63
Стекловойлок толщиной 30 *мм*	0.05	0.12	0.35	0.81	—	—
Минеральная вата толщиной 100 *мм*	0.43	0.53	0.59	0.69	0.70	—
Войлок толщиной в *см*:						
1,25	0.05	0.08	0.17	0.48	0.52	0.51
2,5	0.15	0.22	0.34	0.62	0.57	0.52
5,0	0.34	0.50	0.69	0.67	0.58	0.52
7,5	0.5	0.63	0.77	0.68	0.58	0.52
Асбестовый войлок толщиной 1 *см*	0.05	0.14	0.32	0.21	0.19	—
Щиты Бекеши 1 × 4 (холст на вате) толщиной 4 *см*	0.80	0.81	0.73	0.58	0.46	0.55
Парусина на расстоянии 10 *мм* от стены	0.10	—	0.25	—	0.15	—
Человек в помещении	0.35	0.41	0.52	0.46	0.49	0.49

В практических расчетах звукоизоляцию однородных ограждений определяют по зависимости

$$ЗИ = 20 \lg (Gf) - 47{,}5 \; об, \tag{11}$$

где G — вес панели в $кг/м^2$;

f — частота звука в *гц*.

В случае многократных отражений от внутренних поверхностей помещения фактическая звукоизоляция

$$ЗИ_ф = ЗИ - 10 \lg \frac{A}{S} \; об, \tag{12}$$

Звукоизоляционные качества двойной перегородки с независимыми жестко панелями зависят от массы панелей, величины воздушного промежутка, критической частоты каждой панели и от углов падения звуковой волны.

Звукоизоляцию двойного ограждения с воздушной прослойкой 8–10 *см* и весом G_1 и G_2 приближенно можно определить по формуле

$$ЗИ = 26 \lg (G_1 + G_2) - 6 \; об, \tag{13}$$

Кроме звукоизоляции борьбу с шумом ведут путем шумоглушения с применением звукопоглощающих материалов и конструкций (резонаторные конструкции, штучные звукопоглотители и т. д. [8]).

При работе ультразвуковых сварочных машин в воздушное пространство излучается шум с высоким уровнем звукового давления. Так, при частоте 20 *кгц* общий уровень шума на рабочем месте может достигать 130 *дб*, а согласно работе ([15] том 3) допускается применение установок с такой частотой с общим уровнем звукового давления не выше 110 *дб*. Уровень звукового давления в $^1/_3$-октавной полосе 12,5 *кгц* достигает 110 *дб*, а по требованиям он должен быть на 33 *дб* меньше. Мощность преобразователей в ультразвуковых сварочных машинах может быть различная (от сотых долей *квт* до нескольких *квт*). Все это оказывает вредное воздействие на организм человека.

Для снижения уровня звукового давления на рабочих местах рекомендуется:

1. При проектировании новых ультразвуковых установок не выбирать рабочие частоты ниже 22 *кгц*.

2. Использовать ультразвуковое оборудование в звукоизоляционном исполнении.

3. Размещать ультразвуковые установки, генерирующие шум выше допустимого, в специальных звукоизоляционных помещениях.

4. Оборудовать ультразвуковые установки звукоизолирующими камерами и кожухами с установкой блокировок включения генераторов только при закрытых газерах. В качестве материалов для звукоизоляции можно использовать листовую сталь или дюраль толщиной 1 *мм*, гетинакс — 5 *мм*; кожуха могут выполняться из нескольких слоев резины и др. Для лучшей звукоизоляции внутренние поверхности устройств покрывают звукопоглощающими материалами и покрытиями.

5. Устраивать отражательные экраны на рабочем месте перед ультразвуковыми сварочными агрегатами, которые по условиям технологического процесса не могут быть полностью звукоизолированы. Отражательные экраны изготовляют из металлических листов, органического стекла, винипласта и др. Экран из оргстекла толщиной 5 *мм* и размером 30×30 *мм* дает снижение шума на расстоянии 0,5 *м* при 10—20 *кгц* на 5 *дб*, при 20—50 *кгц* — на 8 *дб* и при 50—100 *кгц* — 22 *дб*. Эффективность защиты экрана увеличится, если размеры его выбирать с учетом длины волны с наибольшим уровнем звукового давления данного спектра.

ЗАЩИТА ОТ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Ионизирующие излучения, рентгеновские и гамма-лучи, альфа и бета-частицы оказывают вредное биологическое действие на организм человека.

При соблюдении необходимых правил вредное действие рентгеновских и гамма-лучей на организм может быть сведено к минимуму и работы по гамма-дефектоскопии могут производиться в течение длительного времени без вреда для здоровья работающих.

Вредное воздействие ионизирующей и проникающей радиации на организм человека зависит от мощности, дозы, вида излучения, расстояния от источника и индивидуальных особенностей организма.

При просвечивании рентгеновскими лучами дефектоскописты имеют дело лишь с проникающим излучением. Но при использовании радиоактивных изотопов всегда необходимо иметь в виду наличие не только проникающего гамма-излучения, но также альфа-бета-излучения. Так, например, кобальт-60 испускает бета-частицы и как сопутствующее этому гамма-излучение. Поэтому при непосредственном соприкосновении с открытым изотопом без предохранительных мер работающий будет подвергаться действию обоих излучений.

В связи с тем, что действие излучений различно для нормирования излучений, введен биологический эквивалент рентгена (*бэр*) — количество энергии любого вида излучения, поглощенного биологической тканью, биологическое действие которого эквивалентно действию 1 *р* рентгеновских или гамма-лучей.

Санитарными правилами работы с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений (Госатомиздат, 1960) установлены следующие предельно допустимые дозы (ПДД) внешнего облучения: а) для профессиональных условий 0,1 *бэр* в неделю и 5 *бэр* в год; б) для смежных производств в пределах санитарно-защитной зоны (СЗЗ) 0,01 *бэр* в неделю и 0,5 в год; в) для всего населения за пределами (СЗЗ) 0,001 *бэр* и 0,05 *бэр* соответственно.

При работе с радиоактивными веществами, рентгеновскими и гамма-лучами практически очень трудно полностью устранить их действие на организм работающих. Основными мерами защиты от излучений являются уменьшение дозы облучения, удаление персонала на безопасное расстояние от источника или, если это сделать по каким-либо причинам невозможно, то сокращение времени облучения.

Все эти величины можно определить по формулам

$$M_0 = \frac{D_0 R^2 10^4}{8{,}4t}; \qquad t_0 = \frac{D_0 R^2 10^4}{8{,}4M}; \qquad R_0 = \sqrt{\frac{8{,}4Mt}{D_0 10^4}}, \tag{14}$$

где M — гамма эквивалент радиоактивного изотопа в *мг* экв. радия (M_0 — допустимая величина);

R — расстояние от источника в *м* (R_0 — безвредное расстояние в *м*);

t — время ионизирующего облучения в *ч* (t_0 — время безвредного пребывания в *ч*);

D_0 — предельно допустимая мощность дозы ионизирующего излучения в *р* в неделю (0,017 *р* за рабочий день).

В том случае, если в производственных условиях ни того, ни другого сделать невозможно, то приходиться прибегать к устройству защитных экранов и ограждений, контейнеров или специальных установок. При этом наличие излучения контролируется приборами — дозиметрами.

Задачей дозиметрии является контроль рассчитанной величины мощности дозы первичного и рассеянного излучения от источника излучения, а также проверка правильности защиты. Для дозиметрии применяют универсальный радиометр ТИСС, нормальный радиометр-сигнализатор «Сигнал», радиометр попутного поиска типа «Спутник», дозиметр карманный и др.

Интенсивное рассеянное излучение может возникнуть при просвечивании в заводских условиях, в цехах при окружении места просвечивания большим количеством металлических изделий.

Расчет защитных толщин ограждений от радиоактивных излучений производят по специальным таблицам и номограммам ([15] том 3) в зависимости от мощности излучения или кратности ослабления дозы:

$$K = \frac{8{,}4Mt}{R^2 D_0},$$

или

$$K = \frac{D}{D_0}, \tag{15}$$

где D — заданная доза излучения, остальные обозначения соответствуют формулам (14).

Для практических расчетов защитных толщин d можно пользоваться формулой

$$d = \frac{\lg K}{\rho \frac{\mu}{\rho} \lg e}, \tag{16}$$

где K — кратность по формулам (15);

ρ — плотность вещества защитной толщины в $г/см^3$;

μ/ρ — массовый коэффициент ослабления для излучения с данной энергией в $см^2/г$;

e — основание натуральных логарифмов.

Кроме этого, согласно СП333-60 [15], при проектировании защиты следует вводить коэффициент запаса для величины мощности дозы на рабочем месте, равный двум.

Принципиально защита от вредного действия рентгеновских лучей не отличается от защиты при действии радиоактивных источников. Но если первоначальная мощность радиоактивных источников известна, то мощность рентгеновского излучения может быть самой разнообразной.

Мощность рентгеновской трубки определяется выражением

$$P = kIzU^2 \; вт, \tag{17}$$

где k — коэффициент пропорциональности,

$$k = (8 \div 2) \cdot 10^{-7} \; вт/ма \cdot кв^2;$$

I — ток анода в $ма$;

z — атомный номер материала анода;

U — напряжение анода в $кв$.

При работе рентгеновской трубки, когда на анод подано напряжение выше 15 $кв$, возникают два вида излучений: первичное — возникающее в аноде трубки в результате воздействия на него электронного пучка, и вторичное — возникающее вне анода трубки в результате воздействия первичного излучения на окружающие предметы.

Защитные устройства должны обеспечивать ослабление рентгеновского излучения с таким расчетом, чтобы доза последнего для всего тела человека за неделю не превышала 100 миллирентген, а при местном облучении только рук 500 миллирентген в неделю.

В качестве защитного материала применяют свинец, обычный бетон, баритовый бетон или кирпичные стены с баритовой штукатуркой. Все ограждения, стены, двери, перекрытия и т. п. покрывают масляной краской, металлической или деревянной обшивкой ([15] том 3).

Расчет защиты должен производиться на наиболее жесткие условия (максимальное анодное напряжение). Определение толщины защитного слоя свинца и бетона плотностью 2.35 $г/см^2$ приведено в Правилах ([15] том 3), там же имеется расчет защиты от гамма-излучений.

Помещение, в котором установлены аппараты, должно быть закрыто запирающейся дверью из защитного материала. Как правило, дверь блокируется электрическими контактами, автоматически выключающими анодное напряжение (а иногда все напряжение) на аппарате, при открывании двери.

Рабочие места в цехах и участках при просвечивании должны быть огорожены от остальных мест работы. Если ограждения установить нельзя, то при помощи дозиметров определяют безопасную зону и обязательно вывешивают предупреждающие знаки. В этом случае рентгеновскую трубку помещают в защитный тубус с окном для выпуска пучка излучений. Особо тщательно контролируют безопасное расстояние в направлении прямого пучка излучения.

Рентгеновские аппараты и бетатронные установки представляют собой сложные электронные устройства с высокими напряжениями. Поэтому при работе с ними следует соблюдать правила защиты и от поражения электрическим током. В этом отношении все установки и их эксплуатация должны отвечать правилам устройства и эксплуатации электроустановок [9, 10].

Все работы, связанные с применением торированных электродов, нанесением двуокиси тория на электроды, их получением, хранением, доставкой на

рабочие места, заточкой и процессом сварки, характеризуются возникновением возможной радиационной опасности. Поэтому все виды работ с использованием торированных электродов должны отвечать требованиям санитарных правил ([15] том 3).

ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ

Безопасность эксплуатации электросварочного оборудования обеспечивается: надежной изоляцией, применением защитных ограждений и их автоблокировки, заземлением электрооборудования или его элементов, могущих оказаться под напряжением. Сварочное оборудование должно быть надежно в работе и удобно при эксплуатации.

Основные требования электробезопасности, предъявляемые к сварочному оборудованию, следующие.

Токоведущие части сварочной цепи должны быть надежно изолированы. Сопротивление изоляции должно быть не менее 0,5 *Мом*; проверка производится не реже одного раза в три месяца, а при автоматической сварке под флюсом — один раз в месяц. Изоляция должна выдерживать напряжение 2 *кв* в течение 5 *мин*.

Корпуса электросварочного оборудования, агрегатов, сварочные столы и плиты и т. д., а также обратные провода должны быть заземлены. Защитное заземление осуществляется путем присоединения корпуса сварочных источников питания, снабженного специальным болтом, к проводу заземляющего устройства, а также заземлением свариваемого изделия. При этом необходимо соединять сварочную установку непосредственно с заземляющим проводом, не соединять установки последовательно между собой и не применять общего заземляющего провода для группы установок. Несоблюдение этого требования может привести к тому, что при обрыве провода, последовательно соединяющего установки, некоторые из них будут не заземлены. Сопротивление заземления при напряжении до 1000 *в* должно быть не более 4 *ом*, а при напряжении выше 1000 *в* не более 0,5 *ом* в любое время года. Разрешается не заземлять непосредственно корпус двигателя, подающего электродную проволоку, если он установлен на корпусе сварочной головки и имеет с нею надежный металлический контакт.

Однопостовые сварочные агрегаты, генераторы и трансформаторы со стороны питающей сети должны быть защищены предохранителями. Многопостовые сварочные агрегаты, кроме защиты со стороны питающей сети, должны иметь максимальный автомат в общем проводе сварочной цепи и предохранители на каждом проводе к сварочному посту.

Источники сварочного тока можно присоединять к распределительным электрическим сетям напряжением не выше 500 *в*. Однофазные сварочные трансформаторы распределяют равномерно между отдельными фазами трехфазной сети. Питание дуги через регулятор тока любого типа непосредственно от распределительной сети не допускается.

Напряжение холостого хода сварочных генераторов постоянного тока не должно превышать 80 *в*. Для генераторов с номинальным током выше 350 *а* допускается увеличение напряжения холостого хода до 90 *в*. Напряжение холостого хода трансформаторов на 350 *а* и более не должно превышать 70 *в*, а трансформаторов на 100 *а* — 75 *в*. Трансформатор со вторичным напряжением холостого хода 70—100 *в* должен быть выполнен с устройством, обеспечивающим при обрыве дуги автоматическое отключение его с выдержкой не более 0,5 *сек*. При атомно-водородной сварке напряжение холостого хода допускается до 300 *в*, при ручной газоэлектрической резке — 180 *в* и при механизированной — до 500 *в* при соблюдении требований безопасности. При работе нескольких трансформаторов или генераторов на одну сварочную дугу схема их включения должна обеспечивать в сварочной цепи напряжение не свыше указанных величин

Питание двигателя сварочной головки при автоматической сварке допускается только через разделительный трансформатор с вторичным напряжением не больше 70 *в*, а вторичная обмотка соединяется в звезду и средняя точка заземляется.

Все рукоятки, маховички, кнопки управления, которые могут оказаться под опасным напряжением, должны быть выполнены из диэлектрического материала или надежно изолированы от корпуса.

Подвод тока к электрододержателю от сварочного аппарата должен осуществляться изолированным гибким проводом в защитном экране типа ПРГД или кабелем типа КРПТ. Гибкий провод, к которому присоединяется электрододержатель, рекомендуется выбирать длиной около 3 *м*. Вся длина проводов между электрододержателем и источником питания во избежание большого падения напряжения не должна превышать 30 *м*. Сварочные провода должны соединяться между собой горячей пайкой, сваркой или изолированными муфтами. Места паяных или сварных соединений должны быть тщательно изолированы. Присоединение провода к электрододержателю и обратного к свариваемому изделию должно быть надежным и осуществляться при помощи болтов, струбцин и механических зажимов. Место присоединения изолируют. При сварочных токах более 600 *а* токоподводящий провод должен присоединяться к электрододержателю, минуя рукоятку.

Использование в качестве обратного провода сети случайных проводников (газовых, водопроводных труб, металлических конструкций) запрещается. Допускается использование стальных шин, сварочных плит и самой свариваемой конструкции, причем соединение таких проводников должно выполняться при помощи болтов, струбцин и зажимов.

При работе с осциллятором или генератором высокой частоты опасность электротравматизма возрастает, так как высокая частота 100—15 000 *гц*, наложенная на переменный ток частотой 50 *гц*, может пробить ненадежную изоляцию.

