

СПРАВОЧНИК
ПО СВАРКЕ

1

С ПРАВОЧНИК ПО СВАРКЕ

Под редакцией
инж. Е. В. СОКОЛОВА

ТОМ

1

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
Москва 1960

Справочник содержит сведения по всем основным видам сварки и резки, представляющие общий интерес для различных отраслей народного хозяйства.

В книге освещаются вопросы теории сварки, оборудования, сварочных материалов, технологии сварки и др.

В первом томе изложены теоретические основы сварочных процессов, приведены данные по оборудованию и инструменту для сварки и резки.

Книга предназначена для инженеров и техников, работающих в области сварочного производства на заводах, в проектных и исследовательских организациях. Книга может быть также полезна для преподавателей и студентов вузов.

АВТОРЫ ТОМА

Т. А. ВЛАДИМИРСКИЙ, д-р техн. наук; Р. В. ВРОБЛЕВСКИЙ, инж.; Л. В. ГЛЕБОВ, инж.; В. М. ГОДИН, канд. техн. наук; С. Г. ГУЗОВ, инж.; А. И. ГУЛЯЕВ, инж.; Л. К. ЕРШОВ, инж.; Н. Я. КОЧАНОВСКИЙ, канд. техн. наук; К. В. ЛЮБАВСКИЙ, проф., д-р техн. наук; Б. Е. ПАТОН, акад. АН УССР, проф., д-р техн. наук; И. Я. РАВИНОВИЧ, канд. техн. наук; И. М. РАДАШКОВИЧ, инж.; Н. Н. РЫКАЛИН, чл.-корр. АН СССР, проф., д-р техн. наук; О. Ш. СПЕКТОР, инж.; К. К. ХРЕНОВ, чл.-корр. АН СССР, акад. АН УССР, проф., д-р техн. наук; В. С. ЧЕРНЯК, инж.; П. Л. ЧУЛОШНИКОВ, инж.; М. Х. ШОРШОРОВ, канд. техн. наук.

НАУЧНЫЕ РЕДАКТОРЫ:

О. Н. БРАТКОВА, проф., д-р техн. наук (гл. V); И. Л. БРИНБЕРГ, канд. техн. наук (гл. VI); А. С. ГЕЛЬМАН, проф., д-р техн. наук (гл. II, X); В. М. КОНДРАТОВИЧ, инж. (гл. VII); А. И. КРАСОВСКИЙ, канд. техн. наук (гл. I); К. В. ЛЮБАВСКИЙ, проф., д-р техн. наук (гл. IV); Г. Ф. СКАКУН, канд. техн. наук (гл. VIII, IX, X, XI, XII); М. Х. ШОРШОРОВ, канд. техн. наук (гл. III, XIII, XIV).

Редактор издательства инж. К. Н. Иванова

*Редакция справочной литературы
Зав. редакцией инж. Г. А. МОЛЮКОВ*

ПРЕДИСЛОВИЕ

Данный «Справочник по сварке» отличается от ранее опубликованных справочников по этой тематике более полным изложением всех основных вопросов сварочного производства. Значительное внимание уделено сведениям по новым видам сварки и сварочным материалам, а также новейшему сварочному оборудованию.

Весь материал разделен в справочнике на соответствующие разделы: теоретические основы сварочных процессов, сварочное оборудование, приборы и инструмент, сварочные материалы, основы технологии разных видов сварки и резки и т. п. Однако, по некоторым специальным вопросам оказалось целесообразным изложить материал комплексно. Так, по сварке в среде защитных газов, вследствие большой специфичности этого способа, такие вопросы, как физические основы процесса, оборудование, материалы, технология и особенности сварки различных материалов объединены в одну главу в разделе «Основы технологии». По тем же соображениям необходимые данные по электродам для дуговой сварки чугуна и цветных металлов отнесены к главам, посвященным технологии сварки этих металлов.

В справочник не включены вопросы сварки, специфичные для отдельных отраслей народного хозяйства или для отдельных видов конструкций. Эти вопросы должны найти отражение в специализированных справочниках.

Издание настоящего справочника было предпринято по инициативе ВНИТО сварщиков (ныне секция сварки НТО Машиностроения), которым был рассмотрен и одобрен общий план построения справочника, а также рекомендован основной состав авторов и научных редакторов.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	III
Раздел I. ОСНОВЫ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ	
Глава I. Физические основы процесса сварки металлов и классификация способов сварки (акад. АН УССР К. К. Хренов)	1
Физические основы процесса сварки металлов	1
Классификация способов сварки	4
Классификация способов сварки по состоянию металла в сварочной зоне	4
Классификация способов сварки по виду энергии для нагрева металлов	6
Глава II. Расчеты тепловых процессов при сварке (чл. корр. АН СССР Н. Н. Рыкалин)	9
Введение	9
Нагрев металла сварочной дугой	9
Нагрев металла газовым пламенем	17
Термический цикл при дуговой сварке и наплавке	25
Плавление металла при дуговой сварке	33
Нагрев стержней при контактной сварке	35
Нагрев стержней при стыковой сварке трением	40
Литература	50
Глава III. Металлургия сварки стали плавлением (проф. д-р техн. наук К. В. Любаский)	51
Условия образования зоны плавления (сварочной ванны)	51
Взаимодействие жидкого металла в зоне плавления с кислородом (окисление металла при сварке)	57
Основные пути окисления металла в зоне плавления	57
Последствия окисления жидкого металла при сварке малоуглеродистых сталей	67
Взаимодействие водорода, азота и сложных газов с жидким металлом в зоне плавления	69
Источники водорода в зоне сварки	69
Растворимость водорода в металле	70
Влияние легирующих элементов на растворимость водорода в железе	73
Влияние водорода на металл шва и сварное соединение	73
Ограничение концентрации водорода в сварочной ванне (металле шва)	76
Азот в газовой фазе зоны сварки	79
Взаимодействие углекислого газа с жидким металлом в зоне сварки	81
Использование CO ₂ как защитной среды при сварке сталей	83
Взаимодействие водяного пара с жидким металлом в зоне сварки	87
Взаимодействие жидкого металла в зоне сварки с газовыми смесями	89
Образование пор в металле шва	91
Взаимодействие сварочной ванны с флюсами-шлаками	94
Металлургическая роль и общая классификация флюсов-шлаков	94
Реакция кремния при сварке углеродистой стали под флюсами-силикатами	96
Реакция марганца при сварке углеродистой стали под флюсами-силикатами	99
Реакция кремния и марганца при электрошлаковой сварке	100
Совместное протекание реакций кремния и марганца при сварке углеродистой стали под флюсами-силикатами	101
Реакция углерода при сварке углеродистой стали под флюсом	103
Раскисление сварочной ванны кремнием и марганцем при сварке углеродистой стали под активными флюсами	104
Реакция серы при сварке углеродистой стали под флюсом	104
Реакция фосфора при сварке углеродистой стали под флюсом	107
Влияние поверхностных окислов на образование пор в металле шва при сварке углеродистых сталей под флюсом	108
Функциональные композиции флюсов для сварки малоуглеродистой стали	110
Флюсы для сварки легированных сталей	111
Взаимодействие жидкого металла в зоне плавления с электродными покрытиями	116
Защитное и легирующее действие электродных покрытий	116

Общая классификация защитных покрытий стальных электродов для дуговой сварки	119
Металлургические процессы при сварке электродами с покрытиями первой группы	119
Металлургические процессы при сварке электродами с покрытиями второй группы	124
Металлургические процессы при сварке электродами с покрытиями третьей группы	126
Металлургические процессы при сварке электродами с покрытиями четвертой группы	129
Легирующие металл шва	130
Окисление элементов	130
Испарение элементов в зоне плавления	130
Пути легирования металла шва	131
Коэффициенты усвоения и приближенный расчет состава наплавленного металла при сварке электродами с защитно-легирующими покрытиями	132
Приближенный расчет состава шва при его легировании через флюс (при автоматической сварке)	135
Литература	138
Глава IV. Кристаллизация сварочной ванны и процессы в околошовной зоне (канд. техн. наук М. Х. Шориоров)	141
Образование сварного соединения	141
Кристаллизация и горячие трещины	143
Фазовые и структурные превращения при сварке. Холодные трещины	153
Литература	160
Раздел II. ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ СВАРКИ И РЕЗКИ	
Глава V Источники питания сварочной дуги общего назначения (канд. техн. наук И. Я. Рабинович)	162
Свойства сварочной дуги и технические требования к источникам питания для дуговой сварки	162
Электрические характеристики сварочной дуги	162
Особенности дуги переменного тока	165
Требования к статическим и динамическим свойствам источников питания	166
Классификация и основные технические характеристики источников питания	171
Настройка режима сварки	173
Источники питания переменного тока	175
Сварочные трансформаторы с нормальным рассеянием в комбинации с реактивной катушкой типа СТН-ТСД	175
Сварочные трансформаторы с отдельной реактивной катушкой-росселем типа СТЭ	180
Трансформаторы с увеличенным магнитным рассеянием в комбинации с реактивной обмоткой типа СТАН и СТР	181
Специальные трансформаторы для сварки трехфазной дугой и для двухдуговой сварки	183
Сварочный преобразователь ПС-1000 повышенной частоты	186
Осцилляторы и импульсные возбуждители дуги	188
Источники питания постоянного тока	189
Сварочные генераторы с независимым возбуждением и размагничивающей последовательной обмоткой	190
Сварочные генераторы с намагничивающей параллельной и размагничивающей последовательной обмотками возбуждения	193
Сварочные генераторы с расщепленными полюсами	209
Многополюсные сварочные генераторы	203
Сварочные выпрямители	205
Параллельная работа источников питания	210
Параллельное включение сварочных трансформаторов	210
Параллельное включение сварочных генераторов	211
Литература	213
Глава VI. Оборудование для автоматической и полуавтом. дуговой сварки под флюсом и электрошлаковой сварки (акад. АН УССР Б. Е. Панен)	214
Классификация сварочных аппаратов	214
Регулирование процесса электродуговой сварки под флюсом	215
Анализ работы основных систем регулирования сварочной дуги	218
Установки для автоматической электродуговой сварки. Классификация и области применения установок для автоматической сварки	217
Установки для сварки плоскостных соединений	217
Установки для сварки блочек	219
Установки для сварки цилиндрических сосудов	219