Конструкция осциллятора должна предусматривать невозможность электрического соединения цепей низкой и высокой частоты. Для защиты сварщика от поражения током высокой частоты в цепи осциллятора должен стоять исправный конденсатор безопасности. Электрическая схема сварочной установки с применением осциллятора должна предусматривать его отключение после возбуждения дуги.

При смене электродов или при обрыве дуги есть опасность получения электротравмы. Напряжение холостого хода 100 *в* может вызвать прохождение тока через человека в 0,1 *а*, что считается опасным. Для устранения этой опасности необходимо применять автоматическое защитное отключение. Аппарат типа АСН [1] при разрыве сварочной дуги снимает сварочное напряжение менее чем за 0,5 *сек*.

Проходы между стационарными однопостовыми сварочными агрегатами (двигатель-генераторы или преобразователи) должны быть шириной не менее 0,8 *м*, между стационарными многопостовыми постами не менее 1,5 *м*, а расстояние от агрегата до стены не менее 0,5 *м*. Проходы между трансформаторными пунктами питания не менее 1,0 *м*. Расстояние между автоматическими сварочными установками не менее 2 *м*, а проходы с каждой стороны при автоматической сварке под флюсом не менее 1,2 *м*.

Монтаж, эксплуатация и ремонт оборудования для электродуговой и контактной сварки, аппаратуры и рабочего места электросварщика рассмотрены в первом томе данного справочника, а также в работе [1].

Все сварочные установки в отношении электробезопасности должны удовлетворять требованиям «Правил» [9], а эксплуатация электросварочного оборудования должна производиться в соответствии с «Правилами» [10].

Появление и накопление статического электричества на оборудовании может быть причиной пожара и взрыва, а также привести к тяжелому электротравматизму. Статическое электричество может возникать при протекании

жидкости или газа по системам, при движении пыли в воздухе, хождении людей и т. п. При этом напряжения могут достигать следующих величин (в *в*):

Заполнение металлического баллона смесью бензина и бензола	9 000
Выпуск углекислого газа из баллона:	
на баллоне	8 000
на резиновом шланге	10 000
Выпуск из баллона ацетилена, увлажненного ацетоном	9 000
Завихрение угольной пыли	5 400
Разбрызгивание красок	10 000
Хождение людей в обуви на резиновых подошвах	1 000

К основным мероприятиям по защите от статического электричества относятся:

отвод зарядов статического электричества посредством заземления оборудования, коммуникаций и емкостей, в которых оно возникает и может накапливаться;

применение материалов, увеличивающих электропроводность;

общее и местное увлажнение воздуха в опасных местах помещений до 75% относительной влажности или увлажнение поверхности электризующего материала;

заполнение аппаратов, емкостей и других устройств инертным газом, преимущественно азотом;

осушка и очистка газов от взвешенных, жидких и твердых частиц;

ионизация воздуха или среды, в частности, внутри аппарата, емкости и т. п. путем использования радиоактивных веществ, высоковольтного разряда и других источников ионизации;

устройство полов с повышенной электропроводимостью и электропроводящих заземленных зон для снятия зарядов статического электричества, накапливающегося на людях;

изменение конфигурации и материала рабочих органов машин.

Оборудование и трубопроводы в цехе, наружных установках, эстакадах, должны представлять собой на всем протяжении непрерывную цепь и присоединяться к заземляющим устройствам. Оборудование следует считать заземленным, если сопротивление утечки тока в любой точке при самых неблагоприятных условиях (повышенная сухость воздуха) не превышает 10^6 *ом*.

Все проектируемое и действующее оборудование, на котором возникающее статическое электричество представляет опасность, должно отвечать требованиям «Правил защиты от статического электричества и вторичных проявлений молний в промышленности» утвержденных Президиумом ЦК профсоюза 22 декабря 1966 г.

БЕЗОПАСНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГАЗОСВАРОЧНЫХ УСТАНОВОК И СИСТЕМ, НАХОДЯЩИХСЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Основными требованиями безопасности систем и установок, работающих под давлением, являются: достаточная прочность материала и конструкции; строгое соблюдение температурного режима и давления при эксплуатации; отсутствие утечек жидкости или газа из системы; надежная работа контрольно-измерительной, предохранительной и другой безопасной арматуры.

Материал систем и установок и вся конструкция в целом должны работать в пределах упругой деформации. Остаточные деформации, превышающие установленные пределы для данного материала, могут привести к разрушению или взрыву объекта, что в большинстве случаев сопровождается человеческими жертвами или тяжелыми травмами, а также наносит народному хозяйству большой материальный ущерб.

Все системы и установки проходят гидравлические и пневматические испытания. При гидравлических испытаниях измеряют остаточную деформацию и

рассчитывают напряжение в материале, которое не должно превышать $^2/_3$ предела текучести. Пневматические испытания проводят продувкой систем азотом или сжатым воздухом для определения утечки газа.

Утечка газов из систем и установок, находящихся под давлением, может привести к созданию в воздушной среде помещения взрывоопасной смеси. Характеристики некоторых горючих и взрывоопасных газов и паров приведены в табл. 6.

5. Характеристики горючих и взрывоопасных газов и паров

Наименование	Температура в °С			Предел взрываемости при содержании газа в воздухе в объемных %	
	вспышки	самовоспламенения	воспламенения	нижний	верхний
Газы					
Аммиак	—	780	760	16.1	27.0
Ацетилен	425	480	440	2.2	82.0
Бутан	—	—	—	1.5	8.4
Водород	570	590	585	3,3	81.5
Метан	650	—	750	4.8	16.7
Пропан	—	—	—	2.2	9.5
Сероводород	—	346	345	4.3	45.5
Окись углерода	650	—	651	11.4	77,5
Этан				3.1	15.0
Природный газ				4.8	14.2
Пары					
Ацетон	20	—	178	3.1	10,2
Бензин	—	300	—	0.7	6.0
Керосин	—	—	—	1.4	7,5

Величина утечки газов за 1 *ч*

$$V = \frac{100}{A}\left[1 - \frac{P_н (273 + t_н)}{P_к (273 + t_к)}\right]\%, \qquad (18)$$

где A — время испытания в *ч*;

$P_н$ и $P_к$ — абсолютное давление в системе соответственно в начале и в конце испытания в $кГ/см^2$;

$t_н$ и $t_к$ — температура газа в системе соответственно в начале и конце испытания в °С.

С точки зрения взрывной безопасности и уменьшения утечек необходимо наполнять системы, особенно сжиженными газами, не на полный объем. Свободный объем $V_{св}$ системы в процентах ко всему объему

$$V_{св} = \alpha V (t_к - t_н)\,100\%, \qquad (19)$$

где α — коэффициент расширения сжиженного газа в 1/°С;

V — объем системы;

$t_к$ и $t_н$ — конечная и начальная температуры газа при заполнении системы в °С.

К безопасной арматуре относятся манометры, термометры, затворы, редукторы, регуляторы давления, предохранительные, сбрасывающие и перепускные клапаны. Арматура будет безопасной, если соблюдаются правила эксплуатации. Так, например, кислородный вентиль или редуктор, при наличии масла в резьбовых соединениях, являются опасными, а при отсутствии масла — безопасными. Также опасной будет ацетиленовая аппаратура, имеющая латунные детали, содержащие более 70% Cu.

Все системы и установки, работающие под давлением, условно классифицируют по максимальному давлению так: низкого давления до 16 *кГ/см*², среднего — до 50 *кГ/см*², повышенного — до 200 *кГ/см*² и высокого — до 1000 *кГ/см*².

Проектирование, изготовление и эксплуатация систем и установок, работающих под давлением выше 0,7 *кГ/см*² и при емкости более 20 *л*, контролируются органами Госгортехнадзора, системы и установки с меньшими параметрами — местными органами безопасности на предприятиях.

Системы, установки и арматура со сжатыми газами и их эксплуатации при газоэлектрических и газосварочных работах должны соответствовать требованиям «Правил» [11], а работы, связанные с ацетиленом и кислородом — «Правил» ([15] том 3).

Баллоны со сжатыми, сжиженными и растворенными газами классифицируют по типам в зависимости от вида газа и рабочего давления: тип А — 150 *кГ/см*² — для кислорода, водорода, метана, азота и аргона; тип Б — 125 *кГ/см*² — для блаугаза и углекислого газа; тип В — 30 *кГ/см*² — для ацетилена; тип Г — 6 *кГ/см*² — для сернистого ангидрида; тип Е — 30 *кГ/см*² — для аммиака, хлора, фреона номеров 11, 12, 13, 22.

Все баллоны, за исключением ацетиленовых, перед осмотром тщательно очищают и промывают водой, а в случае необходимости — соответствующим растворителем или дегазатором. Основанием для выбраковки баллонов при осмотре является наличие трещин, вмятин, раковин и рисок глубиной более 10% от номинальной толщины стенки, износ резьбы горловины, отсутствие паспортных данных и т. д.

Основанием для выбраковки при испытаниях служат потеря номинального веса и увеличение объема, если потери веса баллона составляют 7,5—10% или происходит увеличение объема на 1,5—2%, то давление снижают на 15%, при потере веса на 10—15% или увеличении объема на 2—2,5% давление снижают на 50%, при потере веса на 15—20% или увеличении объема на 2,5—3% — на 75%, а при потере веса на 20% и более и увеличении объема на 3% и более баллон бракуют.

Баллоны для ацетилена заполняют зернистой пористой массой марки МГ-100 из активированного угля с размером частиц 1—3,5 *мм*. Пористую массу заливают ацетоном, хорошо растворяющим ацетилен. При проверке баллона его наполняют азотом. Объем полого пространства у баллонов емкостью более 25 *л* не должен превышать 150 *см*³, а при емкости менее 25 *л* — 50 *см*³. При обнаружении спекания пористой массы, признака ее полимеризации или следов обратного удара пламени пористую массу заменяют.

Сжатый воздух и другие газы хранят и транспортируют в стальных цельнотянутых баллонах емкостью 40 *л*.

Отличительные признаки баллонов (табл. 6) должны быть хорошо известны обслуживающему персоналу, который должен безошибочно определять наименование газа в эксплуатируемом баллоне.

В процессе эксплуатации баллонов и емкостей, содержащихся под давлением, необходимо соблюдать следующие правила и требования безопасности;

баллоны со сжатым газом положено хранить в количестве не более 50 шт. в отдельных одноэтажных складских помещениях или под навесами, защищенными от прямого попадания солнечных лучей;

склады баллонов должны иметь естественную или механическую вентиляцию, обеспечивающую удаление из помещения газов, выделяющихся из баллонов, чтобы не создавалось пожароопасной и взрывоопасной концентрации. Для защиты от грозовых разрядов склады баллонов с горючими и взрывоопасными газами должны иметь молниеотводы шпилевого или метелочного типа. Высоту их подбирают в соответствии с действующими правилами по грозозащите; запрещается хранение газовых баллонов с взрывчатыми веществами, с легковоспламеняющимися и горючими жидкостями, легковоспламеняющимися твердыми веществами, с веществами, самовозгорающимися и самовоспламеняющимися от действия воды и воздуха, а также с веществами, могущими вызвать

6. Маркировка баллонов

Газ	Окраска баллона	Текст надписи	Цвет надписи	Цвет полосы
Азот	Черная	Азот	Желтый	Коричневый
Аммиак	Желтая	Аммиак	Черный	—
Аргон сырой	Черная	Аргон сырой	Белый	Белый
Аргон технический	Черная	Аргон технический	Синий	Синий
Аргон чистый	Серая	Аргон чистый	Зеленый	Зеленый
Ацетилен	Белая	Ацетилен	Красный	—
Водород	Темно-зеленая	Водород	Красный	—
Воздух	Черная	Сжатый воздух	Белый	—
Гелий	Коричневая	Гелий	Белый	—
Закись азота	Серая	Закись азота	Черный	—
Кислород	Голубая	Кислород	Черный	—
Нефтегаз	Серая	Нефтегаз	Красный	—
Сероводород	Белая	Сероводород	Красный	Красный
Сернистый ангидрид	Черная	Сернистый ангидрид	Белый	Желтый
Углекислота	Черная	Углекислота	Желтый	—
Фреон	Алюминиевая	Фреон №	Черный	—*
Другие горючие газы	Красная	Наименование газа	Белый	—
Другие негорючие газы	Черная	То же	Желтый	—

* Фреон № 11 — одна синяя полоса; фреон № 12 — полос нет; фреон № 13 — три красные полосы; фреон № 22 — две желтые полосы.

воспламенение; баллоны с инертными и негорючими газами нельзя хранить совместно с отравляющими веществами; баллоны с газами, поддерживающими горение, нельзя хранить совместно с веществами, способными к образованию взрывчатых смесей, а также с горючими взрывоопасными газами; вокруг склада с баллонами устанавливают охранную зону 10 *м*, в которой запрещается курить, разводить огонь, производить работы с применением открытого огня (паяльные, сварочные, кузнечные и др.) и хранить горючие и смазочные материалы;

во всех случаях хранения баллонов на складе или в местах их эксплуатации на их штуцерах должны быть навинчены защитные пробки, а на вентилях надеты предохранительные колпаки;

на складе наполненные баллоны должны храниться в вертикальном положении в специальных стеллажах или клетках, при помощи специальных барьеров, в индивидуальных стойках или закрепленными железными хомутами к стене здания;

при хранении, транспортировке и эксплуатации баллонов со сжатыми газами не допускать ударов и резких толчков, т. е. нельзя сбрасывать их с автомобилей и платформ, перекатывать «валиком» с толчками, ударять молотком по вентилю или баллону и т. д.;

баллоны допускается переносить на носилках или перевозить на специальных тележках, переноска баллонов на плечах запрещается; перевозка баллонов на автомобилях допускается только при наличии сбитых войлоком деревянных рам-прокладок;

наполнение баллонов сжатыми газами от компрессорной станции, от транспортных баллонов и других емкостей может быть поручено только специально подготовленным рабочим, знающим правила обращения со сжатыми газами, баллонами, раздаточными аппаратами и компрессорами;

нельзя эксплуатировать баллоны с просроченным сроком испытания, а также наполнять баллоны, предназначенные для одного газа, другим;

не допускается нагрев баллонов со сжатым газом; нельзя устанавливать их ближе 10 *м* от очага отопления; при необходимости отогреть охлажденный

баллон или его вентиль, можно применять пар, горячую воду, а лучше — горячий воздух;

баллон, наполненный сжатым или сжиженным газом, должен быть оснащен редуктором с проверенными манометрами; редукторы с неисправными манометрами, клапанами и соединениями к эксплуатации не допускаются;

перед присоединением к штуцеру (ниппелю) баллона трубки или шланга, передающих газ потребителю, необходимо, открыв вентиль на пол-оборота маховичка, продуть в течение 0,5—1,0 *сек* штуцер. Вентиль баллона можно открывать только тогда, когда к нему ничего не присоединено или когда внешний конец присоединенной к нему трубки закреплен в штуцере приемника так как оставленный свободный конец трубки, придя в движение под реактивным действием вытекающей из него струи сжатого газа, может нанести травму обслуживающему персоналу. Вентиль баллона во всех случаях полагается открывать медленно и осторожно. При закрытии вентиля не следует сразу туго закрывать его шпиндель (необходимо подождать 2—3 *мин*, пока шпиндель примет окружающую температуру);

перед включением кислородных баллонов необходимо убедиться, что на штуцерах и гайках резьбовых соединений нет масла и других смазочных материалов. Малейшие следы масла могут привести к взрыву, поэтому в целях предотвращения взрыва нельзя касаться масляными руками и смазывать маслом вентили и редукторы кислородных баллонов;

если сальник вентиля баллона, в особенности содержащий горючий газ, «травит» или имеется утечка газа через вентиль, то подтягивать сальник или вентиль нельзя. В этом случае надо закрыть вентиль и сделать на баллоне соответствующую надпись: «Осторожно. Полный неисправный», «Неисправный вентиль» и отправить его на склад для ремонта;

подтягивать резьбовые соединения вентиля можно только при отсутствии давления газа в баллоне. Если необходимо подтянуть гайки соединений системы, то сначала должна быть закрыта подача газа из баллона;

категорически запрещается своими силами вывертывать из баллона вентили и исправлять их, так как при отсутствии опыта и специальных приспособлений неизбежен выход из строя вентиля;

использование нестандартных или неисправных редукторов и манометров при сварке не допускается. Применяются специальные редукторы: РА-30, РА-50, РД-2А для ацетилена и РК-53 (однокамерный), РДС-50 (двухкамерный) для кислорода. Ацетиленовые редукторы окрашены в белый цвет, кислородные — в синий. Кислородные редукторы комплектуются манометрами высокого давления (до 250—300 *кГ/см*^{2}) и низкого (до 15—20 *кГ/см*^{2}), а ацетиленовые снабжаются манометрами на 30 и 5 *кГ/см*^{2}.

Монтаж, эксплуатация и ремонт газосварочного оборудования рассмотрены в первом томе справочника (гл. XIV), а специальные требования по технике безопасности — в литературе [1], [15].

ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ

Для защиты открытых частей тела работающих от пыли, радиоактивных и тепловых излучений, предохранения от горячих брызг и частиц металла должны применяться специальная одежда (брюки, куртки, комбинезоны, костюм для летних и зимних работ, рукавицы) и специальная обувь. Материал и маркировка одежды должны соответствовать ГОСТу 12054—66. Спецодежда газосварщикам и электросварщикам для летних работ (костюм брезентовый и кожаные ботинки) выдается на срок до 12 месяцев, а для зимних наружных работ (костюм ватный и валенки) — до 24 месяцев.

Срок носки рукавиц электросварщиками установлен 2 месяца, а газосварщиками 3 месяца.

Для защиты органов дыхания сварщиков от пыли можно рекомендовать бесклапанный респиратор ШБ-1 «Лепесток» или щиток с подачей в него чистого воздуха. При сварке в закрытых пространствах, учитывая возможность накопления значительного количества пыли и газов, помимо общеобменной вентиляции, электросварщики должны пользоваться одним из шланговых приборов: ПШ-2, ДПА-5, установкой для подачи воздуха в скафандр, ОСМ, РМП-62.

Каждый электросварщик, газоэлектрорезчик, производящий сварочную работу открытой электрической дугой, для защиты лица и глаз от действия лучей электрической дуги должен быть обеспечен наголовной маской или щитком ЩЭУ-1 с защитными светофильтрами ЭС различной прозрачности в соответствии с величиной сварочного тока [15], а именно: ЭС-100 — при сварочном токе до 100 *а*, ЭС-300 — при токе 100—300 *а* и ЭС-500— при токе свыше 300 до 500 *а*. Подручные электросварщиков, сборщики, работающие совместно с электросварщиками, должны быть обеспечены щитками или масками, либо закрытыми очками № 1879-М или 1880-М со стеклами марки В. Для предохранения светофильтров от загрязнения и брызг металла снаружи они закрываются обычным стеклом. При появлении на масках или щитках трещин или отверстий от прожога брызгами металла они заменяются.

Газосварщики, газорезчики должны быть обеспечены защитными очками закрытого типа со стеклами марки ГС-2, имеющими плотность светофильтров ГС-3 при горелках (резаках) с расходом ацетилена до 750 *л/ч*, ГС-7 — до 2500 *л/ч* и ГС-12 — свыше 2500 *л/ч*. Вспомогательным рабочим рекомендуется пользоваться защитными очками со стеклами марки СС-14 со светофильтрами П-1800. Газосварщикам и вспомогательному персоналу, занятым на газо- и электросварке можно рекомендовать очки С-12 со сменными стеклами-светофильтрами марки В, Г, СС, а также очки — полумаску С-15.

Выбор светофильтров для защиты глаз от лучистой энергии можно также производить по ГОСТу 9497—60 «Светофильтры стеклянные для защиты глаз от вредных излучений на производстве» [1].

Для защиты органов слуха от воздействия производственного шума и ультразвука применяются внутренние и наружные антифоны.

Внутренние антифоны предназначены для изоляции наружно-слухового прохода от внешней среды; они представляют собой мягкие тампоны (ватные шарики, пропитанные смесью из 60% воска и 40% парафина или мягкие тампоны из ультразвукового волокна).

Для работающих в сборочно-сварочных цехах можно применять и антифоны конструкции Г. М. Котлярова. Вкладыши избавляют от шума и позволяют различать разговорную речь. Устроены они так: на тонкий пластмассовый стержень надет мягкий резиновый колпачок. Внутри стержня проходит глухой тонкий канал с двумя поперечными ответвлениями. Резиновый колпачок легко принимает форму слухового канала и поэтому не давит на его стенки. Также антифоны выпускаются трех размеров с диаметром 8, 9 и 10 *мм* и подбираются соответственно размеру наружного слухового прохода. Пользоваться внутренними антифонами рекомендуется непродолжительное время.

Наружные антифоны предназначены для защиты органов слуха и головы, представляют собой различные наушники, шлемы, повязки. Наиболее эффективны и удобны в эксплуатации противошумные наушники («Новые», ПАС, «Киевские» и др.). Так, противошумные наушники МПОТ-2 снижают шум на частоте 2000 *гц* на 35 *дб*, а внутренние антифоны на 20 *дб*.

Для защиты людей, обслуживающих электроустановки, от поражения током используются изолирующие штанги и клещи, изолированный инструмент, диэлектрические перчатки и рукавицы, диэлектрические боты и калоши, диэлектрические коврики, дорожки, маты и подставки и т. д. Все средства индивидуальной защиты от поражения электрическим током проверяют на пробой и маркируют по напряжениям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берсон Л. М. Техника безопасности при газосварочных и электросварочных работах. М., Профиздат, 1968.
2. Гигиена труда и техника безопасности при электросварочных работах. Сб. трудов научной конференции 29—30 марта 1960 г. Под редакцией д-ра мед. наук Воронцовой Е. И. Институт гигиены труда и профзаболеваний АН СССР, М., 1962.
3. Гигиенические требования к устройству и эксплуатации ультразвуковых установок. М., издание Минздрава СССР, 1965.
4. Кнорринг Г. М. Справочник для проектирования электрического освещения. М., Госэнергоиздат, 1960.
5. Мигай К. В., Норкин Ю. И. Санитарно-гигиенические условия труда при электросварке в среде углекислого газа. Сб. «Научные работы институтов охраны труда». Вып. 46. М., Профиздат, 1967.
6. Мигай К. В. Оздоровление условий труда при электросварочных работах. Л., Судпромгиз, 1960.
7. Осипов Г. Л. и др. Измерение шума машин и оборудования. М., Изд-во стандартов, 1968.
8. Осипов Г. Л. Шумы и звукоизоляция. М., Стройиздат, 1967.
9. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). М. — Л., изд-во «Энергия», 1964.
10. Правила технической эксплуатации и безопасного обслуживания электроустановок промышленных предприятий. М., Госэнергоиздат, 1961.
11. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. Руководящие материалы по котлонадзору. М., изд-во «Металлургия», 1964.
12. Санитарные нормы промышленного проектирования СН245-63. М., Госстройиздат, 1963.
13. Санитарные правила при сварке и резке металлов (Утвержденные Главной Государственной Инспекцией от 17. XII. 1967 г. за № 725-67).
14. Строительные нормы и правила СН и П-62 М. Стройиздат, 1964.
15. Справочник по технике безопасности и производственной санитарии в трех томах Л., изд-во «Судостроение», 1965.
16. Указания по проектированию отопления и вентиляции предприятий машиностроительной промышленности Заготовительные и сборочно-сварочные цехи (Серия АЗ-201 II). Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС. Вып. 47. М., Профиздат, 1967.

ГЛАВА XIII

ДЕЙСТВУЮЩИЕ СТАНДАРТЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В СВАРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

В справочнике приведены общесоюзные стандарты, использующиеся в сварочном производстве, действующие на 1 июля 1969 г.*.

В табл. 1 приведены ГОСТы по возрастающим номерам, а также номера, определяющие их место в предметном списке стандартов (табл. 2).

Табл. 2 представляет собой предметный список стандартов и является основной. В ней указаны порядковые номера по табл. 2, номера и наименования стандартов и аннотации на них. Все стандарты разделены на шесть групп.

В 1-й группе объединены стандарты общего назначения и смежных процессов — терминология, обозначение на чертежах и прочее.

Во 2-й группе приведены некоторые стандарты на наиболее часто применяемый в сварочной технике основной металл: углеродистую низколегированную и легированную конструкционную сталь, сталь для мостостроения, котлостроения, судостроения, высоколегированные коррозионно-стойкие жаростойкие и жаропрочные стали, стальной прокат, листовой металл, на алюминиевые сплавы, медь и медно-цинковые сплавы. Ввиду перспективности холодногнутых профилей приведены стандарты на них.

В 3-й группе объединены стандарты на присадочные материалы: проволоку, прутки, электроды, флюсы, составляющие электродных покрытий и флюсов для разных видов сварки, резки и пайки, защитные газы, применяемые при сварке и резке металлов.

В 4-й группе приведены стандарты на оборудование, инструменты и другие материалы для электродуговой, контактной сварки и газопламенных методов обработки металлов.

В 5-й группе даны стандарты на сварные металлические конструкции и элементы конструкций, изготовленные с применением сварки, резки или наплавки.

В 6-й группе приведены стандарты на испытание и контроль материалов, сварных соединений и конструкций.

---

* При составлении XIII главы автором использованы и переработаны материалы, полученные во Всесоюзном научно-исследовательском институте технической информации, классификации и кодирования Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР.

1. Список действующих стандартов по возрастающим номерам

№ ГОСТов	№ по табл. 2	№ ГОСТов	№ по табл. 2	№ ГОСТов	№ по табл. 2
83—63	130	3680—57 *	32	5774—51 *	158
9.)—65	179	3773—60 *	150	5777—51	124
228—65	248	3882—67	109	5781—61	27
297—61*	187	4168—66	134	5905—67	102
304—65	173	4173—66	119	5948—60	195
380—60*	14	4203—65	125	5973—61 *	236
433—58	184	4214—48	151	5995—51	231
450—58	143	4221—65	83	6008—51	101
492—52*	59	4233—66	128	6032—58 *	254
493—54*	58	4328—66	136	6034—51	88
495—50	43	4330—66	148	6053—66	132
699—59*	200	4414—48	76	6132—63	51
741.0—741.18—69	287	4415—48 *	72	6138—61 **	75
742—67	140	4416—48 *	86	6194—52 *	133
784—53*	161	4417—48 *	73	6217—52	197
797—64	157	4418—48	77	6247—52	222
855—63	111	4421—48 *	79	6268—68	198
859—66	42	4422—48	85	6331—68	163
877—52	216	4423—48	71	6484—64	160
879—52 *	81	4452—66	146	6713—53	16
911—62	89	4515—48	60	6731—68	183
931—52 *	45	4522—65	123	6824—54 *	159
949—57 *	199	4526—67	139	6912—64	78
972—50	82	4543—61 *	20	6996—66	260
1019—47 *	44	4568—65	122	7012—54 *	180
1050—60 *	15	4755—49 *	91	7070—64 *	245
1066—58	55	4756—49 *	100	7075—64	214
1077—58	194	4757—67	96	7122—54	251
1078—66	204	4758—55	97	7131—64	217
1361—54 *	186	4759—49 *	95	7167—54	144
1415—61	93	4760—49 *	98	7168—65	141
1429—54	292	4761—67	94	7205—67	145
1460—56 *	171	4762—49	99	7237—54	175
1497—61	261	4780—49	149	7248—54	213
1499—54	69	4784—65 *	41	7345—68	147
1534—42	68	4960—68	105	7350—66	33
1638—42 *	201	5003—65	228	7511—58	30
1763—68	259	5044—55	221	7512—55	252
1778—62	258	5058—65	19	7621—55	8
1949—65	90	5100—64 *	84	7699—68	87
2149—65	142	5105—66	223	7759—55	138
2156—68 *	131	5157—53 *	29	7871—63	50
2179—59	53	5165—49 *	92	7890—67	215
2222—65 *	156	5172—63	220	7920—56 *	244
2246—60 *	47	5190—67	192	8050—64	168
2402—54	174	5191—57	205	8126—56	243
2405—63	211	5200—50	13	8135—62	117
2590—57 *	26	5221—50	57	8190—56 *	70
2601—44 *	1	5222—50	56	8213—56 *	181
2629—44	153	5263—58	7	8239—56 *	22
2652—67	126	5264—58	3	8240—56 *	23
2671—44	62	5272—68	10	8276—63	37
2715—44	242	5279—61	80	8278—63	38
2768—67	196	5307—50	52	8281—69	39
2860—65	268	5457—60	170	8318—57 *	203
2871—67	129	5520—62	17	8429—57 *	118
2912—66	121	5521—67	18	8478—66	240
2913—55	247	5582—61 *	34	8509—57	24
2999—59	274	5583—68	162	8510—57	25
3022—61	164	5614—67	208	8696—62	225
3134—52 *	172	5632—61 *	21	8711—60	189
3226—65	114	5639—65	255	8713—58 *	5
3242—54	250	5640—68	253	8766—58	193
3248—60	269	5644—66	135	8856—58	190
3262—62	224	5657—51	271	9012—59 *	272
3285—65	293	5681—57 *	31	9013—59	273
3340—60	112	5744—62	113	9077—59	74

Продолжение табл. 1

№ ГОСТов	№ по табл. 2	№ ГОСТов	№ по табл. 2	№ ГОСТов	№ по табл. 2
9087—59	67	10561—63	137	13079—67	116
9246—59 *	238	10594—63	176	13091.0—13091.8—67	276
9293—59 *	165	10674—63	233	13151.0—13151.11—67	282
9356—60 *	202	10704—10707—63	226	13217.0—13217.11—67	280
9445—60	246	10720—64	207	13230.0—13230.9—67	277
9450—60	275	10796—64	206	13377—67	12
9454—60	264	10922—64	291	13400.0—13400.9—67	278
9455—60	266	10935—64	234	13587—68	257
9456—60	265	10936—64	235	13717—68	212
9466—60	63	11068—64	227	13819—68	9
9467—60	64	11150—65	263	13821—68	177
9497—60 *	185	11249—65	230	13842—68	54
9532—60	127	11283—65	218	13843—68	49
9651—61	262	11474—65	36	14019—68	267
9721—61	104	11533—65	6	14021.0—14021.8—68	288
9722—61 *	106	11534—65	4	14085—68	46
9849—61 *	103	11545—65	61	14086—68	107
9867—61	11	11546—65	108	14098—68	241
9875—61 *	154	11630—65	178	14111—69	188
9931—61 *	219	11810—66	290	14250.0—14250.9—69	279
9966—62 *	155	11966—66	210	14315—69	285
10051—62	65	11969—66	2	14316—69	283
10052—62 *	66	12132—66	229	14327—69	110
10068—62	152	12162—66	167	14328.0—14328.5—69	289
10145—62	270	12169—66	249	14338.0—14338.4—69	281
10157—62	166	12221—66	209	14339.0—14339.5—69	284
10196—62	169	12336—66	239	14350—69	35
10243—62 *	256	12406—66	232	14635—69	40
10262—62	120	12492—67	28	14638.0—14638.15—69	286
10527—63	237	13045—67	191	14651—69	182
10543—63	48	13078—67	115		

* Звездочкой отмечены стандарты, в которые были внесены изменения.
** Двумя звездочками отмечены стандарты, которые были заменены частично.