	Стр.
Специализированные установки для сварки одностипных изделий в массовом производстве	222
Наплавочные установки	223
Основные элементы сварочных установок	229
Сварочные головки	234
Сварочные тракторы	241
Многоэлектродные сварочные аппараты	253
Шланговые полуавтоматы и автоматы	259
Шланговые автоматы	267
Специализированные сварочные аппараты	272
Аппараты для вертикальной электродуговой и электрошлаковой сварки	277
Литература	286
Глава VII. Рабочее место электросварщика и инструмент для ручной дуговой электросварки покрытыми электродами (инж. Р. В. Вроблевский)	287
Элементы оборудования рабочего места в стационарных и монтажных условиях	287
Инструмент электросварщика	290
Защитные приспособления	291
Сварочные провода, шаблоны, клепки	292
Литература	293
Глава VIII. Монтаж, эксплуатация и ремонт оборудования для дуговой сварки (инж. Л. К. Ершов)	294
Монтаж сварочных преобразователей и трансформаторов	294
Эксплуатация сварочных машин и трансформаторов	295
Монтаж оборудования для автоматической и полуавтоматической дуговой сварки	296
Эксплуатация установок для автоматической и полуавтоматической дуговой сварки	297
Эксплуатация автоматов и полуавтоматов, предназначенных для сварки в среде CO ₂	299
Ремонт сварочных преобразователей, трансформаторов, автоматов и полуавтоматов	300
Неисправности и неполадки в работе сварочного оборудования	301
Литература и источники	310
Глава IX. Оборудование для контактной сварки (канд. техн. наук Н. И. Кочановский)	311
Общие сведения и методы расчета	311
Основные технические требования к контактным сварочным машинам	311
Электрические характеристики контактных сварочных машин	311
Трансформаторы для контактных сварочных машин	318
Аппаратура управления контактных машин	328
Включающие устройства	328
Регуляторы времени для точечной сварки	330
Прерыватели для шовной сварки	332
Пневматическая аппаратура управления	333
Переключатели ступеней	337
Машины для стыковой сварки	338
Стыковые машины малой мощности	340
Стыковые машины средней мощности	341
Стыковые машины большой мощности	342
Специализированные стыковые машины	348
Зажимные и упорные приспособления стыковых машин	354
Машины для точечной сварки	358
Стационарные точечные машины малой мощности	359
Стационарные точечные машины средней мощности	364
Стационарные точечные машины большой мощности	367
Подвесные точечные машины	368
Конструкции электрододержателей, консолей и направляющих механизмов давления точечных машин	372
Специализированные машины для точечной сварки	375
Специализированные машины для многоточечной сварки	380
Машины для точечной импульсной сварки	392
Машины для рельефной сварки	400
Машины для шовной сварки	400
Характеристика серийных машин для шовной сварки	400
Специализированные машины для шовной сварки	410
Литература	418
Глава X. Электроды, ролики и губки контактных машин (канд. техн. наук В. М. Годин, инж. Л. К. Ершов, канд. техн. наук Н. И. Кочановский)	420
Электроды точечных машин	420
Изготовление электродов	424
Эксплуатация электродов	425
Ролики для шовных (роликовых) машин	425
Электроды для рельефной сварки и сварки арматуры	428

	Стр.
Губки для стыковых машин	429
Материалы для электродов контактных машин (канд. техн. наук Годин В. М.)	430
Литература	434
Глава XI. Приборы для измерения и контроля параметров режима контактной сварки (инж. А. И. Гуляев, инж. П. Л. Чудовицкий)	435
Измерение величин сварочного тока	435
Измерение с помощью трансформатора тока	435
Определение величины сварочного тока измерением первичного тока	435
Измерение сварочного тока стрелочным прибором с упором	435
Измерение величины тока прибором с неоновой лампой	436
Измерение тока катодным вольтметром	436
Измерение тока специальными электронными приборами	436
Измерение величины тока импульсным амперметром	438
Измерение и регистрация величины тока магнитоэлектрическим и катодным осциллографом	439
Измерение зарядного тока машин с накоплением энергии в магнитном поле	441
Измерение величины тока низкочастотных машин	441
Контроль величины тока при сварке	442
Контроль тока при шовной сварке	442
Контроль величины и длительности импульса тока на низкочастотных точечных машинах МТИП	443
Стабилизация и автоматическое регулирование сварочного тока	444
Стабилизатор сварочного тока	444
Автоматический регулятор сварочного тока	446
Измерение длительности сварочного импульса	449
Измерение электросекундомером	449
Измерение вибрографом	449
Измерение длительности импульса с помощью магнито-электрического и катодного осциллографов	450
Измерение и контроль давления электродов	450
Измерение гидравлическими и пружинными динамометрами	450
Регистрация давления электродов	451
Измерение сопротивления сварочного контакта	452
Измерение методом амперметра-вольтметра и микроамперметром М-246	452
Прибор для записи цикла работы стыковых сварочных машин	453
Литература	454
Глава XII. Монтаж, эксплуатация и ремонт оборудования и аппаратуры контактной сварки (инж. Л. В. Глебов, инж. И. М. Радзюквич)	455
Монтаж и эксплуатация	455
Требования к помещению для установки машин	455
Выбор сечения проводов	456
Расчет расхода воды	457
Расчет расхода сжатого воздуха	457
Заземление сварочных машин	459
Ремонт и устранение неисправностей	459
Неисправности в пневматической схеме	462
Неисправности в пневмогидравлической схеме	463
Неисправности в электрической схеме	463
Неисправности в синхронных прерывателях типа ПИП и ПИТ	464
Неисправности машин для сварки легких сплавов типа МТИП и МНТИП	470
Организация ремонта контактных машин	473
Глава XIII. Оборудование для газопламенной сварки и резки (инж. С. Г. Гузов, инж. О. Ш. Стектер, инж. В. С. Черняк)	474
Оборудование для газовой сварки и резки	474
Оборудование для транспортирования, хранения и газификации жидкого кислорода	474
Ацетиленовые генераторы	475
Установки для производства растворенного ацетилена	483
Схемы технологического процесса производства ацетилена	485
Ацетиленовые предохранительные затворы	486
Переносные рамповые установки	488
Баллоны и вентили	489
Шланги	492
Редукторы и регуляторы давления	492
Горелки	496
Резаки	499
Машины для кислородной резки	506
Специализированное оборудование для кислородной резки	517

	Стр.
Оборудование для газопрессовой сварки (д-р техн. наук Т. А. Владимирский)	529
Общие сведения	529
Станки	529
Горелки	534
Литература	538
Глава XIV. Монтаж, эксплуатация и ремонт газосварочного оборудования (инж. С. Г. Гусов, инж. О. Ш. Спектор)	539
Оборудование сварочных постов	539
Помещения сварочных цехов и участков	539
Учистки машинной кислородной резки	540
Подготовка к работе и уход за оборудованием	540
Обратные удары и хлопки пламени	542
Транспортирование баллонов	543
Эксплуатация баллонов	543
Воспламенение кислородных вентиля и редукторов	544
Замерзание редукторов и запорных вентиля	545
Трубопроводы	545
Испытание кислородо- и ацетиленопроводов	546
Расчет трубопроводов	547
Профилактический осмотр и ремонт газосварочной аппаратуры и машин	548
Материалы и прокладки, применяемые при ремонте газосварочной аппаратуры	553
Литература	554

ОСНОВЫ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

ГЛАВА I

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА СВАРКИ МЕТАЛЛОВ
И КЛАССИФИКАЦИЯ СПОСОБОВ СВАРКИ

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА СВАРКИ МЕТАЛЛОВ

Наибольшее промышленное значение имеет сварка металлов, но возможна и находит практическое применение сварка и неметаллических материалов, таких, как стекло, пластмассы, смола, некоторые минералы, горные породы и т. п. Возможна также сварка разнородных материалов, например, стекла с металлами. В дальнейшем рассматривается только сварка металлов.

Соединение отдельных объемов твердых тел часто связано с применением сложных технических приемов и затратами большого количества энергии. Это обусловлено, прежде всего, их твердостью, загрязнением поверхности и особыми свойствами поверхностного слоя. Чем выше твердость и меньше пластичность твердого тела, тем труднее соединение отдельных объемов такого твердого вещества.

Соприкосновение твердых тел происходит лишь в отдельных физических точках, и площадь действительного соприкосновения ничтожно мала по сравнению с общей кажущейся площадью соприкосновения даже на наиболее тщательно обработанных и пригнанных поверхностях. Малая площадь действительного соприкосновения твердых тел сильно затрудняет получение прочного монолитного соединения.

На возможность соединения объемов металла значительно влияют загрязнения его поверхности, почти всегда покрытой окислами металла, жирами и т. п. При самой тщательной зачистке на поверхности металла всегда имеется пленка адсорбированных молекул газов из окружающей атмосферы; эта пленка может быть устранена лишь в высоком вакууме, что трудно осуществимо при обычных способах сварки. Поверхностный слой твердого или жидкого тела и сам по себе, независимо от загрязнений, может затруднить выполнение соединения отдельных его объемов.

Для уменьшения влияния отмеченных факторов при сварке обычно пользуются следующими основными средствами: нагревом, давлением, а также зачисткой соединяемых поверхностей.

Нагрев дает возможность снизить твердость металла вплоть до полного его расплавления и перевода в жидкое состояние. Как средство перевода металла в «сварочное состояние», нагрев находит широкое применение в сварочной технике.

Способ нагрева металла является важнейшей характеристикой способа сварки и основным признаком для классификации видов и разновидностей сварки. Нагрев является настолько характерным процессом, сопровождающим сварку металлов, что в обычном представлении сварка металлов неотделима от нагрева и является типичным видом горячей обработки металла. Однако сварка может быть выполнена и без применения нагрева. Способы сварки без нагрева по мере усовершенствования технических приемов, вероятно, найдут довольно широкое применение.

Очень большое значение для процесса сварки металлов может иметь давление, прилагаемое к соединяемым частям. Оно необходимо при сварке без расплавления и перевода металла в жидкое состояние. Давление сминает

неровности на поверхности металла и увеличивает площадь действительного соприкосновения соединяемых частей. Оно разрушает поверхностный слой и раздробляет пленку окислов и загрязнений на поверхности металла, текстурирует металл, может вызывать рекристаллизацию в зоне сварки, ведущую к образованию новых кристаллов и изменению структуры.

Пластическая деформация металла, вызываемая давлением, обычно определяет собой результат сварки. При отсутствии условий для необходимой деформации даже очень большие удельные давления не создают прочного сварного соединения. В процессе пластической деформации металл течет и по своим свойствам уподобляется жидкости; разрушается поверхностный слой, из зоны сварки удаляются поверхностные окислы и загрязнения, нижележащие слои входят в соприкосновение со свежесформированной «ювенильной» поверхностью, происходит тесное соприкосновение и перемешивание атомов соединяемых частей. Чем больше соответственно направленная пластическая деформация, тем совершеннее и монолитнее возникающее сварное соединение.