2. Предметный список стандартов

№ по предметному списку	Номер стандартов, наименование и аннотация
	Стандарты общего назначения по сварке и смежным процессам
1	**2601—44***. Сварка металлов. Терминология. В стандарте приводятся термины, определение терминов, их синонимы на английском, французском и немецком языках, алфавитный указатель терминов.
2	**11969—66**. Сварка металлов. Обозначения основных положений сварки плавлением. Стандарт распространяется на сварные швы и соединения всех видов и типов, выполняемые сваркой плавлением в один или несколько слоев, и устанавливает обозначения основных положений сварки плавлением, относящихся ко всему шву или к каждому слою в отдельности. Стандарт содержит определения и обозначения основных положений сварки.
3	**5264—58**. Швы сварных соединений. Ручная электродуговая сварка. Основные типы и конструктивные элементы. Стандарт распространяется на сварные швы, выполняемые ручной дуговой электросваркой металлическими электродами на конструкциях из углеродистых и низколегированных сталей при толщине свариваемого металла до 60 *мм*. Стандарт не распространяется на сварные соединения, выполненные специальными методами сварки. В стандарте указываются принятые определения, типы швов по виду соединения, по форме подготовленных кромок и характеру выполненных швов, изображения поперечного сечения кромок свариваемых деталей и сварных швов для разных толщин, условные знаки швов в графическом и буквенно-цифровом обозначении. Приведены размеры конструктивных швов с допускаемыми отклонениями от них.
4	**11534—65**. Швы сварных соединений. Ручная электродуговая сварка. Основные типы и конструктивные элементы (под острым и тупым углами). Стандарт распространяется на швы сварных соединений конструкций из углеродистых и низколегированных сталей, свариваемые ручной электродуговой сваркой металлическим электродом при толщине свариваемого металла до 60 *мм* включительно, с расположением свариваемых деталей под углами, большими или меньшими чем 90°, и применяемые на предприятиях судостроительной и судоремонтной промышленности. Приводятся общие положения, основные типы швов сварных соединений с изображением поперечного сечения, графического и буквенно-цифрового обозначения швов угловых и тавровых соединений.
5	**8713—58***. Швы сварных соединений. Автоматическая и полуавтоматическая сварка под флюсом. Основные типы и конструктивные элементы. Стандарт распространяется на сварные швы, выполняемые автоматической и полуавтоматической сваркой под слоем флюса на конструкциях из углеродистых и низколегированных сталей. Стандартом устанавливаются условные обозначения способов сварки, основные типы швов в стыковых, тавровых, угловых соединениях и в соединениях внахлестку в зависимости от формы подготовки кромок и характера выполнения шва. Указывается вид в поперечном сечении подготовленных кромок и выполненных швов в зависимости от толщины свариваемого металла, графическое и буквенно-цифровое обозначение типов швов. Приведены размеры конструктивных элементов швов с допускаемыми отклонениями от них и обозначения швов на чертежах.
6	**11533—65**. Швы сварных соединений. Автоматическая и полуавтоматическая сварка под флюсом. Основные типы и конструктивные элементы (под острым и тупым углами). Стандарт распространяется на элементы швов сварных соединений из углеродистых и низколегированных сталей, свариваемых автоматической и полуавтоматической сваркой под флюсом при толщине свариваемого металла до 40 *мм* включительно, с расположением свариваемых деталей под углами, большими или меньшими 90° и применяемые на судостроительных, судоремонтных предприятиях. Приводятся общие положения, основные типы швов сварных соединений с указанием индексов способов сварки, видов в поперечном сечении, графического и буквенно-цифрового обозначения швов.
7	**5263—58**. Чертежи в машиностроении. Условные обозначения швов сварных соединений. Стандарт содержит общие указания, знаки в условном обозначении швов, последовательность простановки знаков в основных условных обозначениях швов сварных соединений.
8	**7624—55**. Обозначения условные графические электрического оборудования и проводок на планах. Стандартом устанавливаются условные графические обозначения, наносимые на планах внутренних и внешних электрических сетей. Приведены конструктивные элементы для планов проводок, условные сокращения и надписи и размеры графических обозначений.

Продолжение табл. 2

№ по предметному списку	Номер стандартов, наименование и аннотация
9	**13819—68.** Коррозия металлов. Десятибалльная шкала коррозионной стойкости. Стандарт распространяется на конструкционные материалы из черных и цветных металлов и сплавов и не распространяется на металлические покрытия всех видов. Устанавливаются десятибалльная шкала и оценка коррозионной стойкости, расчет проникновения коррозии и правила пользования шкалой.
10	**5272—68.** Коррозия металлов. Термины. В стандарте, наряду с основными терминами, приводится краткая форма терминов, указываются недопустимые термины, дан алфавитный указатель терминов.
11	**9867—61.** Международная система единиц. Стандарт устанавливает применение Международной системы единиц СИ с основными единицами: метр, килограмм, секунда, ампер, градус Кельвина и свеча. Устанавливаются определения основных единиц и других величин системы СИ и их сокращенные обозначения. Приводятся определения дополнительных единиц.
12	**13377—67.** Надежность в технике. Термины. Стандартом устанавливаются термины в области надежности сооружений, машин, аппаратов, приборов и их частей (агрегатов, узлов, деталей) общие для разных отраслей промышленности. Приводятся алфавитный указатель терминов и уравнения для определения численных значений показателей надежности.
	Основной металл
13	**5200—50.** Металлы и сплавы. Классификация по химическому составу. Терминология. В стандарте содержится классификация, терминология, алфавитный указатель терминов. Предназначена для применения в технических документах, учебниках, справочниках и т. д.
14	**380—60*.** Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки и общие технические требования. Стандарт распространяется на углеродистую горячекатаную сталь обыкновенного качества: сортовую, фасонную, листовую и широкополосную (универсальную). В отношении химического состава стандарт распространяется на многие виды металлургической продукции, подразделяя сталь по степени раскисления на кипящую, полуспокойную и спокойную сталь, а по назначению и гарантируемым характеристикам — на группы А, Б и В. Приводятся условные обозначения, технические требования, согласно которым для сталей группы А указываются механические свойства, для сталей группы Б — химический состав, а для сталей группы В — механические свойства и верхние пределы по содержанию углерода, серы, фосфора, кремния, хрома, никеля и меди. Указываются методы испытаний, правила маркировки и упаковки.
15	**1050—60*.** Сталь углеродистая качественная конструкционная. Марки и общие технические требования. Стандарт распространяется на углеродистую качественную конструкционную горячекатаную и кованую сортовую сталь диаметром или толщиной до 250 *мм*. В отношении химического состава стандарт распространяется на многие виды металлургической продукции, подразделяя сталь (спокойную, кипящую, полуспокойную) на две группы: I — с нормальным и II — с повышенным содержанием марганца. Устанавливаются марки стали, условные обозначения, технические требования с указанием химического состава и механических свойств стали, методы испытаний, правила маркировки и упаковки.
16	**6713—53.** Сталь углеродистая горячекатаная для мостостроения. Технические условия. Стандарт содержит технические условия, отбор проб и методы испытаний, правила приемки, маркировки и документации.
17	**5520—62.** Сталь листовая углеродистая и низколегированная для котлостроения и сосудов, работающих под давлением. Стандарт содержит технические требования с указанием марок стали, химического состава и механических свойств, методы испытаний, правила маркировки, упаковки и документации.
18	**5521—67.** Сталь свариваемая корпусная для судостроения. Технические требования. Стандарт содержит технические требования на углеродистую и низколегированную толсто-листовую, тонколистовую и фасонную прокатную сталь (марки, химический состав, механические свойства). Методы испытаний, правила упаковки и маркировки.
19	**5058—65.** Сталь низколегированная конструкционная. Марки и общие технические требования. Стандарт содержит марки, химический состав, технические требования (по форме, размерам, допускаемым отклонениям, состоянию поверхности, свариваемости и механическим свойствам), методы испытаний, правила маркировки и упаковки.

Продолжение табл. 2

№ по предметному списку	Номер стандартов, наименование и аннотация
20	**4543—61***. Сталь легированная конструкционная. Марки и технические требования. Стандарт распространяется на горячекатаные и кованые прутки (штанги) из легированной конструкционной стали диаметром или толщиной до 250 *мм* в термически обработанном состоянии. В отношении химического состава стандарт распространяется на многие виды металлургической продукции, подразделяя сталь в зависимости от основных примесей на 14 групп. Указываются наименования групп, марки стали, химический состав, технические требования, особые условия поставки, режимы термообработки, механические свойства, методы испытаний, правила маркировки и упаковки.
21	**5632—61***. Стали и сплавы высоколегированные коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные (деформируемые). Марки. В стандарте приводятся группы деформируемых сплавов на железоникелевой и никелевой основах. Регламентируется химический состав сталей мартенситного, мартенситно-ферритного, ферритного, аустенито-мартенситного, аустенито-ферритного и аустенитного класса, а также сплавов на железоникелевой и никелевой основах. Указывается примерное назначение по применению коррозионно-стойких, жаростойких и жаропрочных сталей и сплавов.
22	**8239—56***. Сталь прокатная. Балки двутавровые. Сортамент. Стандарт содержит номера и площади профилей, размеры балок, веса, справочные величины, длины, допустимые отклонения от размеров.
23	**8240—56***. Сталь прокатная. Швеллеры. Сортамент. Стандарт содержит номера и площади профилей, размеры, веса, справочные величины, длины, допустимые отклонения от размеров.
24	**8509—57**. Сталь прокатная, угловая равнобокая. Сортамент. Стандарт содержит номера и площади профилей, размеры, веса, длины, справочные величины и допустимые отклонения от размеров.
25	**8510—57**. Сталь прокатная угловая неравнобокая. Сортамент. Стандарт содержит номера и площади профилей, размеры, веса, справочные величины, длины, допустимые отклонения от размеров.
26	**2590—57***. Сталь горячекатаная круглая. Сортамент. В стандарте указываются диаметры стали и допускаемые отклонения по ним.
27	**5781—61**. Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Стандарт содержит сортамент, технические требования, методы испытаний, правила маркировки и упаковки.
28	**12492—67**. Сталь специальных профилей для сельскохозяйственных машин. Сортамент. Стандарт, распространяется на сталь специальных профилей (в частности, таврового) для сельскохозяйственных машин. Регламентируются основные размеры, площадь сечения, теоретический вес, справочные величины, марки стали.
29	**5157—53***. Сталь прокатная. Профили разных назначений. Сортамент. Стандарт содержит размеры профилей, допускаемые отклонения и справочные величины.
30	**7511—58**. Сталь для оконных и фонарных переплетов промышленных зданий. Стандарт содержит сортамент (тавры и т. д.), технические требования, методы испытаний, правила маркировки и упаковки.
31	**5681—57***. Сталь прокатная толстолистовая. Сортамент. Стандарт устанавливает размеры листов горячекатаной толстолистовой стали толщиной от 4 до 160 *мм* по толщине, ширине и длине. Указываются наибольшие размеры, допускаемые отклонения по размерам и геометрической форме листов.
32	**3680—57***. Сталь прокатная тонколистовая. Сортамент. Стандарт распространяется на горячекатаную и холоднокатаную тонколистовую сталь толщиной до 3,9 *мм* включительно. Устанавливаются допускаемые отклонения по толщине, ширине и длине листов.
33	**7350—66**. Сталь толстолистовая, высоколегированная, нержавеющая, кислотостойкая и окалиностойкая. Стандарт содержит размеры и марки (листы должны быть размером 1600×6000 *мм* и толщиной от 4 до 25 *мм*), технические условия, методы испытаний, правила приемки, маркировки, упаковки и документации.
34	**5582—61***. Сталь тонколистовая коррозионно-стойкая и жаростойкая. Технические требования. Стандарт содержит марки стали, сортамент с указанием толщины листов от 0,8 до 4 *мм*, технические требования с рекомендуемыми режимами термической обработки, методы испытаний, правила маркировки, упаковки и документации.

Продолжение табл. 2

№ по предметному списку	Номер стандартов, наименование и аннотация
35	**14350—69.** Сталь холодногнутая. Сортамент. Терминология. Стандарт устанавливает единую терминологию, относящуюся к сортаменту гнутых профилей и содержит 44 основных термина с аналогами на немецком, английском и французском языках.
36	**11474—65.** Сталь холодногнутая. Технические требования. Стандарт распространяется на холодногнутые профили различной формы, размеров и назначений, изготовляемые на профилегибочных станах и содержит марки применяемых сталей, технические требования, правила маркировки и упаковки.
37	**8276—63.** Сталь холодногнутая угловая равнобокая и неравнобокая. Сортамент. Стандарт распространяется на холодногнутую угловую сталь и содержит размеры, площадь сечения, справочные величины, веса, длину, допускаемые отклонения от размеров.
38	**8278—63.** Сталь холодногнутая. Швеллеры. Сортамент. Стандарт распространяется на холодногнутую швеллерную сталь и содержит размеры, площадь сечения, справочные величины, веса, длину, допускаемые отклонения от размеров.
39	**8281—69.** Сталь холодногнутая. Швеллеры неравнополочные. Сортамент. Стандарт устанавливает размеры профилей (поперечного сечения и длин), допустимые отклонения, размеры кривизны, справочные величины и условные обозначения профилей.
40	**14635—69.** Сталь холодногнутая. Профили специальные, для вагоностроения. Сортамент. Стандарт устанавливает 12 специальных холодногнутых профилей, допуски на размеры, кривизну, волнистость кромок и скручивание профилей.
41	**4784—65*.** Сплавы алюминиевые деформируемые. Марки. Стандарт содержит марки, химический состав и предельное допустимое содержание примесей.
42	**859—66.** Медь. Марки. В стандарте приводится химический состав разных марок меди с указанием предельного содержания примесей.
43	**495—50.** Листы медные. Сортамент и технические условия. Стандарт содержит сортамент, технические условия, правила приемки и методы испытаний, правила упаковки и маркировки.
44	**1019—47*.** Сплавы медно-цинковые (латуни). Классификация. В стандарте указывается наименование марки, химический состав, предельное содержание примесей и примерное назначение.
45	**931—52*.** Листы и полосы латунные. Стандарт включает сортамент, технические условия, правила приемки и методы испытаний, правила упаковки и маркировки, транспортирования и хранения.
46	**14085—68.** Проволока круглая горячекатаная из углеродистой стали обыкновенного качества. Технические требования. Стандарт распространяется на горячекатаную круглую катанку из углеродистой мартеновской, кислородно-конверторной и бессемеровской стали, поставляемую в мотках и предназначенную для перетяжки на проволоку, а также применяемую для строительной арматуры, упаковки и других целей. Стандарт содержит марки, технические требования, методы испытаний, правила упаковки, маркировки и транспортирования.
	Присадочные материалы (проволока, прутки, электроды, флюсы, составляющие электродных покрытий и флюсов для разных видов сварки, резки и пайки, защитные газы, применяемые при сварке и резке металлов).
47	**2246—60*.** Проволока стальная сварочная. Стандарт распространяется на холоднотянутую стальную проволоку для сварки и наплавки и содержит номинальные диаметры проволоки, допускаемые отклонения от них, 56 марок стали, химический состав, различные другие технические требования, методы испытаний, правила упаковки, маркировки, хранения и транспортирования.
48	**10543—63.** Проволока стальная наплавочная. Стандарт распространяется на стальную проволоку для механизированной электродуговой наплавки и не распространяется на стальную проволоку, предназначенную для производства металлических электродов. Стандарт содержит размеры и технические требования (диаметры проволоки и допускаемые отклонения от них, марки стали, химический состав), методы испытаний, правила упаковки, маркировки, хранения и транспортирования.
49	**13843—68.** Катанка алюминиевая. Стандарт распространяется на алюминиевую катанку для изготовления проволоки. Приводятся марки и размеры, технические требования, методы испытаний, правила упаковки, маркировки, транспортирования и хранения.