Процесс пластической деформации металла при сварке называется осадкой, а давление, производящее осадку, — осадочным. Для процесса сварки обычно наиболее важна величина пластической деформации, которая и служит основной характеристикой процесса; осадочное давление, необходимое для осуществления заданной деформации, является менее определенной величиной, которая может значительно изменяться при небольших отклонениях в составе, структуре и свойствах металла и его температуры.

Перспективным и уже получающим применение является приложение переменного вибрационного осадочного давления с различной частотой колебаний, вплоть до ультразвуковых.

В большинстве случаев осадочное давление применяется совместно с нагревом металла, причем величина необходимого давления в значительной степени зависит от температуры нагрева. Здесь возможны самые различные соотношения: от полного отсутствия нагрева и выполнения сварки за счет одного давления (холодная сварка) до полного расплавления металла при нагреве, делающего ненужным приложение давления (различные виды сварки плавлением).

Промежуточные соотношения между температурой нагрева и удельным осадочным давлением используются в различных способах сварки металлов давлением с нагревом.

Давление, вызывающее пластическую деформацию, является важным средством устранения поверхностных загрязнений металла. При сварке с оплавлением загрязнения всплывают на поверхность ванны. Для улучшения очистки поверхности металла от загрязнений и защиты металла от окисления в процессе сварки довольно часто применяются флюсы, растворяющие окислы или переводящие их в легкоплавкие соединения. Роль флюсов особенно велика при пайке, которую можно рассматривать как один из видов сварки.

Жидкая фаза играет большую роль во многих процессах сварки. Жидкость отличается от твердого тела в первую очередь отсутствием длительного сопротивления сдвигу. Поэтому жидкость способна растекаться по поверхности твердого тела, и если она смачивает его, то по всей этой поверхности происходит соприкосновение и взаимодействие молекул жидкости и молекул поверхностного слоя твердого тела и прилипание или адгезия жидкости к твердому телу.

Тонкая пленка жидкости между соединяемыми твердыми телами может создавать прочное соединение, так как в тонкой прослойке жидкости затруднен сдвиг, а растяжению жидкости могут оказывать сопротивление уже порядка, что и твердые тела. Давно известны опыты с применением точно доведенных плоскопараллельных концевых мер длины (плиток), которые при чистой сухой поверхности прилипают очень слабо и легко разъединяются. Достаточно следов жидкости (воды, масла), чтобы вызвать прочное соединение. Если введенная в зазор между твердыми телами жидкость затем затвердевает вследствие охлаждения, испарения растворителя, полимеризации и других физико-химических процессов, то таким путем может быть получено длительное прочное соединение даже при полном отсутствии диффузии и взаимного растворения жидкости и твердого тела, как, например, при многих случаях склеивания. При этом наблю-

дается повышение прочности клееного соединения с уменьшением толщины слоя клея.

Типичным примером соединения исключительно за счет адгезии может служить склеивание металлов органическими клеями; здесь взаимная диффузия и растворение полностью отсутствуют, несмотря на это в некоторых случаях получается соединение, по прочности не уступающее сварке и пайке, например, для алюминия. Дальнейшая разработка новых органических клеев и методов склеивания, интенсивно ведущаяся в настоящее время, может дать еще более прочные клееные соединения металлов.

Для получения прочного соединения достаточно бывает лишь соприкосновения соединяемых поверхностей, что хорошо проявляется в таких процессах как склеивание и холодная сварка металлов, когда слой, в котором происходит соприкосновение атомов соединяемых частей, весьма тонок. Но надежность и прочность соединения возрастают, если зона соединения расширяется и приобретает объемный характер.

К процессам, расширяющим объем зоны сварки, можно отнести растворение, диффузию, кристаллизацию. Эти процессы протекают во времени, и ход их в значительной степени зависит от температуры, с возрастанием которой взаимная растворимость и диффузия металлов обычно повышаются. Особенно большую роль играет растворимость при пайке. Образование сплава в зоне сварки расширяет объем зоны и повышает надежность сварного соединения. Отрицательное влияние взаимного растворения может наблюдаться при образовании хрупких интерметаллических соединений, например при сварке меди с алюминием, где образование хрупкого интерметаллического соединения Cu_2Al часто создает значительные затруднения для получения прочной сварки.

В процессе растворения при сварке могут образовываться эвтектики с температурой плавления ниже, чем у каждого из соединяемых металлов, которые могут, находясь в отдельности в твердом состоянии, давать жидкую эвтектику.

Диффузия в твердых металлах обычно протекает довольно медленно, но с повышением температуры коэффициент диффузии растет очень быстро; поэтому при сварке несмотря на кратковременность процесса, диффузия может иметь существенное значение. В металлах диффузия может протекать как в объеме отдельного зерна — кристаллита (объемная диффузия), так и по границам между зерен (поверхностная диффузия). Очень часто поверхностная диффузия по границам зерен протекает во много раз быстрее объемной диффузии, и в этом случае поверхностная диффузия при сварке проявляется наиболее заметно.

При неравномерном нагреве металла большинство составляющих его компонентов и примесей диффундирует в направлении градиента температуры против теплового потока, т. е. от менее нагретых к более нагретым местам. Это можно проследить, например, на углероде, концентрация которого у сварного шва заметно повышается по сравнению с остальной массой металла.

Диффузия может значительно расширять зону сварки и повышать надежность сварного соединения.

Она может быть использована для улучшения паяных и сварных соединений. Например, соединение, выполненное холодной сваркой, может быть заметно улучшено длительным нагревом до температур, обеспечивающих значительную скорость диффузии.

В последнее время предложен способ сварки, состоящий в длительном нагреве плотно сжатых частей с хорошо зачищенными соединяемыми поверхностями.

В создании сварного соединения значительное место занимают процессы кристаллизации. Для сварки, осуществляемой в твердом состоянии, рекристаллизация вызывается значительной пластической деформацией и нагревом с последующим охлаждением. Вновь образующиеся кристаллы в процессе роста могут переходить ранее существовавшую поверхность раздела, физически уничтожая ее и образуя монолитный сплошной металл.

Еще более важна кристаллизация для сварки плавлением. Образование и рост кристаллов в сварочной ванне начинается с нерасплавленной поверхности основного металла, и кристаллизация ванны начинается как рост пограничных кристаллов основного металла в направлении градиента температуры. Если

росту кристаллов ничто не мешает, то они имеют тенденцию приобретать столбчатую форму и значительные размеры, образуя шестоватую или грубо дендритную структуру.

Дендриты, растущие от противоположных сторон сварного шва навстречу друг другу, могут встречаться в средней части сечения шва (транскристаллизация), что может создать здесь ослабленную зону, уменьшающую прочность сварного соединения. Ослабленная зона может образоваться из-за плохого срастания концов дендритов, растущих в противоположных направлениях, скопления загрязнений, все время оттесняемых к концу дендрита по мере его роста, и из-за часто наблюдаемого в ослабленной зоне образования пустот, усадочных раковин и горячих трещин.

Ослабленная зона может быть уменьшена или совсем устранена целесообразным выбором формы поперечного сечения сварного шва. Важной задачей является измельчение структуры наплавленного металла с заменой крупных вытянутых дендритов мелкими, приблизительно равноосными зернами металла.

Обычные методы улучшения структуры металла — термическая и механическая обработка — во многих случаях не могут быть применены к сварным изделиям из-за сложности, высокой стоимости и т. д. Поэтому для сварки плавлением очень важную роль играет модификация наплавленного металла различными присадками, вводимыми в сварочную ванну и создающими новые центры кристаллизации, что позволяет устранить крупные дендриты, транскристаллизацию и образование зоны слабину.

На процесс кристаллизации можно также воздействовать через тепловой режим сварки. Ускорение процесса сварки и сокращение времени выдержки металла при высоких температурах измельчает структуру. Значительное улучшение структуры при сварке плавлением часто может быть получено выполнением сварки в несколько слоев за несколько проходов. Каждый последующий слой улучшает и измельчает структуру нижележащего слоя.

КЛАССИФИКАЦИЯ СПОСОБОВ СВАРКИ

В основу классификации существующих видов и способов сварки могут быть положены различные признаки, из которых важнейшими надо считать: состояние металла в сварочной зоне в момент сварки и вид энергии, используемой для нагрева металла.

Классификация способов сварки по состоянию металла в сварочной зоне

В момент сварки металл в сварочной зоне может быть твердым или жидким. Твердое состояние металла, хотя бы и размягченного нагревом, требует приложения осадочного давления, создающего достаточную пластическую деформацию, необходимую для осуществления процесса сварки. Полное расплавление с переводом металла в жидкое состояние позволяет получить сварное соединение без приложения осадочного давления за счет спонтанного слияния объемов жидкого металла.

Указанный признак позволяет довольно четко разделить все существующие способы сварки металлов на две больших группы: 1) сварка давлением или прессовая сварка и 2) сварка плавлением. Каждая группа может быть разделена на подгруппы (фиг. 1).

Сварка давлением или прессовая сварка может быть разделена на три подгруппы.

1. Холодная сварка производится без нагрева или с незначительным нагревом до температуры, мало изменяющей механические свойства металла. Ввиду отсутствия или незначительности нагрева для выполнения сварки требуется высокое осадочное давление, обычно в несколько раз превышающее предел текучести и даже предел прочности металла при комнатной температуре.

2. Сварка с нагревом без оплавления производится при высоких температурах, размягчающих металл и переводящих его в пластическое

состояние с почти полной потерей упругих свойств, с резким снижением пределов текучести и прочности. Значительный нагрев, сильно снижающий предел текучести, позволяет получить необходимую для сварки деформацию при небольшом удельном осадочном давлении, которое обычно в несколько раз меньше предела текучести металла при комнатной температуре. Между подгруппами 1 и 2 возможны различные переходы и вариации соотношений температуры нагрева и величины необходимого удельного давления осадки.

3. Сварка с нагревом и оплавлением отличается столь интенсивным нагревом, что металл по поверхности сварки оплавляется, переходя в тонком слое в жидкое состояние. Слой расплавленного металла незначителен и удерживается на поверхности сварки поверхностным натяжением. При осадке весь жидкий металл выдавливается из зоны сварки наружу, переходя в грат, а сварное соединение образуется за счет нижележащих разогретых, но не расплавленных слоев металла. Металлографическим исследованием литой металл в сварном соединении, как правило, не обнаруживается.

Удельное осадочное давление имеет, примерно, ту же величину, что и при сварке с нагревом без оплавления.

По наличию поверхностного расплавления металла указанный способ представляет переход к сварке плавлением, отличаясь от нее применением осадочного давления.

Сварка давлением сравнительно мало меняет химический состав, структуру и свойства металла; поэтому в ряде случаев может быть достигнуто полное тождество сварного соединения с основным металлом без дополнительной обработки после сварки.

Свариваемые поверхности металла обычно должны предварительно обрабатываться и тщательно очищаться, так как удаление окислов и других поверхностных загрязнений при сварке давлением довольно затруднительно.

Для сварки плавлением характерно прежде всего расплавление металла, образующего в зоне сварки литую структуру, и отсутствие осадочного давления, вызывающего пластическую деформацию.

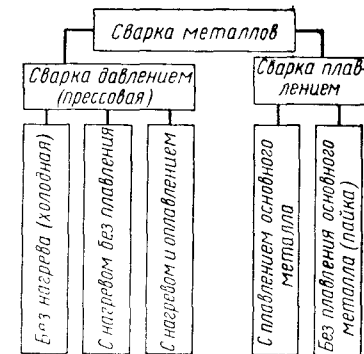
Сварка плавлением может быть разделена на две подгруппы (фиг. 1):

1. С плавлением основного металла, или собственно сварка плавлением.

2. Без плавления основного металла или пайка, которую целесообразно рассматривать как разновидность сварки плавлением. При пайке плавится более легкоплавкий присадочный металл (припой), основной же металл не расплавляется. Жидкий припой смачивает поверхность основного металла, при этом обычно происходит взаимное растворение и диффузия основного металла и припоя, что увеличивает прочность соединения.

Граница между сваркой плавлением и пайкой, очень четкая для таких случаев, как сварка стали и пайка ее оловянистым припоем, нередко совершенно стирается. Примером может служить пайка медных сплавов медными же припоями или сварка стали с медью на таком режиме, при котором плавится лишь медь, а сталь остается в твердом состоянии.

При сварке плавлением химический состав и структура металла в месте сварки значительно изменяются; присадочный металл часто существенно отличается от основного металла. Поэтому сварное соединение как правило, отличается от основного металла составом, структурой и механическими свойствами. Это различие может быть уменьшено термической и механической обработкой сварного соединения после сварки.



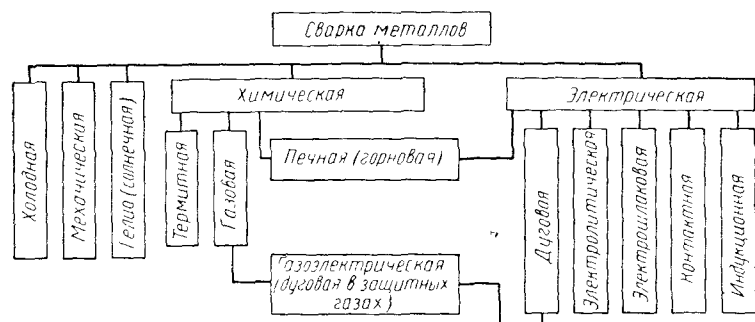
Фиг. 1. Классификация способов сварки по состоянию металла в сварочной зоне

Сварка плавлением менее чувствительна к загрязнениям поверхности металла, так как, расплавляясь вместе с металлом, они всплывают на поверхность сварочной ванны и, таким образом, уходят из объема наплавленного металла.

Приведенная классификация базируется на физических явлениях, лежащих в основе процесса сварки, и является достаточно обоснованной. Недостатком ее является трудность дальнейшей детализации и четкой группировки всех разнообразных способов, используемых современной сварочной техникой.

Классификация способов сварки по виду энергии для нагрева металла

Практически более удобной и лучше охватывающей разнообразные способы сварки является классификация, основанная на видах энергии, используемой в процессе сварки для нагрева металла. Схема такой классификации изображена на фиг. 2.



Фиг. 2. Классификация способов сварки по виду энергии для нагрева металла.

По этому признаку можно наметить следующие виды сварки

Холодная сварка. осуществляемая без подогрева или с небольшим подогревом за счет пластической деформации, создаваемой значительным удельным осадочным давлением.

В последние годы холодной сварке уделяется серьезное внимание, и она нашла уже практическое применение главным образом в электромонтажных работах для соединения алюминиевых и медных проводов и шин. В зависимости от технологических приемов и формы сварных соединений холодная сварка разделяется на несколько разновидностей.

Механическая сварка, получающая все более широкое применение, характеризуется использованием механической работы для образования тепла в зоне сварки. Разогрев осуществляется трением между вращающейся деталью и прижатой к ней второй деталью

Гелио- или солнечная сварка основана на использовании световой энергии солнца для нагрева соединяемых деталей. Световой поток концентрируется системой вогнутых зеркал в небольшом объеме и разогревает зону сварки соединяемых деталей до сварочного жара или до плавления. Опыты показали осуществимость гелиосварки небольших по размерам деталей. Практическое значение гелиосварки, очевидно, мало, и если она и сможет применяться, то лишь в исключительных случаях, например в условиях Средней Азии.

В современной сварочной технике наибольшее распространение имеют два вида сварки: химическая и электрическая.

При химических видах сварки тепло для нагрева зоны сварки выделяется за счет экзотермических химических реакций горения.

Печная или горновая сварка характеризуется тем, что металл нагревается в печи или горне лишь до «сварочного жара» (без расплавления) для снижения твердости и упругости и затем подвергается осадочному давлению путем проковки (кузнечная сварка) прессования (прессовая сварка) или прокатки (изготовление многослойных листов).

Нагрев в печах может быть использован и для сварки плавлением. Расплавленным и по возможности перегретым присадочным металлом заливают подготовленные, заформованные и иногда предварительно подогретые детали, подлежащие сварке. Развитая литниковая система и достаточное количество расплавленного металла позволяют оплавить кромки свариваемых деталей и получить хорошее сплавление присадочного металла с основным, с образованием прочного монолитного соединения. Данный способ применяется для сварки цветных металлов, а также для заварки чугуна при ремонтных работах.

Нагрев в печах и горнах широко применяется для пайки. Обычно изделия загружаются в печь с заранее заложенным в местах соединения припоём. Особенно распространена пайка в печах твердыми припоями. Детали могут подаваться конвейерами, обеспечивающими высокую производительность, при одновременном высоком качестве пайки, например при пайке медью в атмосфере водорода. В настоящее время печи для сварки все чаще обогреваются электрической энергией, как более дешевой, что не меняет сущности процессов сварки, но источником энергии для нагрева является уже не химическая реакция горения, а электрический ток (фиг. 2).

Газовая сварка занимает важное место среди химических способов сварки. Нагрев металла при газовой сварке производится пламенем газа, сжигаемого в специальных сварочных горелках. В качестве горючего применяются самые разнообразные газы (водород, метан, ацетилен, пропан-бутановая смесь, водяной и коксовый газы и т. п.) и жидкости (бензол, бензин, керосин и т. п.). Жидкие горючие предварительно испаряются или распыляются и в таком виде поступают на выход горелки.

Газовая сварка может выполняться как прессовая с приложением осадочного давления (газопрессовая сварка). Она применяется при сварке трубопроводов, рельсов и других деталей крупного сечения.

Большое практическое значение имеет газовая сварка, выполняемая с расплавлением основного металла без приложения осадочного давления. Работы, выполняемые газовой сваркой, разнообразны: сварка различных сталей, в особенности малых толщин от 0,5 до 5 мм, сварка чугуна цветных металлов, наплавка литых твердых сплавов и пр.

Газовое пламя широко применяется также для пайки и других процессов газопламенной обработки (газохлоридная резка, поверхностная термообработка, газовая металлизация, покрытие пластмассами и т. д.).

В термитной сварке для нагрева используются порошкообразные или зернистые горючие смеси.

Термит состоит из зерен металла с большой теплотой окисления и окислов другого металла с малой теплотой окисления. Наиболее известен алюминиевый термит, представляющий собой смесь зерен металлического алюминия и железной окалины Fe_3O_4 , а также магниевый и другие термиты. В сварочной технике термиты применяются для сварки стыков рельсов, в особенности трамвайных, стальных телеграфных и телефонных проводов и т. п.

Электрическая сварка, при которой нагрев производится электрическим током, относится к наиболее распространенным способам сварки.

Электрический нагрев обладает рядом преимуществ: он легко регулируется, позволяет получать весьма высокие температуры, не изменяет химического состава нагреваемого металла и в большинстве случаев является самым дешевым.

Из многочисленных видов электрической сварки в первую очередь можно упомянуть дуговую сварку, где источником тепла служит дуговой разряд.

Формы дуговой сварки разнообразны: здесь используются плавкие и неплавкие электроды, прямое и косвенное тепловое действие дуги. Дуга может применяться открытая, защищенная и, наконец, погруженная, например, в зернистый флюс. Для питания дуги может применяться как постоянный, так и переменный ток одно- и многофазный, нормальной промышленной частоты 50 гц, повышенной и высокой частоты; может применяться и комбинированное питание одновременно различными видами тока.

В дугу могут вдуваться защитные газы, отсасывающие из зоны сварки атмосферный воздух, оказывающий вредное влияние на металл сварочной ванны.

Дуговая сварка в защитных газах или газозлектрическая сварка быстро развивается и получает широкое промышленное применение.

Вследствие разнообразия технологических процессов газозлектрическая сварка приближается то к обычной дуговой сварке плавким или неплавким электродом, то к газовой сварке. Поэтому ее целесообразно рассматривать как промежуточную между газовой и дуговой сваркой (см. фиг. 2).

Дуговая сварка является пока единственным практически пригодным методом для сварки металлов под водой.

По объему промышленного применения, по числу действующих установок и количеству занятых рабочих, по объему и стоимости производимой продукции дуговая сварка занимает первое место среди других видов сварки.

Дуговая сварка в значительной мере механизирована и автоматизирована и отличается высокой универсальностью, охватывая самые разнообразные виды работ и изделий из всевозможных металлов.

Электролитический и электрошлаковый способы сварки по физическим основам примыкают к дуговой сварке. Электролитическая сварка в настоящее время почти не применяется.

Электрошлаковая сварка во многом сходна с автоматической дуговой сваркой под флюсом. Но основным источником тепла служит расплавленный шлак, разогретый сварочным током, проходящим от электрода к изделию. Этот способ уже нашел значительное практическое применение в тяжелом машиностроении при сварке металлов очень большой, практически неограниченной толщины за один проход.