Продолжение табл. 2

№ по предметному списку	Номер стандартов, наименование и аннотация
50	**7871—63.** Проволока сварочная из алюминия и алюминиевых сплавов. Стандарт содержит сортамент (размеры проволоки по диаметру с допускаемыми по ним отклонениями), технические требования, методы испытаний, правила упаковки, маркировки, транспортирования и хранения.
51	**6132—63.** Проволока алюминиевая круглая электротехническая. В стандарте приводятся марки и размеры, технические требования, методы испытаний, правила упаковки, маркировки и транспортирования.
52	**5307—50.** Проволока константановая. Сортамент и технические условия. Стандарт содержит технические условия, правила приемки, методы испытаний, правила упаковки и маркировки, таблицу омического сопротивления по номинальному диаметру константановой проволоки.
53	**2179—59.** Проволока никелевая и из кремнистого никеля. Приводятся размеры и технические требования, методы испытаний, правила упаковки и маркировки, хранения и транспортирования, а также справочные данные по теоретическому весу 1000 *пог. м* проволоки обоих сортов.
54	**13842—68.** Катанка медная. Стандарт распространяется на медную катанку для изготовления проволоки. Приводятся марки и размеры, технические требования, методы испытаний, правила упаковки, маркировки, транспортирования и хранения.
55	**1066—58.** Проволока из медно-цинковых сплавов. Стандарт распространяется на проволоку круглого сечения диаметром от 0,1 до 12 *мм*, квадратного и шестигранного сечений. ГОСТом предусматривается сортамент, технические требования методы испытаний, правила упаковки, маркировки, хранения и транспортирования. Приведены справочные данные по теоретическому весу 1000 *пог. м* проволоки.
56	**5222—50.** Проволока из кремнемарганцовой бронзы. Сортамент и технические условия. Стандарт содержит технические условия, методы испытаний, правила приемки, упаковки и маркировки.
57	**5221—50.** Проволока из оловянноцинковой бронзы для пружин. Сортамент и технические условия. Стандарт содержит технические условия, правила приемки, методы испытаний, правила упаковки и маркировки.
58	**493—54*.** Бронзы безоловянные. Марки. Стандарт содержит химический состав и виды изделий, допустимое содержание примесей.
59	**492—52*.** Сплавы никелевые и медно-никелевые. Марки. В стандарте приводятся наименования сплавов, химический состав, виды изделий и примерное назначение, допустимое содержание примесей.
60	**4515—48.** Сплав медь — фосфор. Классификация и технические условия. Стандарт содержит классификацию, правила приемки, упаковки, маркировки и паспортизации.
61	**11545—65.** Сормайт. Сплав наплавочный прутковый и порошкообразный. Стандарт распространяется на наплавочный литой сплав сормайт, изготовляемый в виде прутков или порошка, и устанавливает классификацию, технические требования, методы испытаний, правила упаковки и маркировки.
62	**2671—44.** Прутки чугунные сварочные. Стандарт распространяется на чугунные прутки для электродуговой и газовой сварки серого чугуна. Приводятся технические условия с подразделением прутков на марки А и Б, химический состав, размеры с допускаемыми отклонениями от них, примерное назначение и условные обозначения прутков. Указываются правила приемки, окраски, упаковки и маркировки.
63	**9466—60.** Электроды металлические для дуговой сварки сталей и наплавки. Размеры и общие технические требования. Стандарт распространяется на электроды для сварки углеродистых и легированных конструкционных сталей, легированных теплоустойчивых сталей, высоколегированных сталей с особыми свойствами и для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами (кроме электродов для наплавки цветных сплавов). Стандарт содержит размеры, технические требования, методы испытаний, правила маркировки, упаковки, транспортирования и хранения.
64	**9467—60.** Электроды металлические для дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей. Типы. Стандарт распространяется на электроды для сварки углеродистых и легированных конструкционных сталей и электроды для сварки легированных теплоустойчивых сталей. Для электродов для сварки конструкционных сталей указываются типы, механические свойства металла шва, наплавленного металла и сварного соединения, а также содержание серы и фосфора в металле шва и наплавленном металле. Для электродов

Продолжение табл. 2

№ по предметному списку	Номер стандартов, наименование и аннотация
	для сварки теплоустойчивых сталей указываются типы, механические свойства металла шва или наплавленного металла и химический состав наплавленного металла. Приводится основное назначение электродов для сварки конструкционных сталей. Устанавливаются четыре вида составов покрытий электродов для сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей.
65	**10051—62.** Электроды металлические для дуговой наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами. Типы. Стандарт распространяется на электроды для дуговой наплавки поверхностных слоев (черных металлов) с особыми свойствами. Стандарт устанавливает типы электродов, химический состав наплавленного металла, твердость по Роквеллу (шкала С) в рабочем состоянии, правила отбора проб и замеров твердости на образцах, условное обозначение электродов, примерное (рекомендуемое) назначение электродов.
66	**10052—62*.** Электроды металлические для дуговой сварки высоколегированных сталей и с особыми свойствами. Типы. Стандарт распространяется на электроды для дуговой сварки высоколегированных сталей аустенитного, аустенито-ферритного, ферритного, мартенсито-ферритного, мартенситного классов и специальных конструкционных сталей. Стандарт устанавливает типы электродов, химический состав наплавленного металла, содержание ферритной фазы в процентах, стойкость против межкристаллитной коррозии, механические свойства при температуре 20° С, отбор проб для химического, спектрального анализов и испытаний на межкристаллитную коррозию. Указываются свойства электродов и их примерное (рекомендуемое) назначение.
67	**9087—59.** Флюс сварочный плавленый. Стандарт распространяется на плавленые флюсы общего назначения, применяемые для автоматической и полуавтоматической сварки стали. Приводятся технические требования с указанием марок флюсов, марки стали, для которых предназначены флюсы, марки применяемой электродной проволоки, гранулометрический и химический составы флюсов, методы испытаний, правила упаковки, маркировки, документации, транспортирования, хранения.
68	**1534—42.** Припои медно-цинковые. Классификация и технические условия. Стандарт содержит классификацию, технические условия, правила приемки, упаковки и маркировки.
69	**1499—54.** Припои оловянно-свинцовые. Стандарт содержит марки и сортамент, технические условия, правила приемки, маркировки, упаковки и хранения.
70	**8190—56*.** Припои серебряные. Стандарт содержит марки, химический состав, сортамент (в зависимости от назначения припой выпускается в виде полос и проволоки), технические условия, правила приемки, маркировки, упаковки, хранения.
71	**4423—48.** Материалы покрытий электродов для дуговой сварки. Методы отбора проб. Стандарт распространяется на методы отбора проб у компонентов электродных покрытий электродов для дуговой электросварки, если стандартом на данный материал не предусмотрен метод отбора проб. Указываются методы отбора первичной средней пробы и правила ее обработки. Приведены номера стандартов на ряд материалов для покрытий электродов для дуговой сварки.
72	**4415—48*.** Мел электродный. Технические условия. Стандарт содержит технические условия, методы испытаний, правила транспортирования, паспортизации и хранения.
73	**4417—48*.** Песок кварцевый электродный. Технические условия. Стандарт содержит технические условия, методы испытаний, правила транспортирования, паспортизации и хранения.
74	**9077—59.** Кварц молотый пылевидный. Приводятся марки и технические требования, отбор проб и методы испытаний, правила упаковки, маркировки, транспортирования и хранения.
75	**6138—61**.** Каолин обогащенный Просяновского и Глуховецкого месторождений. Технические требования. Стандарт содержит технические требования, методы испытаний, правила упаковки, маркировки, хранения и транспортирования.
76	**4414—48.** Концентрат ильменитовый (титановый) электродный. Технические условия. Стандарт содержит технические условия, методы испытания, правила транспортирования, паспортизации и хранения.
77	**4418—48.** Руда марганцевая электродная. Технические условия. Стандарт содержит технические условия, методы испытаний, правила транспортирования, паспортизации и хранения.

Продолжение табл. 2

№ по предметному списку	Номер стандартов, наименование и аннотация
78	**6912—64.** Глинозем. Технические требования. Стандарт содержит марки и технические требования, методы испытаний, правила приемки, упаковки, маркировки, транспортирования и хранения.
79	**4421—48*.** Шпат плавиковый электродный. Технические условия. Стандарт содержит технические условия, методы испытаний, правила транспортирования, паспортизации и хранения.
80	**5279—61.** Графит кристаллический (серебристый) литейный. Стандарт содержит технические требования, методы испытаний, правила упаковки, маркировки, хранения и транспортирования.
81	**879—52*.** Тальк молотый. Приближенный химический состав: $4SiO_2 \cdot 3MgO \times \times H_2O \cdot SiO_2$ — 63,5%; MgO — 31,7%; H_2O — 4,8%. Указываются виды талька и назначение, технические требования, правила приемки и методы испытаний, правила упаковки, маркировки, транспортирования и хранения.
82	**972—50.** Боксит. Классификация и технические условия. Стандарт содержит технические условия, правила приемки, правила отбора и приготовления средней пробы, правила транспортирования.
83	**4221—65.** Реактивы. Калий углекислый (поташ). Формула: K_2CO_3. Стандарт содержит технические требования, методы испытаний, правила упаковки и маркировки.
84	**5100—64*.** Сода кальцинированная (синтетическая). Формула: Na_2CO_3. Стандарт содержит технические требования, методы испытаний, правила упаковки, маркировки, транспортирования.
85	**4422—48.** Шпат полевой электродный. Технические условия. Стандарт содержит технические условия, методы испытаний, правила транспортирования, паспортизации и хранения.
86	**4416—48*.** Мрамор электродный. Технические условия. Стандарт содержит технические условия, методы испытания, правила транспортирования, паспортизации и хранения.
87	**7699—68.** Крахмал картофельный. Стандарт содержит технические требования, методы испытаний, правила упаковки, маркировки, транспортирования и хранения.
88	**6034—51.** Декстрины кислотные. Стандарт содержит технические условия, правила приемки и методы испытаний, правила упаковки, маркировки и хранения.
89	**911—62.** Мука древесная. Приводятся технические требования, методы испытаний, правила упаковки, хранения, маркировки и транспортирования.
90	**1949—65.** Селитра калиевая техническая. Стандартом предусматриваются технические требования, методы испытаний, правила упаковки, маркировки, транспортирования и хранения.
91	**4755—49*.** Ферросплавы. Ферромарганец. Стандарт содержит технические условия, правила приемки, упаковки, маркировки и транспортирования.
92	**5165—49*.** Ферросплавы. Ферромарганец доменный. Стандарт содержит технические условия, правила отбора проб для химического анализа, поставки и маркировки.
93	**1415—61.** Ферросплавы. Ферросилиций. Стандарт устанавливает технические требования, отбор проб и методы испытаний, правила маркировки, упаковки и транспортирования.
94	**4761—67.** Ферротитан. Марки и технические условия. Стандарт содержит классификацию, технические условия, методы испытаний, правила приемки, упаковки и маркировки.
95	**4759—49*.** Ферросплавы. Ферромолибден. Стандарт содержит технические условия, правила приемки, упаковки, маркировки и транспортирования.
96	**4757—67.** Феррохром. Марки и технические требования. Стандарт содержит марки и технические требования, методы испытаний, правила упаковки, маркировки и транспортирования.
97	**4758—55.** Ферросплавы. Ферровольфрам. Стандарт содержит технические условия, методы испытаний, правила приемки, упаковки и маркировки.
98	**4760—49*.** Ферросплавы. Феррованадий. Стандарт содержит технические условия, правила приемки, упаковки, маркировки и транспортирования.
99	**4762—49.** Ферросплавы. Силикокальций. Стандарт содержит технические условия, правила приемки, упаковки, маркировки и транспортирования.
100	**4756—49*.** Ферросплавы. Силикомарганец. Стандарт содержит технические условия, правила приемки, упаковки, маркировки и транспортирования.

Продолжение табл. 2

№ по предметному списку	Номер стандартов, наименование и аннотация
101	**6008—51.** Марганец металлический. Марки и технические условия. Стандарт содержит марки, правила приемки, упаковки, маркировки и транспортирования.
102	**5905—67.** Хром металлический. Марки и технические требования. Стандарт содержит марки и технические требования, методы испытаний, правила упаковки, маркировки и транспортирования.
103	**9849—61*.** Порошок железный. Стандарт устанавливает марки, технические требования, методы испытаний, правила маркировки, упаковки, транспортирования и хранения.
104	**9721—61.** Порошок кобальтовый. Стандарт содержит технические требования, методы испытаний, правила упаковки, маркировки, транспортирования, хранения.
105	**4960—68.** Порошок медный. Стандарт содержит технические условия, методы испытаний, правила приемки, упаковки, маркировки, хранения, транспортирования и гарантийные сроки сохранения химического состава порошка.
106	**9722—61*.** Порошок никелевый. Стандарт содержит технические требования, методы испытаний, правила маркировки, упаковки, транспортирования и хранения.
107	**14086—68.** Порошки распыленные из нержавеющих хромоникелевых сталей и никеля. Стандарт распространяется на порошки из сталей ОХ18Н10, Х18Н9 и никеля марок Н1, Н2 и Н3, содержит марки и технические требования, методы испытаний, правила упаковки, маркировки, транспортирования и хранения.
108	**11546—65.** Сталинит М порошкообразный. Технические требования. Стандарт распространяется на наплавочную смесь сталинит М, применяющуюся для наплавки электродуговым способом быстроизнашивающихся стальных и чугунных деталей. Предусматриваются технические требования, методы испытаний, правила маркировки и упаковки.
109	**3882—67.** Сплавы твердые металлокерамические. Марки. Стандартом предусматриваются три группы: вольфрамовые, титановольфрамовые и титанотанталовольфрамовые твердые сплавы. Приводятся ориентировочный состав смеси, физико-механические свойства и примерное назначение твердых сплавов разных марок.
110	**14327—69.** Слюда мусковит молотая электродная. Технические требования. Стандарт предусматривает нормирование химического состава и методы проверки качества молотой слюды.
111	**855—63.** Слюда молотая для резиновой промышленности. Стандарт содержит марки и технические требования, методы испытания, правила упаковки, маркировки, транспортирования и хранения.
112	**3340—60.** Кокс литейный каменноугольный. Технические требования. В стандарте приводятся марки и устанавливаются классы кокса.
113	**5744—62.** Карбид бора. Технические требования. Стандарт содержит технические требования, методы испытаний, правила маркировки, упаковки, транспортирования и хранения.
114	**3226—65.** Глины формовочные. Классификация. Технические требования. Стандарт содержит классификацию, технические требования, методы испытаний, правила маркировки, упаковки и транспортирования.
115	**13078—67.** Стекло натриевое жидкое. Стандарт распространяется на содовое и содово-сульфатное жидкое стекло, применяемое для изготовления электродов и других целей. Стандартом предусматриваются способ изготовления, технические требования, химический состав, модуль и удельный вес, отбор проб, методы испытаний, упаковки, маркировки, паспортизации и хранения.
116	**13079—67.** Силикат натрия растворимый. Стандарт распространяется на содовую и содово-сульфатную — глыбу и гранулят, предназначенные для изготовления растворимого стекла, применяемого для электродных покрытий и других целей. Предусматриваются химический состав, модуль силиката натрия, отбор проб, правила испытаний, упаковки, маркировки, хранения и транспортирования.
117	**8135—62.** Сурик железный сухой для лакокрасочной промышленности. Стандарт содержит технические требования, методы испытаний, правила упаковки, маркировки, транспортирования и хранения.
118	**8429—57*.** Бура. Формула $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$. Стандарт содержит технические требования, методы испытаний, правила упаковки, маркировки, транспортирования, хранения.

Продолжение табл. 2

№ по предметному списку	Номер стандартов, наименование и аннотация
119	**4173—66.** Реактивы. Железа окись. Формула Fe_2O_3. Стандарт содержит технические требования, методы испытаний, правила упаковки и маркировки.
120	**10262—62.** Реактивы. Цинка окись. Формула: ZnO. Стандарт предусматривает технические требования, методы испытаний, правила упаковки и маркировки.
121	**2912—66.** Окись хрома техническая. Стандарт содержит марки и технические требования, методы испытаний, правила упаковки, транспортирования и хранения.
122	**4568—65.** Калий хлористый технический. Стандарт содержит технические требования, методы испытаний, правила упаковки, маркировки, транспортирования и хранения.
123	**4522—65.** Реактивы. Калий фтористый. Формула: $KF \cdot 2H_2O$. Стандарт содержит технические требования, методы испытаний, правила упаковки и маркировки.
124	**5777—51.** Калий марганцовокислый технический. Формула: $KMnO_4$. Стандарт содержит технические условия, правила приемки, методы определений, правила упаковки и маркировки.
125	**4203—65.** Реактивы. Калия гидрат окиси (кали едкое). Формула: KOH. Стандарт содержит технические требования, методы испытаний, правила упаковки и маркировки.
126	**2652—67.** Бихромат калия технический. Формула: $K_2Cr_2O_7$ (он же хромпик калиевый). Стандарт содержит технические требования, методы испытаний, правила маркировки, транспортирования и хранения.
127	**9532—60.** Реактивы. Калий борфтористоводородный. Формула: KBF_4. Стандарт содержит технические требования, методы испытаний, правила упаковки и маркировки.
128	**4233—66.** Реактивы. Натрий хлористый. Формула: NaCl. Стандарт содержит технические требования, методы испытаний, правила упаковки и маркировки.
129	**2871—67.** Натрий фтористый технический. Стандарт содержит технические требования, методы испытаний, правила упаковки, маркировки, транспортирования и хранения.
130	**83—63.** Реактивы. Натрий углекислый безводный. Формула: Na_2CO_3. В стандарте приводятся технические требования, методы испытаний, правила упаковки и маркировки.
131	**2156—68.** Натрий двууглекислый (бикарбонат). Формула: $NaHCO_3$. Стандарт устанавливает технические условия, правила приемки и отбора проб, методы испытаний, правила упаковки и маркировки.
132	**6053—66.** Реактивы. Натрий кислый сернокислый. Формула: $NaHSO_4 \cdot H_2O$. Стандарт содержит технические требования, методы испытаний, правила упаковки и маркировки.
133	**6194—52*.** Натрий азотнокислый (нитрит натрия) технический. Стандарт содержит технические условия, правила приемки и отбора проб, методы определений, правила упаковки и маркировки.
134	**4168—66.** Реактивы. Натрий азотнокислый. Формула: $NaNO_3$. Стандарт содержит технические требования, правила приемки и методы испытаний. правила упаковки и маркировки.
135	**5644—66.** Сульфит натрия, безводный. Формула: Na_2SO_3. Стандарт содержит технические требования, методы испытаний, правила упаковки, маркировки, хранения и транспортирования.
136	**4328—66.** Реактивы. Натр едкий. Формула: NaOH. Стандарт содержит технические условия, отбор проб, методы определений, правила упаковки и маркировки.
137	**10561—63.** Криолит искусственный технический. Стандарт содержит технические требования, методы испытаний, правила упаковки, маркировки, транспортирования, хранения.
138	**7759—55.** Магний хлористый технический. Формула: $MgCl_2 \cdot 6H_2O$. Стандарт содержит технические требования, методы испытаний, правила приемки, упаковки и маркировки.
139	**4526—67.** Реактивы. Магния окись. Формула: MgO. Стандарт содержит технические требования, методы испытаний, правила упаковки и маркировки.
140	**742—67.** Барий хлористый технический. Формула $BaCl_2 \cdot 2H_2O$. Стандарт содержит технические требования, методы испытаний, правила упаковки, маркировки, хранения и транспортирования.

Продолжение табл. 2

№ по предметному списку	Номер стандартов, наименование и аннотация
141	**7168—65.** Реактивы. Барий фтористый. Формула BaF_2. Стандарт содержит технические требования, методы испытаний, правила упаковки и маркировки.
142	**2149—65.** Барий углекислый технический. Стандарт регламентирует технические требования, методы испытаний, правила упаковки, маркировки и транспортирования.
143	**450—58.** Кальций хлористый технический. Формула $CaCl_2$. Стандарт содержит технические требования, методы испытаний, правила упаковки и маркировки.
144	**7167—54.** Реактивы. Кальций фтористый. Формула: CaF_2. Стандарт содержит технические условия, правила приемки и отбора проб, методы определений, правила упаковки и маркировки.
145	**7205—67.** Реактивы. Марганец углекислый основной. Формула: $MnCO_3 \cdot m Mn(OH) \cdot n H_2O$. Стандарт содержит технические требования, методы испытаний, правила упаковки и маркировки.
146	**4452—66.** Алюминий хлористый безводный технический. Формула: $AlCl_3$. Стандарт содержит технические требования, методы испытаний, правила упаковки, маркировки, транспортирования и хранения.
147	**7345—68.** Цинк хлористый технический. Стандарт содержит технические условия, методы испытаний, правила приемки, упаковки и маркировки.
148	**4330—66.** Реактивы. Кадмий хлористый. Формула: $CdCl_2 \cdot 2{,}5H_2O$. Стандарт содержит технические требования, методы испытаний, правила упаковки и маркировки.
149	**4780—49.** Олово двухлористое очищенное. Формула: $SnCl_2 \cdot 2H_2O$. Стандарт содержит технические условия, правила приемки и отбора проб, методы определений, правила упаковки и маркировки.
150	**3773—60*.** Реактивы. Аммоний хлористый. Формула: NH_4Cl. Стандарт содержит технические требования, методы испытаний, правила упаковки и маркировки.
151	**4214—48.** Реактивы. Кислота кремневая водная. Формула: $SiO_2 \cdot nH_2O$. Стандарт содержит технические условия, отбор проб, методы определения, правила упаковки и маркировки.
152	**10068—62.** Реактивы. Борный ангидрит. Формула: B_2O_3. Стандарт устанавливает технические требования, методы испытаний, правила упаковки и маркировки.
153	**2629—44.** Кислота борная. Формула: H_3BO_3. В стандарте указываются технические условия, правила приемки, методы испытаний, правила упаковки и маркировки.
154	**9875—61*.** Диэтиламин технический. Стандарт устанавливает технические требования, методы испытаний, правила упаковки, маркировки, транспортирования и хранения.
155	**9966—62*.** Триэтиламин технический. Стандарт устанавливает технические требования, методы испытаний, правила упаковки, маркировки, транспортирования, хранения.
156	**2222—65*.** Метанол – яд. Стандарт устанавливает технические требования, методы испытаний, правила упаковки и маркировки.
157	**797—64.** Канифоль сосновая. Стандарт содержит виды, марки и технические требования, методы испытаний, правила упаковки, маркировки и транспортирования.
158	**5774—51*.** Вазелин конденсаторный. Технические условия. Стандартом предусматриваются кондиции по ряду показателей, правила упаковки, маркировки, хранения и транспортирования.
159	**6824—54*.** Глицерин дистиллированный. Стандарт содержит технические условия, методы испытаний, правила приемки, упаковки и маркировки.
160	**6484—64.** Кислота стеариновая техническая (стеарин). Стандарт содержит технические требования, методы испытаний, правила упаковки, маркировки, хранения и транспортирования.
161	**784—53*.** Парафины нефтяные. В стандарте приводятся парафины: технические высокоочищенные марок А и Б, медицинский, технические очищенные марок Г и Д, неочищенный (спичечный), методы испытаний и кондиции.
162	**5583—68*.** Кислород газообразный технический и медицинский. Стандарт содержит технические требования, методы испытаний, правила упаковки и маркировки, определение количества кислорода в баллоне.
163	**6331—68.** Кислород жидкий технический и медицинский. Стандарт содержит технические условия, методы испытаний, правила приемки и отбора проб, упаковки и маркировки.

Продолжение табл. 2

№ по предметному списку	Номер стандартов, наименование и аннотация
164	**3022—61.** Водород технический. Стандарт распространяется на несжатый и сжатый (компримированный) технический водород трех марок А, Б и В. Приводятся марки, технические требования, методы испытаний, правила упаковки и маркировки.
165	**9293—59*.** Азот газообразный и жидкий технический. Стандарт содержит технические требования, методы испытаний, правила упаковки и маркировки.
166	**10157—62.** Аргон газообразный чистый. Стандарт предусматривает технические требования, методы испытаний, правила упаковки и маркировки.
167	**12162—66.** Двуокись углерода твердая (сухой лёд). Стандартом предусматривается твердая двуокись углерода пищевая и техническая. Приводятся марки и технические требования, методы испытаний, правила хранения и транспортирования.
168	**8050—64.** Углекислый газ сжиженный. Стандарт содержит технические требования, методы испытаний, правила обработки и заполнения баллонов, маркировки, хранения и транспортирования.
169	**10196—62.** Газы углеводородные сжиженные топливные. В стандарте приводятся марки сжиженных газов, технические требования, методы испытаний, правила упаковки и транспортирования.
170	**5457—60.** Ацетилен растворенный технический. Стандарт содержит определение и назначение, технические требования, методы испытаний, правила упаковки, маркировки, хранения и транспортирования.
171	**1460—56*.** Карбид кальция. Стандарт содержит технические требования, правила приемки и методы испытаний, правила упаковки, маркировки, хранения и транспортирования.
172	**3134—52*.** Бензин — растворитель для лакокрасочной промышленности (уайт-спирит). Технические условия. Стандартом предусматриваются технические требования, испытания на скорость улетучивания, правила отбора проб, упаковки, маркировки, хранения и транспортирования.
	Оборудование, инструменты и другие материалы для электродуговой, контактной сварки и газопламенных методов обработки металлов
173	**304—65.** Генераторы постоянного тока для дуговой электросварки. Основные параметры и технические требования. Стандарт распространяется на однопостовые сварочные генераторы постоянного тока с внешними крутопадающими характеристиками для питания одной сварочной дуги и многопостовые сварочные генераторы постоянного тока с жесткими внешними характеристиками для питания нескольких сварочных дуг через балластные реостаты. Стандарт рекомендуется также для специализированных сварочных генераторов, предназначенных для особых условий работы: подводной сварки, сварки сжатой дугой и др. Указываются технические требования, методы испытаний, правила маркировки, упаковки, транспортирования и хранения.
174	**2402—54.** Агрегаты для дуговой сварки постоянным током с двигателями внутреннего сгорания. Технические условия. Стандарт предусматривает технические условия на изготовление, эксплуатационные характеристики и транспортирование агрегатов для дуговой сварки, правила их приемки, методы испытаний, маркировку и упаковку.
175	**7237—54.** Преобразователи сварочные для электрической дуговой сварки постоянным током. Технические условия. Стандарт распространяется на преобразователи общего применения для дуговой сварки постоянным током, состоящие из сварочного генератора постоянного тока и трехфазного асинхронного электродвигателя. Указываются технические условия, методы испытаний, правила приемки, маркировки, упаковки.
176	**10594—63.** Генераторы постоянного тока и выпрямители сварочные для дуговой электросварки. Ряд номинальных токов. Стандарт распространяется на обычные и специализированного назначения сварочные генераторы постоянного тока и выпрямители для дуговой электрической сварки, регламентируются типы генераторов и выпрямителей согласно предусмотренным стандартом номинальным токам (в *а*).
177	**13821—68.** Выпрямители сварочные полупроводниковые с крутопадающими внешними характеристиками для дуговой сварки. Основные параметры и технические требования. Стандарт распространяется на вновь проектируемые.

Продолжение табл. 2

№ по предметному списку	Номер стандартов, наименование и аннотация
	подключаемые к трехфазной сети, однопостовые полупроводниковые сварочные выпрямители с крутопадающими внешними характеристиками для питания одной сварочной дуги при ручной и механизированной сварке. Стандарт не распространяется на специализированные сварочные выпрямители, предназначенные для особых условий работы: сварки сжатой дугой, сварки особо тонких материалов, с программным управлением и т. п. Приводятся основные параметры, технические требования, методы испытаний, правила упаковки, маркировки, транспортирования и хранения.
178	**11630—65.** Приборы полупроводниковые. Диоды и транзисторы для устройств широкого применения. Общие технические требования. Стандарт распространяется на приборы, предназначенные для работы в приемной, усилительной и другой аппаратуре и не распространяется на полупроводниковые диоды с рассеиваемой мощностью более 10 *вт*, селеновые и купроксные выпрямители. Стандарт содержит технические требования, методы испытаний, указания по эксплуатации полупроводниковых приборов, правила маркировки, упаковки, транспортирования и хранения.
179	**95—65.** Трансформаторы однофазные однопостовые для ручной дуговой сварки с обмотками из алюминиевых проводов. Трансформаторы предназначаются для питания электрической сварочной дуги переменным током частотой 50 *гц* при ручной дуговой сварке, резке и наплавке металлов. Стандарт содержит основные параметры, технические требования, методы испытания, правила маркировки и упаковки.
180	**7012—54*.** Трансформаторы однофазные сварочные для однодуговой автоматической сварки под слоем флюса. Стандарт распространяется на однофазные сварочные трансформаторы для однодуговой автоматической сварки под флюсом. Указываются типы трансформаторов: номинальный сварочный ток, ПВ, пределы регулирования сварочного тока, минимальное и максимальное вторичное напряжение холостого хода, вторичное напряжение на зажимах при номинальной нагрузке, к. п. д., cos φ на 1-й ступени вторичного напряжения, номинальное напряжение первичной обмотки трансформатора, вес. Приводятся технические условия на изготовление, методы испытаний, правила приемки, маркировки, упаковки.
181	**8213—56*.** Автоматы одноэлектродные тракторного типа для сварки под флюсом. Технические требования. В стандарте приводятся технические требования с указанием основных характеристик (диапазона сварочных токов, диаметров сварочной проволоки, скорости сварки и подачи электродной проволоки, рода сварочного тока), методы испытаний, правила маркировки и упаковки.
182	**14651—69.** Электрододержатели для ручной дуговой электросварки. Основные параметры и технические требования. Стандарт устанавливает повышенные технические требования к изготовлению электрододержателей, правила маркировки, упаковки, транспортирования и хранения.
183	**6731—68.** Провода для электрической дуговой сварки. Стандарт распространяется на провода с медными жилами, с резиновой изоляцией, в резиновой шланговой оболочке, применяемые для дуговой электросварки. Указываются марки и размеры, технические условия, методы испытаний, правила упаковки и маркировки.
184	**433—58.** Кабели силовые с резиновой изоляцией. Стандарт распространяется на силовые кабели с медными и алюминиевыми жилами, предназначенные для неподвижной прокладки при номинальном напряжении переменного тока до 6000 *в* включительно, для эксплуатации при температуре до −40° С, а в полихлорвиниловой оболочке до −50° С. Стандарт содержит марки и размеры, технические требования, методы испытаний, правила упаковки и маркировки.
185	**9497—60*.** Светофильтры стеклянные для защиты глаз от вредных излучений на производстве. Стандарт содержит основные параметры и размеры, технические требования, методы испытаний, правила маркировки, упаковки, транспортирования и хранения. Приведены рекомендации по выбору защитных светофильтров для различных работ.
186	**1361—54*.** Щитки и маски для защиты электросварщика. Технические условия. Указываются размеры, технические условия, правила приемки и методы испытаний, правила маркировки, упаковки и хранения.
187	**297—61*.** Машины электросварочные контактные. Технические требования. Стандарт распространяется на точечные, шовные (роликовые) и стыковые электросварочные машины, предназначенные для электрической контактной сварки металлов. Указываются технические требования, предъявляемые при

Продолжение табл. 2

№ по предметному списку	Номер стандартов, наименование и аннотация
	изготовлении машин, методы испытаний, правила маркировки, упаковки, транспортирования и хранения, пояснение терминов, встречающихся в тексте стандарта.
188	**14111—69.** Электроды прямые электросварочных контактных точечных машин. Стандарт распространяется на прямые и не распространяется на специальные электроды. Содержит типы, конструкции и размеры, технические требования, методы испытаний, правила маркировки, упаковки, транспортирования и хранения, указания о применяемости прямых электродов и конструкцию калибра-втулки для проверки посадочного конуса электродов.
189	**8711—60.** Амперметры и вольтметры. Технические требования. Стандарт распространяется на щитовые и переносные, показывающие и самопишущие приборы для сетей постоянного и переменного тока частоты от 10 *гц* до 30 *Мгц*, а также на отдельные вспомогательные части, предназначенные для применения с указанными приборами; на электроизмерительные приборы для измерения других электрических, магнитных и неэлектрических величин (в единицах тока и напряжения), а также на комбинированные приборы: ампервольтомметры и другие в части измерения тока и напряжения. Стандарт не распространяется на контактные, автоматические и телеизмерительные приборы и амперметры и вольтметры с цифровым отсечетом. Содержит технические требования, маркировку, методы испытаний, комплектность поставки, правила упаковки, транспортирования и хранения.
190	**8856—58.** Давление горючих газов в огневой аппаратуре для газопламенной обработки металлов. Стандарт устанавливает давление горючих газов, при которых должна эксплуатироваться и регулироваться аппаратура для газопламенной обработки металлов. Устанавливаются разряды и индексы давления, нижний и верхний пределы давления.
191	**13045—67.** Ротаметры общепромышленные. Стандарт распространяется на общепромышленные ротаметры для измерения объемного расхода плавномеющихся однородных потоковых частиц и слабозагрязненных жидкостей и газов с дисперсными включениями инородных частиц и содержит типы и основные параметры, технические требования, методы испытаний, правила маркировки, упаковки, транспортирования и хранения.
192	**5190—67.** Генераторы ацетиленовые низкого и среднего давления. Стандарт распространяется на генераторы давлением до 1,5 *кгс/см*^{2} для питания ацетиленом аппаратуры для газопламенной обработки металлов. В зависимости от давления ацетилена устанавливаются типы, а от взаимодействия карбида кальция с водой — системы ацетиленовых генераторов. Приводятся номинальная производительность генераторов разных типов и систем в *м*^{3}/*ч*, технические требования, правила маркировки.
193	**8766—58.** Затворы предохранительные для ацетилена. Стандарт распространяется на предохранительные водяные затворы для ацетилена, с пропускной способностью до 3,2 *м*^{3}/*ч*, используемые для всех газопламенных методов обработки металлов, устанавливаемые на ацетиленовых генераторах и трубопроводах. Указываются основные параметры по пропускной способности и по предельному давлению ацетилена, технические требования, маркировка.
194	**1077—58.** Горелки инжекторные одноламенные универсальные для ацетилено-кислородной сварки. Технические требования. Стандарт содержит технические требования, методы испытаний, правила маркировки и упаковки.
195	**5948—60.** Баллоны ацетиленовые с пористой массой и ацетоном. Технические требования. Стандарт содержит технические требования, методы испытаний, правила маркировки и упаковки.
196	**2768—67.** Ацетон технический. Формула: $CH_3—CO—CH_3$. В стандарте содержатся технические требования, методы испытаний, правила упаковки и маркировки.
197	**6217—52.** Уголь активный марки БАУ. Стандарт содержит технические условия, методы испытаний, правила приемки, упаковки, маркировки, транспортирования и хранения.
198	**6268—68.** Редукторы для газопламенной обработки металлов. Основные параметры. Стандарт регламентирует минимальное и максимальное рабочее давление, наибольшую пропускную способность, наибольшее номинальное давление на входе в редуктор в *кгс/см*^{2}, точность поддержания рабочего давления.
199	**949—57*.** Баллоны стальные для газов на $P_{\text{р}} = 200$ *кгс/см*^{2}. Указываются типы и размеры, технические требования, методы испытаний, правила маркировки и упаковки