При контактной сварке или сварке сопротивлением металл нагревается проходящим по нему электрическим током; при этом значительное влияние на процесс сварки имеет сопротивление контакта между соединяемыми деталями. Контактная сварка почти всегда выполняется как сварка давлением с осадкой разогретых деталей. Нередко осадка сочетается с полным расплавлением основного металла, и зона сварки имеет структуру литого металла, например при точечной контактной сварке.

Виды контактной сварки разнообразны и различаются формой получаемого сварного соединения; основными являются стыковая, точечная и роликовая контактная сварка. Сварочный ток может быть постоянным или переменным, нормальной, пониженной или повышенной частоты.

Отдельную группу составляют способы контактной сварки, основанные на использовании аккумулированной электрической энергии.

Характерным для контактной сварки является быстрота процесса, высокая степень механизации и автоматизации.

Основная область применения контактной сварки — серийное и массовое производство однотипных изделий.

Самостоятельным и перспективным видом электрической сварки является индукционная сварка. При этом виде сварки деталь помещается в электромагнитное поле катушки-индуктора, питаемого переменным током повышенной частоты. В массе металла детали индуктируются вторичные переменные токи той же частоты, распределяющиеся в поверхностном слое металла. Чем выше частота тока, тем тоньше нагреваемый слой металла. Нагрев может вестись до «сварочного жара» с последующей осадкой нагретых деталей или до расплавления. Хорошие результаты дает индукционный нагрев при пайке, а также при наплавке зернистых твердых сплавов. Имеются все основания ожидать дальнейшего развития этого вида сварки.

В приведенной классификации не отражены некоторые новые, предложенные в последнее время, способы сварки такие как ультразвуковая, сварка электронным пучком, плазменной струей, диффузионная сварка. Эти новые способы сварки в настоящее время интенсивно исследуются и начинают применяться для практических целей. Однако объем и области их рационального применения в настоящее время еще недостаточно выяснены.

Более подробные сведения по отдельным видам сварки приведены в соответствующих разделах справочника

ГЛАВА II

РАСЧЕТЫ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ СВАРКЕ

ВВЕДЕНИЕ

Сварочные процессы в металле в большинстве случаев протекают при быстром изменении температуры в пределах от температуры окружающего воздуха иногда до температуры испарения металла. В этом весьма широком температурном промежутке развиваются разнообразные физические и химические процессы — плавление основного и присадочного металлов, металлургические реакции в жидкой ванне, кристаллизация расплавленного металла, структурные и объемные изменения в металле шва и в основном металле, процессы местного пластического деформирования. Для управления сварочными процессами необходимо знать, как влияют на них все определяющие параметры, в том числе изменение температуры металла во времени.

Процессы нагревания и охлаждения металла при сварке и местной термической обработке определяются воздействием высококонцентрированных источников теплоты и условиями отвода теплоты от областей действия источников. Электрическая дуга, газовое пламя, электрический ток, вводимый через контактный участок поверхности изделия, и трение на контактом участке являются местными источниками; выделяемая ими теплота весьма неравномерно распределена по поверхности или объему металла. Источники теплоты, применяемые для сварки, характеризуются эффективной тепловой мощностью, т. е. количеством теплоты, вводимым в металл за единицу времени, и распределением выделяемой теплоты по поверхности или объему изделия.

НАГРЕВ МЕТАЛЛА СВАРОЧНОЙ ДУГОЙ

Тепловые характеристики сварочной дуги. Полную тепловую мощность дуги приближенно считают равной тепловому эквиваленту ее электрической мощности ($0,24 UI$ кал/сек, где U — падение напряжения на дуге в в; I — ток в а), хотя химические реакции в дуговом промежутке могут несколько изменять тепловой баланс дуги.

Эффективная тепловая мощность дуги q есть количество теплоты, введенное за единицу времени в металл изделия и затраченное на его нагрев.

$$q = 0,24\eta_a UI. \quad (1)$$

Здесь η_a — эффективный к. п. д. процесса нагрева, представляющий отношение количества теплоты, введенного дугой в изделие, к тепловому эквиваленту электрической мощности дуги. Этот коэффициент характеризует эффективность процесса выделения теплоты и теплообмена в дуговом промежутке и зависит от технологических условий сварки.

Сравнение изменения теплосодержания свариваемого металла, измеренного в водяном калориметре, с расходом электроэнергии в цепи сварочного тока показало, что при сварке открытой дугой металлургическими электродами коэффициент η_a изменяется от 70 до 85% при сварке под флюсом — от 80 до 95%, а при сварке угольными электродами — от 50 до 75%. Он падает с удлинением дуги

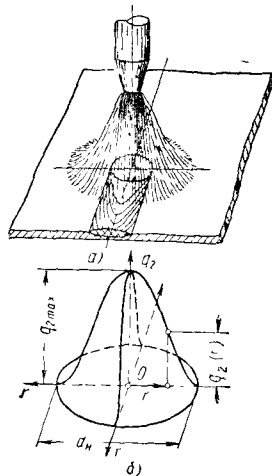
и несколько возрастает с углублением дуги в ванну. При металлических электродах η_d мало зависит от рода, полярности и величины сварочного тока.

Тепловой поток сварочной дуги наиболее интенсивен в центральной части пятна нагрева, где происходит непосредственное выделение теплоты в поверхностных слоях металла вследствие электронной и ионной бомбардировки. В области, прилегающей к электрически активному пятну, металл нагревается преимущественно за счет лучистого теплообмена со столбом дуги и конвективного теплообмена с горячими газами факела дуги. По мере удаления от центра пятна интенсивность теплового потока убывает. Распределение удельного теплового потока q_2 в кал/см²·сек по радиусу пятна приближенно описывают нормальным законом распределения вероятности Гаусса (фиг. 1).

$$q_2(r) = q_{2\max} e^{-kr^2}, \quad (2)$$

где $q_{2\max}$ — наибольший удельный тепловой поток в центре пятна; k — коэффициент сосредоточенности удельного теплового потока дуги в см⁻²; r — расстояние от оси источника в см.

С повышением тока при постоянном напряжении дуги $q_{2\max}$ увеличивается. С повышением напряжения, т. е. с удлинением дуги, при неизмен-



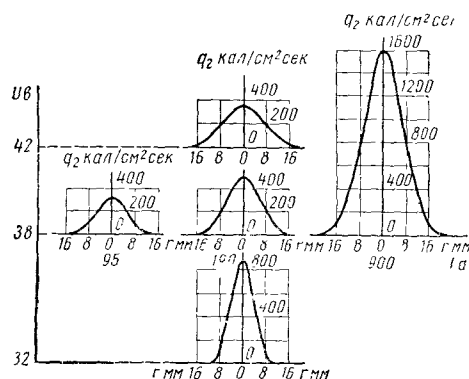
Фиг. 1. Схема сварочной дуги как источника теплоты: а — столб и пламя дуги; б — схема распределения теплового потока дуги (нормально-круговой источник).

ном токе $q_{2\max}$ уменьшается, и распределение удельного теплового потока становится менее сосредоточенным (фиг. 2). Тепловой поток электрической дуги под флюсом значительно более сосредоточен, чем тепловой поток открытой угольной или металлической дуги (фиг. 3). Удельный тепловой поток газового пламени при одинаковой полной эффективности мощности распределен по значительно большей площади и отличается гораздо меньшей величиной в центре пятна (фиг. 3 и 14, б).

Процессы распространения теплоты.

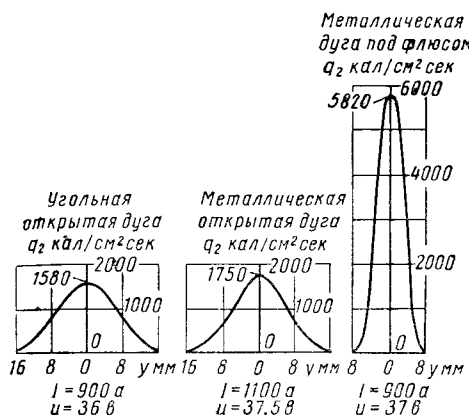
Теплота местного поверхностного или объемного источника, сосредоточенного на небольшом участке поверхности или в малом объеме изделия, сравнительно быстро нагревает металл до высокой температуры. Вследствие теплопроводности металла и теплообмена на поверхности теплота отводится от области приложения источника; этим замедляется местный нагрев до заданной температуры и снижается его эффективность.

Располагая характеристиками источников теплоты — эффективной мощностью и ее распределением по поверхности или объему изделия, можно рассчитать процесс распространения теплоты в металле. Принцип местного влияния

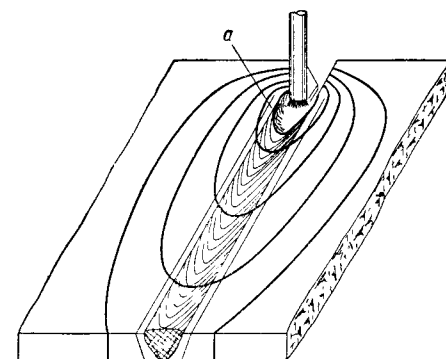


Фиг. 2. Влияние тока и напряжения открытой угольной дуги на распределение теплового потока q_2 по пятну нагрева.

теории теплопроводности устанавливает, что характер распределения теплоты местного источника оказывает существенное влияние на температурное поле только в области, близкой к источнику (зона а на фиг. 4). Поэтому температурные поля в изделии в области, удаленной от дуги, можно описывать с достаточной точностью, схематизируя характер распределения теплового потока дуги. Наиболее просто считать, что теплота источника сосредоточена в элементарном объеме: в точке, по отрезку прямой или по участку плоскости, в соответствии с формой теплопроводящего тела. При более точных расчетах температуры в области, близкой к дуге, следует учитывать распределенность удельного теплового



Фиг. 3. Распределение удельного теплового потока q_2 по пятну нагрева открытой угольной дуги, открытой металлической и металлической дуги под флюсом.



Фиг. 4. Схема нагрева металла при токе q_2 по пятну нагрева открытой угольной дуги, открытой металлической и металлической дуги под флюсом.

потока дуги, описываемую нормальным законом (2), и ее углубление в ванну расплавленного металла [6].

Коэффициенты теплофизических свойств металла изделия, осредненные в расчетном промежутке температур, обозначены (см. приложение 2).

λ — коэффициент теплопроводности в кал/см·сек °C;

$c \gamma$ — объемная теплоемкость в кал/см³ °C;

$a = \lambda / c \gamma$ — коэффициент температуропроводности в см²/сек.

Поверхностный теплообмен изделия с окружающим воздухом характеризуется коэффициентом теплоотдачи α в кал/см²·сек °C.

Процесс распространения теплоты при сварке можно разделить на три стадии:

а) теплонасыщение, когда температуры в поле, перемещающемся вместе с источником теплоты, продолжают нарастать;

б) предельное квазистационарное состояние, когда подвижное поле практически устанавливается;

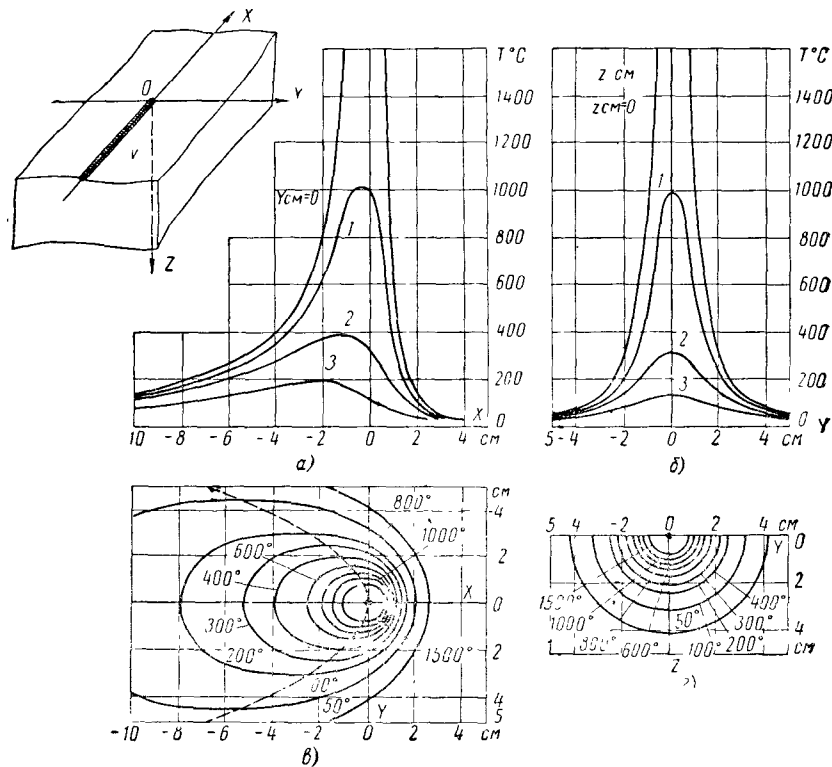
в) выравнивание температуры по окончанию сварки.

Наплавка дугой валика на массивное изделие описывается схемой точечного источника теплоты q кал/сек постоянной мощности, равномерно и прямолинейно перемещающегося по поверхности полубесконечного тела со скоростью v см/сек (фиг. 5). Температура предельного состояния процесса, отнесенная к подвижным координатам XYZ , связанным с источником O , выражается соотношением

$$T(R, x) = \frac{q}{2\pi\lambda R} \exp\left[-\frac{v}{2a}(x + R)\right], \quad (3)$$

где $R^2 = x^2 + y^2 + z^2$.

Изотермические поверхности вращения вокруг оси перемещения значительно сужены впереди источника и разрезаны в области, пройденной источником. С приближением к точечному источнику расчетная температура неограниченно возрастает.



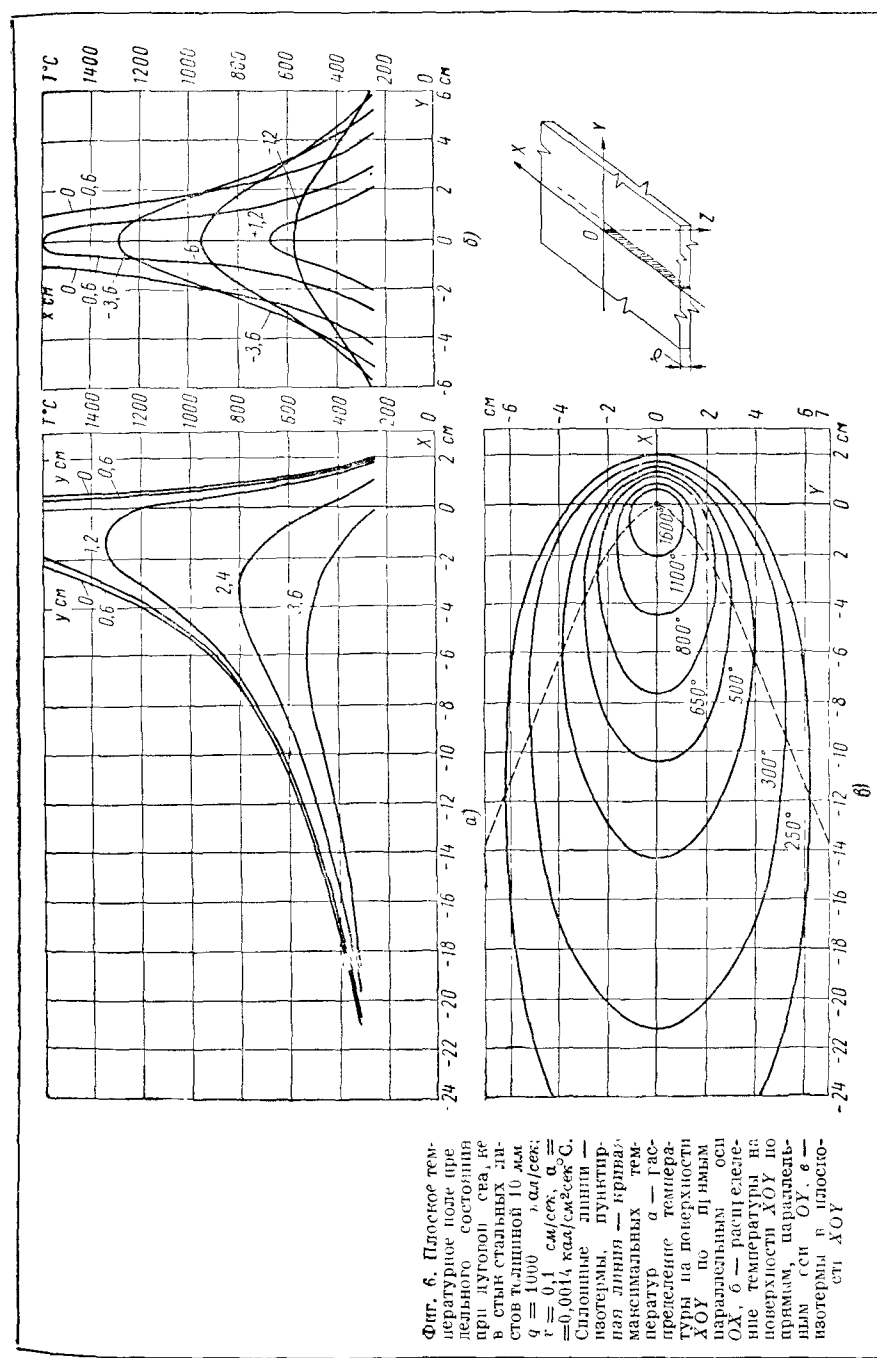
Фиг. 5. Пространственное температурное поле предельного состояния при дуговой наплавке валика на массивное стальное изделие: $q = 1000 \text{ кал/сек}$, $v = 0,1 \text{ см/сек}$. Сплошные линии — изотермы; пунктирная линия — кривая максимальных температур, а — распределение температуры на поверхности XOY по прямому, параллельному оси OX, б — распределение температуры в плоскости YOZ; в и г — изотермы в плоскостях XOY и YOZ.

Дуговая сварка листов в стык (однопроходная) описывается схемой перемещения линейного источника теплоты по бесконечной пластине с теплоотдачей на поверхности и с полным выравниванием температуры по толщине $\delta \text{ см}$. Температура предельного состояния процесса, отнесенная к подвижным координатам, выражается соотношением

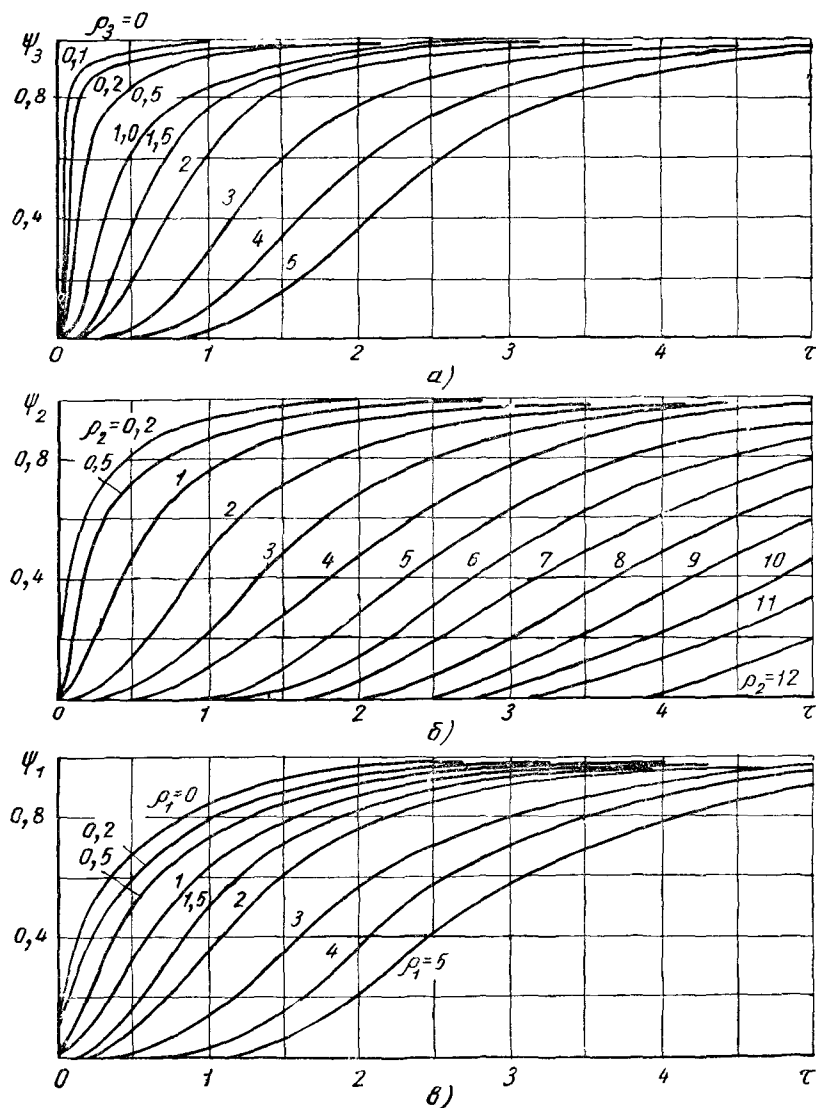
$$T(v, x) = \frac{q}{2\pi\lambda\delta} \exp\left(-\frac{vx}{2a}\right) K_0\left(v \frac{vr}{2a}\right), \quad (4)$$

где $v^2 = 1 + \frac{8\lambda a}{(vc)^2 \delta}$ — критерий влияния теплоотдачи; $r^2 = x^2 + y^2$, $K_0(u)$ — функция Бесселя от мнимого аргумента второго рода нулевого порядка (см. приложение 1).