Продолжение табл. 2

№ по предметному списку	Номер стандартов, наименование и аннотация
200	**699—59***. Вентиль кислородного баллона на $P_{\text{п}} \leqslant 200$ *кгс/см²*. В стандарте указываются основные размеры, технические требования, методы испытаний, правила маркировки, упаковки, транспортирования и хранения.
201	**1638—42***. Вентиль малолитражного баллона. Технические условия. Стандарт устанавливает технические условия, методы проверки и испытаний, правила приемки, маркировки и упаковки.
202	**9356—60***. Рукава резиновые для газовой сварки и резки металлов. Стандарт распространяется на резиновые рукава, работающие при температуре от —50 до —35° С, и содержит типы и размеры, технические требования, методы испытания, правила маркировки, упаковки, хранения.
203	**8318—57***. Рукава резино-тканевые напорные. Стандарт содержит типы и размеры, технические требования, методы испытаний, правила приемки, маркировки, упаковки, хранения, справочную таблицу размеров наружных диаметров и весов, давление в *кГ/см²* для рукавов различных типов.
204	**1078—66**. Ниппели к резиновым рукавам аппаратуры для пламенной обработки металлов. Указываются размеры, технические требования, методы испытаний, правила маркировки, упаковки и хранения.
205	**5191—57**. Резаки инжекторные для ручной кислородной резки. Технические требования. Стандарт распространяется на инжекторные резаки для ручной разделительной резки углеродистой и низколегированной стали толщиной от 3 до 300 *мм* и не распространяется на специальные, в том числе вставные резаки. Приводятся технические требования по конструкции, в зависимости от вида горючего и т. д., методы испытаний, правила маркировки и упаковки.
206	**10796—64**. Резаки для воздушно-дуговой резки металлов угольным электродом. Основные параметры. Стандарт содержит основные параметры резаков — максимальное давление воздуха в *кГ/см²* и максимальный вес выплавляемой малоуглеродистой стали в *кг/ч* в зависимости от силы тока.
207	**10720—64**. Угли для воздушно-дуговой поверхностной резки металлов. Стандарт предусматривает размеры, технические требования, методы испытаний, правила маркировки, упаковки, транспортирования и хранения.
208	**5614—67**. Машины для кислородной резки. Типы и основные параметры. В стандарте указываются типы стационарных и переносных машин и основные параметры машин (число резаков, наибольшие размеры и предельные толщины обрабатываемых листов, возможности контурной и кислородно-флюсовой резки высокохромистых сталей), особые условия.
209	**12221—66**. Аппаратура для плазменно-дуговой резки металлов. Типы и основные параметры. Регламентируются типы аппаратуры (для ручной и механизированной плазменно-дуговой резки металлов), а также «исполнения» аппаратуры в зависимости от способа управления и напряжения холостого хода. Приводятся основные параметры типоразмеров.
210	**11966—66**. Аппараты для нанесения покрытий по способу газотермического напыления. Типы и основные параметры. Стандарт распространяется на аппараты для нанесения покрытий по способу газотермического напыления (металлизации распылением и т. д.). Предусматриваются типы аппаратов и основные параметры, приводится производительность в *кг/ч* газопламенных и газоэлектрических аппаратов для ручных и стационарных механизированных работ для различных напыляемых материалов.
211	**2405—63**. Манометры, вакуумметры и мановакуумметры показывающие. Общие технические требования. Стандарт распространяется на приборы с упругими чувствительными элементами, у которых деформация элемента, вызываемая давлением, преобразуется в круговое или линейное движение стрелки относительно шкалы. Стандарт содержит технические требования, включающие точность приборов, отсчетные устройства, надежность приборов, элементы приборов и гарантийный срок, а также методы испытаний, определение некоторых понятий, встречающихся в стандарте, правила маркировки, упаковки, транспортирования и хранения.
212	**13717—68**. Манометры, вакуумметры и мановакуумметры показывающие, сигнализирующие. Основные параметры и технические требования. Стандарт распространяется на приборы для измерения избыточного и вакуумметрического давления жидкостей, газов и пара. Содержит типы, основные параметры, технические требования, методы испытаний, определения некоторых понятий, встречающихся в стандарте, правила маркировки, упаковки, транспортирования и хранения.

Продолжение табл. 2

№ по предметному списку	Номер стандартов, наименование и аннотация
213	**7248—54.** Аппараты рентгеновские. Общие технические условия. Стандарт распространяется на рентгеновские аппараты с номинальным напряжением не свыше 250 *кв* макс., рассчитанные на присоединение к электрическим сетям переменного тока частотой 50 *гц*. Стандарт не распространяется на импульсные рентгеновские аппараты и содержит технические условия, правила приемки и методы испытаний, пояснения терминов, встречающихся в стандарте, правила маркировки, упаковки, хранения и транспортирования.
	Сварные металлические конструкции и элементы конструкций
214	**7075—64.** Краны мостовые ручные. Стандарт распространяется на однобалочные и двухбалочные краны грузоподъемностью от 3,2 до 20 *т* включительно. В стандарте приводятся типы, основные параметры, технические требования, методы испытаний, правила маркировки и транспортирования.
215	**7890—67.** Краны подвесные электрические однобалочные общего назначения. Стандарт распространяется на краны грузоподъемностью от 0,25 до 5,0 *т* включительно, управляемые с пола, эксплуатируемые при температуре окружающей среды от −40 до +40° С. Стандарт содержит типы, основные параметры и размеры, технические требования, методы испытаний, правила маркировки, упаковки, хранения и транспортирования.
216	**877—52.** Краны железнодорожные полноповоротные. Стандарт распространяется на краны грузоподъемностью до 150 *т*. Стандарт содержит типы, основные параметры, технические условия, правила приемки и методы испытаний, правила упаковки, маркировки и транспортирования.
217	**7131—64.** Краны мостовые. Технические требования. В стандарте указываются технические требования, методы испытаний, правила маркировки и транспортирования. Стандарт распространяется на электрические краны грузоподъемностью до 320 *т* включительно.
218	**11283—65.** Краны портальные. Технические требования. Стандарт распространяется на полноповоротные электрические портальные краны общего назначения и предусматривает технические требования, методы испытаний, правила маркировки и транспортирования.
219	**9931—61*.** Сосуды и аппараты цилиндрические стальные сварные. Типы и основные размеры. Стандарт распространяется на цилиндрические стальные сварные сосуды и аппараты с внутренним диаметром от 400 до 4000 *мм*. Устанавливаются типы сосудов и аппаратов, указываются обозначения типов, наименования и характеристики, области преимущественного применения по емкости, основные размеры, внутренняя поверхность в $м^2$.
220	**5172—63.** Газгольдеры стальные постоянного объема цилиндрические. Параметры и основные размеры. Стандарт устанавливает градации рабочих внутренних давлений, геометрические очертания, объем горизонтальных и вертикальных газгольдеров. Определены кондиции по вопросам сварки, контроля сварных соединений, документации.
221	**5044—55.** Барабаны для химических продуктов. Стандарт содержит типы и основные размеры, технические условия, методы испытания, правила приемки, маркировки, хранения и документации.
222	**6247—52.** Бочки стальные сварные и закатные. Стандарт распространяется на стальные сварные и закатные бочки для нефтяных и других жидких продуктов, не действующих активно на сталь и пинк. Стандарт содержит размеры, технические условия, правила приемки, маркировки и методы испытаний.
223	**5105—66.** Бидоны стальные штампованные сварные емкостью 10 и 20 *л* для горючего и масел. Основные размеры. Технические требования. Стандарт распространяется на стальные штампованные сварные герметически закрывающиеся бидоны и содержит типы и основные размеры, технические требования, методы испытания, правила окраски, маркировки и упаковки.
224	**3262—62.** Трубы стальные водогазопроводные (газовые). Стандартом регламентируется сортамент, технические требования, методы испытаний, правила маркировки и упаковки.
225	**8696—62.** Трубы стальные электросварные со спиральным швом. Стандарт содержит сортамент (условный проход, наружный диаметр труб, толщину стенки в *мм*, теоретический вес 1 *пог. м*), технические требования, методы испытаний, маркировку

Продолжение табл. 2

№ по предметному списку	Номер стандартов, наименование и аннотация
226	**10704—63 — 10707—63.** Трубы стальные. Электросварные. Сортамент. Стандарт 10704—63 предусматривает диаметры, толщину стенки, длины труб, допускаемые отклонения по четырем параметрам. **10705—63** — технические требования, методы испытаний. **10706—63** — распространяется на трубы стальные электросварные, прямошовные, диаметры 426—1620 *мм*; указываются три группы труб, для которых приводятся требования по основному металлу, сварным соединениям, контролю труб, методам испытаний. **10707—63** — распространяется на трубы стальные электросварные холоднотянутые и холоднокатаные. Приводится сортамент (размеры по наружному диаметру, толщине стенки), допускаемые отклонения по четырем параметрам, требования к материалу труб.
227	**11068—64.** Трубы из нержавеющей стали электросварные. Стандарт распространяется на электросварные трубы из нержавеющей стали, применяемые для различных конструкций и трубопроводов. Указывается сортамент (наружный диаметр, толщина стенки, длина труб, отклонения по этим размерам, допускаемая кривизна), технические требования, методы испытаний, правила маркировки и упаковки.
228	**5005—65.** Трубы стальные электросварные для карданных валов. Стандарт распространяется на стальные электросварные трубы, для карданных валов автомобилей, сельскохозяйственных и других машин и содержит сортамент, технические требования, методы испытаний, правила маркировки, упаковки, транспортирования и хранения.
229	**12132—66.** Трубы стальные электросварные и бесшовные для мотовелопромышленности. Стандарт распространяется на трубы сварные из углеродистой стали и бесшовные из углеродистой и легированной стали и содержит сортамент, технические требования, методы испытаний, правила маркировки, упаковки, транспортирования и хранения.
230	**11249—65.** Трубы стальные свертные паяные двухслойные. Стандарт распространяется на стальные свертные двухслойные паяные трубы, предназначенные для бензомаслопроводов, гидравлических систем комбайнов, тракторов и автомобилей и содержит сортамент, технические требования, методы испытаний, правила маркировки, упаковки и составления документации.
231	**5995—51.** Тройники прямые фланцевые литые и сварные. Типы и размеры. Стандарт распространяется на литые стальные, латунные и бронзовые, а также сварные стальные и медные тройники для трубопроводов судов всех типов и назначений. Стандарт распространяется на два типа литых, один тип паяных и один тип сварных тройников.
232	**12406—66.** Вагоны пассажирские магистральных железных дорог колеи 1524 *мм*. Технические требования. Стандарт распространяется на цельнометаллические, пассажирские, почтовые, багажные вагоны локомотивной тяги и не распространяется на специальные вагоны, вагоны электропоездов и дизель-поездов. Указываются технические требования, правила маркировки.
233	**10674—63.** Вагоны-цистерны магистральных железных дорог колеи 1524 *мм*. Технические требования. Стандарт предусматривает технические требования, методы испытаний, маркировку.
234	**10935—64.** Вагоны крытые магистральных железных дорог колеи 1524 *мм*. Технические требования. Стандарт распространяется на четырехосные крытые грузовые вагоны обычного назначения и предусматривает технические требования и маркировку.
235	**10936—64.** Полувагоны магистральных железных дорог колеи 1524 *мм*. Стандарт распространяется на шестиосные полувагоны и предусматривает технические требования и маркировку.
236	**5973—61*.** Вагоны-самосвалы (думпкары) железных дорог колеи 1524 *мм*. Технические требования. Стандарт содержит технические требования (кондиции по сварке и т. д.), методы испытаний, правила маркировки.
237	**10527—63.** Тележки двухосные пассажирских вагонов железных дорог колеи 1524 *мм*. Типы и технические требования. Стандарт содержит технические требования, маркировку.
238	**9246—59*.** Тележки двухосные грузовых вагонов магистральных железных дорог широкой колеи. Основные параметры, размеры и технические требования. Стандарт содержит основные параметры, размеры и технические требования, маркировку.

Продолжение табл. 2

№ по предметному списку	Номер стандартов, наименование и аннотация
239	**12336—66.** Сталь холодногнутая. Профили замкнутые сварные квадратные и прямоугольные общего назначения. Сортамент. Стандарт распространяется на холодногнутые замкнутые сварные профили квадратного и прямоугольного сечения, применяемые в строительных и машиностроительных конструкциях. Приводится сортамент (вид, размеры, площадь сечения в $см^2$, справочные величины, вес профиля в *кг*/м), допустимые отклонения по размерам.
240	**8478—66.** Сетки сварные для армирования железобетонных конструкций. Сортамент и технические требования. Стандарт содержит сортамент сварных сеток, технические требования, правила упаковки и маркировки.
241	**14098—68.** Соединения сварные арматуры железобетонных изделий и конструкций. Контактная и ванная сварка. Основные типы и конструктивные элементы. Стандарт распространяется на неразъемные соединения ненапрягаемой арматуры железобетонных изделий и конструкций, а также монтажные соединения арматуры, исполненные контактной сваркой или дуговой ванной сваркой в инвентарных формах. Приводится терминология, основные типы и конструктивные элементы сварных соединений.
242	**2715—44** Сетки металлические проволочные. Классификация. Характеристика и основные предельные размеры. В стандарте приводится классификация металлических проволочных (в том числе сварных) сеток по восьми признакам, характеристика и предельные размеры, сводная классификационная таблица.
243	**8126—56.** Переплеты стальные для окон промышленных зданий. Стандарт определяет область распространения, размеры и конструкции переплетов, технические условия, правила приемки, проверки, маркировки, упаковки, хранения и транспортирования.
244	**7920—56*.** Переплеты стальные для фонарей промышленных зданий. Стандарт определяет область распространения, размеры и конструкцию переплетов ветровых нащельников и панелей, технические условия, правила проверки, приемки, маркировки, упаковки, хранения и транспортирования.
245	**7070—64*.** Цепи круглозвенные сварные технические и общего назначения. Стандарт содержит типы, основные параметры и размеры, технические требования, методы испытаний, правила маркировки, упаковки и хранения.
246	**9465—60.** Цепи круглозвенные сварные повышенной точности и прочности. Стандарт содержит основные параметры и размеры, технические требования, методы испытания, правила упаковки, маркировки, хранения.
247	**2913—55.** Цепи сварные грузовые и тяговые. Стандарт содержит основные параметры и размеры, технические условия, правила приемки, методы испытаний, правила упаковки, маркировки, транспортирования и хранения.
248	**228—65.** Цепи якорные, сварные детали и узлы. Размеры и технические требования. Стандарт распространяется на электросварные и кованые детали и узлы цепей. Приводятся типы, размеры, технические требования, предъявляемые к соединениям, сваренным контактной, электродуговой и кузнечно-горновой сваркой.
249	**12169—66.** Заготовки стальные, вырезанные кислородной резкой. Припуски. Стандарт распространяется на стальные заготовки из низкоуглеродистой, среднеуглеродистой, низколегированной и среднелегированной стали, вырезаемые кислородной резкой, после которой предусмотрена механическая обработка, и устанавливает размеры припусков на них. Устанавливаются допустимые отклонения от припусков в зависимости от способов кислородной резки и номинальных размеров заготовок.
	Испытание и контроль материалов, сварных соединений и конструкций
250	**3242—54.** Швы сварные. Методы контроля качества. Стандарт устанавливает методы контроля качества швов сварных соединений, выполненных различными видами электродуговой, контактной газовой и газопрессовой сварки из всех свариваемых металлов и сплавов. Стандартом предусматривается контроль наружных и внутренних дефектов и контроль непроницаемости швов. К первой группе относятся: внешний осмотр и измерение, технологические пробы, исследования макроструктуры, контроль магнитным порошком, рентгено- или гаммаграфирование. Ко второй группе относятся: испытание керосином, обдувом, аммиаком, воздушным давлением, гидравлическим давлением, наливом, поливом, в специальных случаях — добавлением рабочей среды. Обусловливаются правила проведения испытаний. Стандартом не предусмотрена необходимость применения тех или иных методов, объем контроля, порядок отбора образцов, требования к качеству и допустимость дефектов в швах.