Теплота в листе менее сконцентрирована у дуги по сравнению с теплотой в массивном теле (фиг. 6).



Фиг. 6. Плоское температурное поле предельного состояния при дуговой сварке в стык стальных листов толщиной 10 мм : $q = 1000 \text{ кал/сек}$, $v = 0,1 \text{ см/сек}$, $a = 0,0014 \text{ кал/см}^2\text{сек}^2$. Сплошные линии — изотермы, пунктирная линия — кривая максимальных температур, а — распределение температуры на поверхности XOY по прямому, параллельному оси OX, б — распределение температуры на поверхности YOZ по прямому, параллельному оси OY, в и г — изотермы в плоскостях XOY и YOZ.

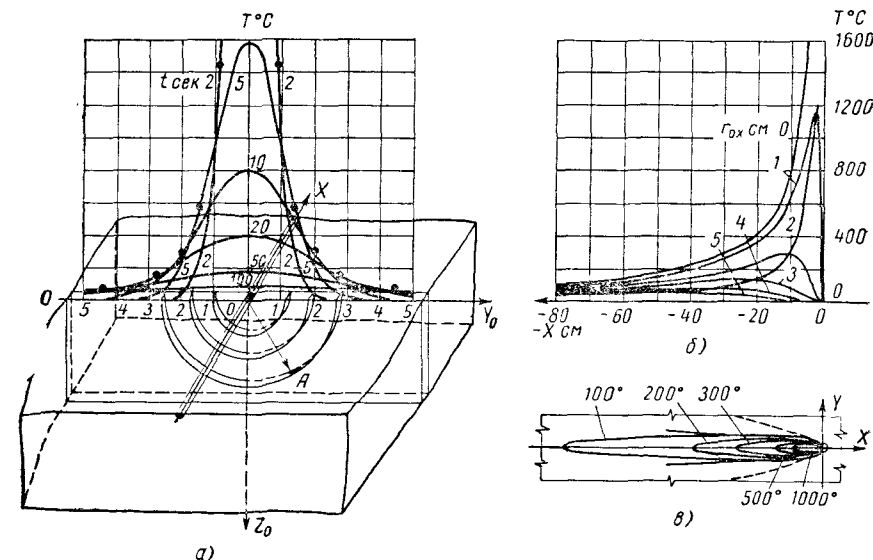


Фиг. 7. Коэффициент теплонасыщения в зависимости от времени: а—для точечного источника в полубесконечном теле; б—для линейного источника в пластине с теплоотдачей $(q_2 = v \frac{v\tau}{2a}; \tau = v^2 \frac{v^2 t}{4a})$; в—для плоского источника в стержне с теплоотдачей $(q_1 = v \frac{v|\lambda|}{2a}; \tau = v^2 \frac{v^2 t}{4a})$.

Температуру $T(t)$ данной точки подвижного поля в процессе теплонасыщения можно представить как произведение температуры $T(\infty)$ той же точки в предельном состоянии на коэффициент теплонасыщения $\psi(t)$, зависящий от времени (фиг. 7).

$$T(t) = \psi(t) T(\infty). \quad (5)$$

Процесс выравнивания температуры после прекращения в момент t_0 действия источника теплоты постоянной мощности q получается наложением двух процессов: процесса теплонасыщения $T(t)$ продолжающего действовать источника и процесса теплонасыщения $T(t - t_0)$ равного ему стока теплоты q .



Фиг. 8. Процесс распространения теплоты мощной быстро движущейся дуги в массивном стальном изделии; $q = 5000$ ккал/сек; $v = 1$ см/сек; а — изохроны температуры по оси OY_0 ; б — распределение температуры по осям, параллельным оси перемещения источника; в — изотермы на поверхности изделия.

начавшего действовать в момент t_0 , когда действие реального источника прекратилось.

$$T(t)|_{t > t_0} = T(t) - T(t - t_0). \quad (6)$$

Быстродвижущиеся источники. Температура предельного состояния при действии мощных дуг, движущихся с большой скоростью (например при автоматической сварке под флюсом и в газах), выражается упрощенными формулами:

при наплавке валика на массивное изделие

$$T(t, y_0, z_0) = \frac{q}{2\pi\lambda vt} \exp\left(-\frac{y_0^2 + z_0^2}{4at}\right); \quad (7)$$

при сварке листов в стык

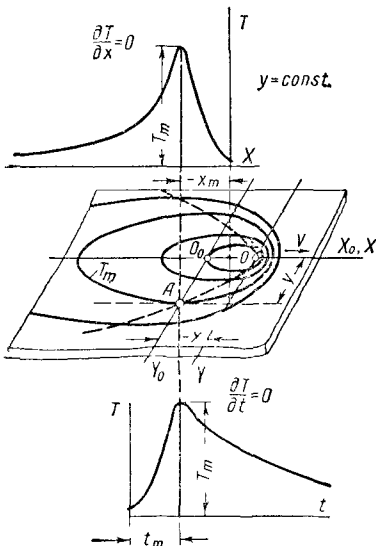
$$T(t, y_0) = \frac{q}{v\delta\sqrt{4\pi\lambda c\gamma t}} \exp\left(-\frac{2at}{c\gamma\delta} - \frac{y_0^2}{4at}\right). \quad (8)$$

Здесь $t = -\frac{x}{v}$ — время, прошедшее после пересечения дугой плоскости YOZ_0 , в которой расположена рассматриваемая точка поля А (фиг. 8). Эти.

выражения, отнесенные к неподвижным прямоугольным координатам $X_0Y_0Z_0$, весьма просты и удобны для выкладок и анализа.

Теплота, введенная мощным источником, быстро движущимся по оси OX , распространяется преимущественно по направлениям, перпендикулярным к этой оси (фиг. 8, а).

В области, прилегающей позади дуги к шву или валику, выражения (7) и (8) для быстро движущихся источников описывают также с достаточной точностью и процесс распространения теплоты дуги, перемещающейся с произвольной конечной скоростью. Лишь в области впереди пунктирной кривой на фиг. 8, а ошибка при расчете температуры по выражению (7) превышает 1%.



Фиг. 9. Схема изменения температуры в точке А свариваемого изделия при перемещении связанного с источником температурного поля.

Максимальные температуры. В процессе распространения по металлу теплоты сварочной дуги температура отдельных точек повышается, достигает максимума T_m и затем падает, стремясь к средней температуре изделия; изменение температуры $T(t)$ в точке А можно рассматривать как результат перемещения по изделию со скоростью v связанного с дугой температурного поля $T(x)$ (фиг. 9). Точки, мгновенные температуры которых достигают максимума, лежат на поверхности, определяемой из условия равенства нулю градиента поля в направлении перемещения, т. е. $\frac{dT}{dx} = 0$.

Поверхность максимальных температур в поле (7) предельного состояния при наплавке валика на массивное изделие мощной быстро движущейся дугой описывается уравнением

$$\frac{r_{0x}^2}{4at_m} = 1. \quad (9)$$

Здесь $r_{0x}^2 = y^2 + z^2$; $t_m = -\frac{x_m}{v}$ — время достижения максимальной температуры в рассматриваемой точке.

Поверхность максимальных температур в поле (8) предельного состояния при сварке тонких листов в стык мощной быстро движущейся дугой выражается уравнением

$$\frac{y_0^2}{4at_m} = \frac{1}{2} + \frac{2a}{c\gamma\delta} t. \quad (10)$$

Следы поверхностей максимальных температур показаны пунктирными линиями на фиг. 5, 6 и 9.

В точках изделия, удаленных от сварного шва или валика, скорости нагрева (охлаждения) и максимальные температуры тем ниже, а момент достижения максимума температуры наступает тем позже, чем дальше расположена рассматриваемая точка от оси перемещения источника теплоты.

Максимальная температура точки массивного изделия в процессе распространения теплоты при наплавке валика мощной быстро движущейся сварочной дугой

$$T_m(y_0) = \frac{1}{e} \frac{1}{\nu c \gamma \frac{\pi}{2} r_0^2}. \quad (11)$$

обратно-пропорциональна квадрату расстояния r_0 от оси перемещения точечного источника.

Максимальная температура точки тонкой пластины при сварке в стык мощной быстро движущейся дугой на малых расстояниях $y_0 \ll \sqrt{\frac{\lambda\delta}{a}}$ от оси шва

$$T_m(y_0) = \frac{0,484q}{\nu c \gamma \delta \cdot 2y_0} \left(1 - \frac{a y_0^2}{\lambda \delta}\right) \quad (12)$$

при отсутствии теплоотдачи $\alpha = 0$ обратно пропорциональна расстоянию y_0 от плоскости перемещения линейного источника. В массивном теле и в пластине максимальные температуры T_m пропорциональны погонной энергии q/v мощного быстро движущегося источника, т. е. количеству теплоты, вводимому дугой в изделие на единицу длины шва или валика.

Влияние ограниченности размеров изделия по толщине, ширине или длине на процесс распространения теплоты сварочной дуги учитывается по методу отражений, предполагая, что ограничивающие поверхности не пропускают теплоты. Этот метод дает возможность вычислить температурные поля в листах средней толщины, в полосах средней ширины, у углов, краев и ребер и в изделиях сложной конфигурации, составленных из элементов, ограниченных взаимно-перпендикулярными плоскостями (балки, коробки) [1]; [2].

НАГРЕВ МЕТАЛЛА ГАЗОВЫМ ПЛАМЕНЕМ

Тепловые характеристики пламени. Для расчета процесса нагрева металла газовым пламенем необходимо располагать следующими основными тепловыми его характеристиками: температурой; эффективной тепловой мощностью q кал/сек; распределением теплового потока пламени q_2 кал/см²сек по пятну нагрева.

Эти характеристики зависят от теплотворной способности горючего газа, чистоты кислорода и их соотношения в газовой смеси.

Температура сварочного пламени неодинакова в различных его частях и достигает наибольшего значения на оси пламени вблизи конца ядра.