Продолжение табл. 2

№ по предметному списку	Номер стандартов, наименование и аннотация
251	**7122—54.** Швы сварные. Метод отбора проб для химического и спектрального анализов. В стандарте указывается место отбора пробы, подготовка металла шва и наплавленного металла для взятия пробы, метод отбора проб для химического анализа, метод отбора проб для специального анализа.
252	**7512—55.** Швы сварные. Методы контроля рентгенографированием и гаммаграфированием. В стандарте указывается область применения, подготовка швов к рентгено- и гаммаграфированию, условия выполнения рентгено- и гаммаграфирования, схемы просвечивания сварных швов, определение результатов контроля.
253	**5640 - 68.** Сталь. Металлографический метод оценки микроструктуры листов и ленты. Стандарт распространяется на листы и ленты из малоуглеродистой и углеродистой стали и устанавливает металлографический метод оценки структурно-свободного цементита, перлита, полосчатости и видманштеттовой структуры. Устанавливается прогрессивный по сравнению с зарубежными стандартами метод сопоставления структуры металла со стандартными шкалами эталонов микроструктуры регламентированными настоящим стандартом. Регламентируется отбор образцов и изготовление микрошлифов, метод определения микроструктуры, полосчатость феррито-перлитной структуры, видманштеттова структура. Приводятся шкалы структурно-свободного цементита, перлита в малоуглеродистой деформированной стали, полосчатости феррито-перлитной структуры и видманштеттовой структуры.
254	**6032—58*.** Сталь. Методы испытания на межкристаллитную коррозию аустенитных, аустенитно-ферритных и аустенитно-мартенситных коррозионностойких сталей. Стандарт устанавливает состояние образцов перед испытанием и методы испытания, изготовление образцов для испытаний, руководство по физическим методам контроля межкристаллитной коррозии (ультразвуковой метод вихревых токов, цветной метод). Приводится руководство по ускоренному методу контроля межкристаллитной коррозии.
255	**5639—65.** Сталь. Методы выявления и определения величины зерна. Стандартом предусмотрено назначение методов, отбор образцов, подготовка образцов и методы выявления зерна, определение величины зерна (включая ультразвуковой метод).
256	**10243—62*.** Сталь. Метод контроля макроструктуры. Стандарт предусматривает общие указания, отбор проб и изготовление образцов, оценку результатов контроля.
257	**13585—68.** Сталь. Метод валиковой пробы для определения допускаемых режимов дуговой сварки и наплавки. В стандарте приводятся общие указания, оборудование для изготовления проб, подготовка к испытаниям, проведение испытаний, обработка результатов испытаний и номограммы для определения скорости охлаждения околошовной зоны W_0 при наплавке валика на пластину.
258	**1778—62.** Сталь. Металлографический метод определения неметаллических включений. Стандартом предусматривается отбор образцов и изготовление микрошлифов, методика определения загрязненности стали включениями, характеристики классифицируемых видов неметаллических включений.
259	**1763—68.** Металлы. Метод определения глубины обезуглероживания стальных полуфабрикатов и деталей микроанализом. Стандарт устанавливает метод определения микроанализом глубины обезуглероживания качественных и высококачественных углеродистых и легированных сталей, термины и определения, подготовку образцов (шлифов).
260	**6996—66.** Сварные соединения. Методы определения механических свойств. Стандарт содержит виды испытаний и область применения, отбор образцов, условия проведения испытаний и оценки их результатов, испытание металла различных участков сварного соединения и наплавленного металла на статическое (кратковременное) растяжение, на ударный изгиб (на надрезанных образцах), на стойкость против механического старения, измерение твердости различных участков металла сварного соединения, испытание сварного соединения на статическое растяжение, на статический изгиб, на ударный разрыв.
261	**1497—61.** Металлы. Методы испытания на растяжение. Стандарт устанавливает общие указания, форму и размер образцов, оборудование для испытаний, проведение испытаний и подсчет результатов.
262	**9651—61.** Металлы. Методы испытания на растяжение при повышенных температурах. Стандарт распространяется на черные и цветные металлы и сплавы и изделия из них и устанавливает методы кратковременных статических испытаний на растяжение для определения при повышенных (до 1200° С)

Продолжение табл. 2

№ по предметному списку	Номер стандартов, наименование и аннотация
	температурах характеристик механических свойств. Стандарт содержит общие указания, устанавливает форму и размеры образцов (с допускаемыми отклонениями в размерах при изготовлении цилиндрических и плоских образцов), оборудование для испытаний, проведение испытаний и подсчет результатов.
263	**11150—65.** Металлы. Методы испытания на растяжение при пониженных температурах. Стандарт распространяется на черные и цветные металлы, сплавы и изделия из них толщиной более 0,5 мм и устанавливает методы статических испытаний на растяжение для определения характеристик механических свойств при температурах от 0 до —100° С и при температуре кипения жидкого азота. Стандарт предусматривает общие указания, форму и размеры цилиндрических и плоских образцов, оборудование для испытаний, проведение испытаний и подсчет результатов.
264	**9454—60.** Металлы. Метод определения ударной вязкости при нормальной температуре. Стандартом предусматривается форма и размеры образцов, применяемая испытательная машина, проведение испытаний, подсчет результатов.
265	**9456—60.** Металлы. Метод определения ударной вязкости при повышенных температурах. Стандарт устанавливает метод определения ударной вязкости при температурах выше нормальной до +1000° С. Предусматривается форма и размеры образцов, применяемая испытательная машина, проведение испытаний, подсчет результатов.
266	**9455—60.** Металлы. Метод определения ударной вязкости при пониженных температурах. Стандарт устанавливает метод определения ударной вязкости при температурах до —100° С. Предусматривается форма и размеры образцов, применяемая испытательная машина, проведение испытаний, подсчет результатов.
267	**14019—68.** Металлы. Методы технологических испытаний на изгиб. Стандарт распространяется на ленты, полосовой, широкополосный, листовой, сортовой, фасонный и периодического профиля прокат из металлов и сплавов, а также на поковки и отливки и устанавливает методы технологических испытаний на изгиб при нормальной температуре, в нагретом состоянии и на закаливаемость. Стандарт содержит общие указания, указания по оборудованию для испытаний и подготовке к испытаниям, по проведению испытаний и определению результатов испытаний.
268	**2860—65.** Металлы. Методы испытания на усталость. Стандарт предусматривает общие указания, термины, определения и обозначения, условия испытаний, форму, размеры и изготовление образцов, проведение испытаний и обработку результатов, а также специальные испытания (при повышенной и пониженной температурах, в условиях агрессивной среды и т. д.).
269	**3248—60.** Металлы. Метод испытания на ползучесть. Стандартом предусматривается форма и размеры образцов, применяемая аппаратура, проведение испытания, подсчет и форма записи результатов испытания металлов на ползучесть.
270	**10145—62.** Металлы. Метод испытания на длительную прочность. Стандарт распространяется на черные и цветные металлы и сплавы и устанавливает метод испытания на длительную прочность при температурах до 1200° С. Стандарт устанавливает форму и размеры цилиндрических и плоских образцов, аппаратуру, проведение испытаний, подсчеты результатов, форму записи результатов испытания материалов и сплавов на длительную прочность.
271	**5657—51.** Сталь конструкционная. Испытание на прокаливаемость методом торцовой закалки. Стандарт устанавливает форму образцов и их изготовление, нагрев и закалку образцов, изменение твердости и оформление результатов испытаний.
272	**9012—59*.** Металлы. Методы испытаний. Измерение твердости по Бринеллю. Стандарт содержит основные определения и обозначения, условия измерения твердости, измерения твердости, контроль прибора, таблицу чисел твердости по Бринеллю при разных нагрузках в зависимости от диаметра отпечатка.
273	**9013—59.** Металлы. Методы испытаний. Измерение твердости по Роквеллу. Стандарт содержит основные определения и обозначения, условия измерения твердости, измерение твердости, контроль прибора, таблицу чисел твердости по Роквеллу для разных шкал.
274	**2999—59.** Металлы. Методы испытаний. Измерение твердости алмазной пирамидой (по Виккерсу). Стандартом предусматриваются основные определения и обозначения, условия измерения твердости, измерение твердости, контроль прибора, приводятся числа твердости при испытании алмазной пирамидой при разных нагрузках.

Продолжение табл. 2

№ по предметному списку	Номер стандартов, наименование и аннотация
275	**9450—60.** Металлы. Метод испытания на микротвердость вдавливанием алмазной пирамиды. Стандарт содержит основные определения и обозначения, условия измерения твердости, измерение твердости, контроль прибора, таблицы чисел твердости в *кГ/мм²* при испытании на микротвердость вдавливанием алмазной пирамиды при разных нагрузках.
276	**13091.0—13091.8—67.** Ферромарганец. Методы анализа. Общие требования. Методы определения восьми химических элементов. Стандартом предусмотрены эффективные методы анализа ферромарганца, изложена сущность методов, методика проведения анализов, применяемая аппаратура, требуемые реактивы и растворы, подсчеты результатов анализов.
277	**13230.0—13230.9—67.** Ферросплавы. Ферросилиций. Методы анализа. Общие требования. Методы определения содержания девяти химических элементов. Стандартом предусмотрены эффективные методы анализа ферросилиция, изложена сущность методов, методики проведения анализов, применяемая аппаратура, требуемые реактивы, подсчеты результатов анализов.
278	**13400.0—13400.9—67.** Ферросплавы. Феррохром. Методы анализа. Общие требования. Методы определения содержания девяти химических элементов. Стандартом предусмотрены эффективные методы анализа феррохрома, изложена сущность методов, методики проведения анализов, применяемая аппаратура, требуемые реактивы и растворы, подсчеты результатов анализов.
279	**14250.0—14250.9—69.** Ферротитан. Общие требования к методам анализа. Методы определения содержания девяти химических элементов. Стандартом предусмотрены эффективные методы анализа, изложена сущность методов, методики проведения анализов, применяемая аппаратура, требуемые реактивы, подсчеты результатов анализа.
280	**13217.0—13217.11—67.** Ферросплавы. Феррованадий. Методы анализа. Общие требования. Методы определения содержания 11 химических элементов. Стандартом предусмотрены эффективные методы анализа феррованадия, изложена сущность методов, методики проведения анализов, применяемая аппаратура, требуемые реактивы и растворы, подсчеты результатов анализов.
281	**14338.0—14338.4—69.** Молибден. Методы анализа. Методика определения содержания четырех химических элементов. Стандартом предусмотрены новые прогрессивные методы анализа: потенциометрический, кондуктометрический, фотоколориметрический, отличающиеся высокой точностью и чувствительностью. Изложены сущность методов, ход проведения анализа, применяемая аппаратура, требуемые реактивы и подсчет результатов анализа.
282	**13151.0—13151.11—67.** Ферромолибден. Методы анализа. Общие требования. Методы определения содержания 11 химических элементов. Стандартом предусмотрены эффективные методы анализа ферромолибдена, изложена сущность методов, методики проведения анализов, применяемая аппаратура, требуемые реактивы и растворы, подсчеты результатов анализов.
283	**14316—69.** Молибден. Методы спектрального анализа. Стандарт унифицирует существующие методики спектрального определения содержания примесей в молибдене и его соединениях с целью улучшения контроля химического состава металла (в виде порошка, стружки, проволоки, штабиков).
284	**14339.0—14339.5—69.** Вольфрам. Общие требования к методам анализа. Методы определения содержания пяти химических элементов. Стандартом предусмотрены новые прогрессивные методы анализа: потенциометрический, кондуктометрический, фотоколориметрический. Предусмотрены методика проведения анализа, аппаратура, необходимые реактивы, подсчет результатов анализа.
285	**14315—69.** Вольфрам. Методы спектрального анализа. Стандарт унифицирует существующие методики спектрального определения содержания примесей в вольфраме и его соединениях с целью улучшения контроля химического состава металла (в виде порошка, стружки, проволоки, штабиков).
286	**14638.0—14638.15—69.** Ферровольфрам. Общие требования к методам анализа. Методы определения содержания 15 химических элементов. Стандартом предусмотрены методы анализа ферровольфрама, изложена сущность методов, методики проведения анализов, применяемая аппаратура, требуемые реактивы и растворы, подсчеты результатов анализов.
287	**741.0—741.18—69.** Кобальт. Общие требования к методам анализа. Методы определения содержания 18 химических элементов. Стандарт распространяется на кобальт и устанавливает общие требования к определению содержания

Продолжение табл. 2

№ по предметному списку	Номер стандартов, наименование и аннотация
	примесей с целью улучшения контроля химического состава. Изложены сущность методов, ход проведения анализа, применяемая аппаратура, требуемые реактивы и растворы, подсчет результатов анализа.
288	**14021.0—14021.8—68.** Ферробор. Методы анализа. Общие требования. Методы определения содержания восьми химических элементов. Стандарт распространяется на ферробор, предназначенный для легирования сталей и сплавов, и устанавливает объемный и потенциометрический методы определения содержания бора (при содержании от 3 до 25% бора). Изложена сущность методов, методика проведения анализов, применяемая аппаратура, требуемые реактивы и растворы, подсчеты результатов анализов.
289	**14328.0—14328.5—69.** Слюда мусковит. Общие требования к методам химического анализа. Методы определения содержания пяти различных химических соединений. Стандарт устанавливает методы определения основных компонентов слюды мусковит: весовой, трилонометрический, пламенно-фотометрический и фотоколориметрический; предусматривает аппаратуру, реактивы и растворы, а также методику проведения анализов.
290	**11810—66.** Силикат-глыба. Норма точности взвешивания. Стандарт устанавливает норму точности взвешивания на вагонных весах силикат-глыбы и погрешность взвешивания.
291	**10922—64.** Арматура и закладные детали сварные для железобетонных конструкций. Технические требования и методы испытаний. Стандарт распространяется на сварную арматуру и сварные закладные детали для железобетонных конструкций, на сварные соединения элементов арматуры, закладных деталей и сварные соединения в стыках железобетонных конструкций и не распространяется на сварные проволочные сетки для армоцемента. Стандарт содержит технические требования, правила приемки и методы испытаний.
292	**1429—54.** Припои оловянно-свинцовые. Методы определения химического состава. Стандартом устанавливаются методы определения в припоях сурьмы, олова, железа, меди по ферроцианидному методу, висмута, мышьяка, серы, никеля, цинка и алюминия; приводится описание гидравлических затворов-воронок.
293	**3285—65.** Суда металлические морские и внутреннего плавания. Методы, нормы и правила испытания корпусов на непроницаемость и герметичность. Стандарт определяет общие требования, методы испытаний на непроницаемость и герметичность, нормы испытаний на непроницаемость и герметичность, подготовку, проведение и оформление испытаний.

СПРАВОЧНИК ПО СВАРКЕ

Том 3

Редактор издательства *А. Г. Салонов*

Технический редактор *Т. Ф. Соколова*. Корректор *Ж. Л. Суходолова*

Сдано в производство 19/IX 1969 г. Подписано к печати 3/IV 1970 г. Т-01440. Тираж 30 000 экз. Печ. л. 31,5. Бум. л. 15,75. Уч.-изд. л. 44. Формат 60×90 1/8. Цена 2 р. 53 к. Зак. 765.

Издательство «МАШИНОСТРОЕНИЕ», Москва, Б-66, 1-й Басманный пер., 3

Ордена Трудового Красного Знамени Ленинградская типография № 1 «Печатный Двор» им. А. М. Горького Главполиграфпрома Комитета по печати при Совете Министров СССР, г. Ленинград, Гатчинская, 26.