Температура сварочного пламени в °С

Ацетилен	3100—3200
Метан	1900—2100
Пропано-бутановая смесь	2000—2100
Коксовый газ	2000—2100
Водород	2100—2300

Газовое пламя нагревает поверхность металла вследствие процессов теплообмена — вынужденной конвекции и излучения, интенсивность которых возрастает с увеличением перепада температуры между газами пламени и поверхностью нагреваемого металла. Поэтому эффективная мощность пламени возрастает с повышением его температуры и падает с повышением температуры поверхности металла.

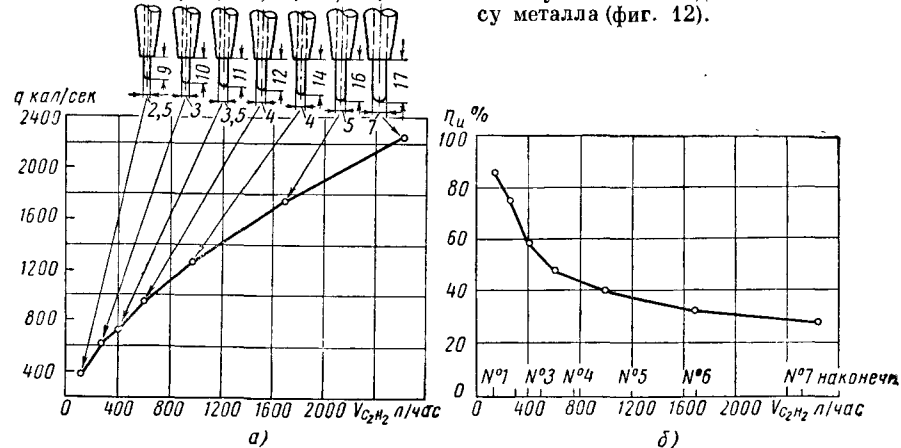
Эффективная мощность пламени q (ее предельное значение, соответствующее установившемуся состоянию процесса при нагреве металла перемещающимся пламенем) возрастает с увеличением расхода V_A л/час горючего газа (фиг. 10). Эффективный к. п. д. η_u процесса нагрева металла газовым пламенем представляет отношение эффективной мощности пламени q к полной тепловой мощности пламени q_n , соответствующей излучаемой теплотворной способности горючего. Для ацетилено-кислородного пламени при излучаемой теплотворной способности ацетилена 12 600 кал/л (при 20° С и 760 мм рт. ст.)

$$\eta_u = \frac{q}{3,5 V_A}. \quad (13)$$

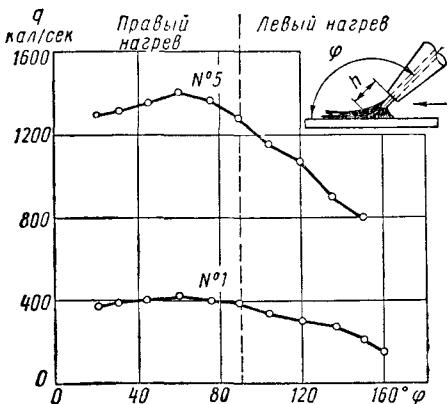
Параметры режима нагрева, размеры изделия и теплофизические свойства металла также влияют на эффективную мощность, хотя и в меньшей степени,

чем расход горючего газа. При правом нагреве эффективная мощность пламени выше, чем при левом (фиг. 11). С увеличением скорости перемещения пламени его эффективная мощность несколько возрастает. С увеличением толщины нагреваемого металла, а также его температуропроводности, эффективная мощность пламени возрастает вследствие усиления отвода теплоты в массу металла (фиг. 12).

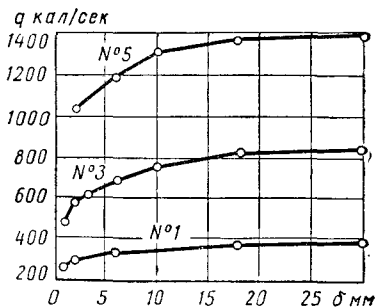
№ наконечника 1 2 3 4 5 6 7
Расход C_2H_2 140 250 400 615 1010 1700 2630 л/час
 d сопла 0,96 1,31 1,63 2,0 2,45 2,96 3,5 мм



Фиг. 10. Эффективная мощность пламени, длина ядра (а) и эффективный к. п. л. (б) процесса нагрева металла в зависимости от расхода ацетилена (номера наконечника простой горелки).

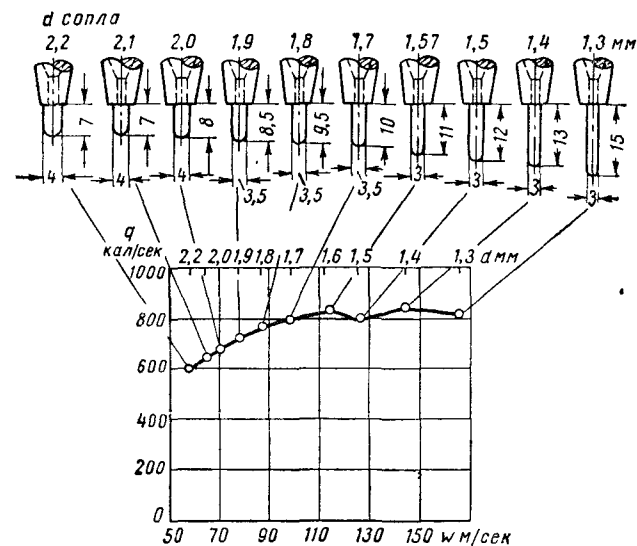


Фиг. 11. Эффективная мощность пламени простой горелки в зависимости от угла наклона φ оси пламени к поверхности металла для наконечников № 1 и 5.



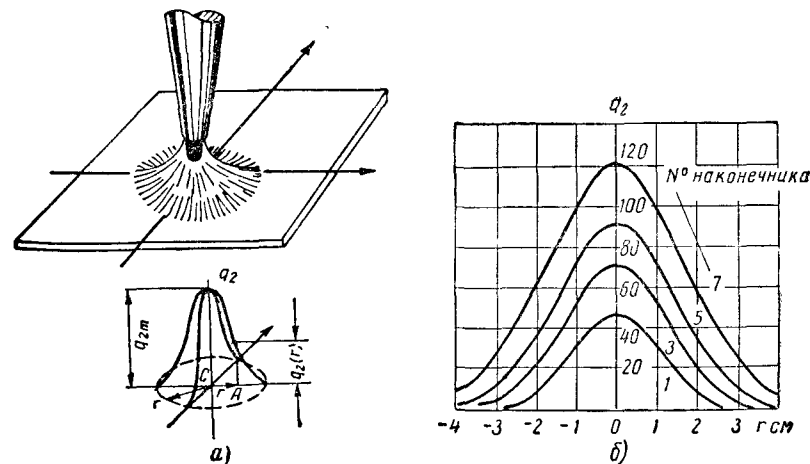
Фиг. 12. Эффективная мощность пламени простой горелки (наконечники № 1, 3 и 5) в зависимости от толщины металла δ .

Наибольшая эффективная мощность пламени соответствует определенным соотношениям кислорода и горючего газа, несколько меньшим, чем теоретические соотношения по реакции полного сгорания, — для ацетилена 2,3; для метана 2,0; для коксового газа 0,8; для водорода 0,4 и для пропано-бутановой смеси 3,5.



Фиг. 13. Эффективная мощность пламени простой горелки и длина ядра в зависимости от средней скорости w истечения смеси или диаметра d сопла мундштука при постоянном расходе ацетилена 400 л/час (наконечник № 3).

С увеличением средней скорости w истечения горючей смеси ($V_A = \text{const}$) интенсивность теплообмена и эффективная мощность пламени увеличиваются (фиг. 13).



Фиг. 14. Распределение удельного теплового потока q_2 пламени простой горелки по радиусу r пятна нагрева металла при угле наклона 90° . а — схема; б — распределение q_2 при различных номерах наконечников (разный расход ацетилена).

Распределение удельного теплового потока q_2 пламени простой горелки по радиусу r пятна нагрева приблизительно описывают соотношением (2) (фиг. 14).

Для расчетов удобно характеризовать распределение теплового потока пламени постоянной времени $t_0 = \frac{1}{4ak}$. Коэффициенты сосредоточенности k пламени простых горелок убывают, а постоянные времена t_0 возрастают с увеличением номера наконечника и расхода ацетилена (табл. 1).

1. Тепловые характеристики сварочного ацетилено-кислородного пламени простой горелки

Номер наконечника горелки ГО-49	Диаметр сопла мундштука в мм	Расход ацетилена V_A в л/час	Длина ядра пламени h в мм	Эффективная мощность пламени q в кал/сек	Эффективный к. п. д. при нагревании стали η_d в %	Коэффициент сосредоточенности k теплового потока в см ⁻²	Наибольший удельный тепловой поток $q_{2\max}$ в кал/см ² сек	Постоянная времени при нагревании стали t_0 в сек.
1	1,0	150	9	380	72	0,39	47	8
2	1,3	250	10	600	68	0,35	67	9
3	1,6	400	11	720	51	0,31	72	10
4	2,0	600	12	920	44	0,28	82	11
5	2,5	1000	14	1270	36	0,23	93	14
6	3,0	1700	16	1750	30	0,20	111	15
7	3,5	2600	17	2250	25	0,17	122	19

Наибольший тепловой поток на оси ацетилено-кислородного пламени простой горелки в 8—12 раз меньше $q_{2\max}$ открытой сварочной дуги примерно одинаковой эффективной мощности. Поэтому газовое пламя нагревает металл значительно более медленно и плавно, чем сварочная дуга.

Сложные горелки, многопламенные и щелевые, позволяют регулировать форму и размеры пламени и распределять тепловой поток заданным образом по участкам поверхности металла. Их применяют для газопрессовой сварки и поверхностной пламенной закалки металла.

Нагрев тонких листов (с полным выравниванием температуры по толщине) пламенем простой горелки (с осью, перпендикулярной к поверхности листа), неподвижным или перемещающимся прямолинейно с постоянной скоростью v см/сек, описывается схемой подвижного нормально-кругового источника теплоты в тонкой пластине с теплоотдачей. Температурное поле в процессе теплонасыщения, отнесенное к подвижной системе координат $X'OY$ с центром в фиктивном сосредоточенном источнике O , движущемся на расстоянии vt_0 впереди центра C истинного источника (фиг. 15, а), выражается соотношением

$$T(x, y, t) = \frac{q}{2\pi\lambda\delta} \exp\left(-\frac{vx}{2a} + bt_0\right) K_0(q_2) \times [\psi_2(q_0; \tau + \tau_0) - \psi_2(q_2; \tau_0)], \quad (14)$$

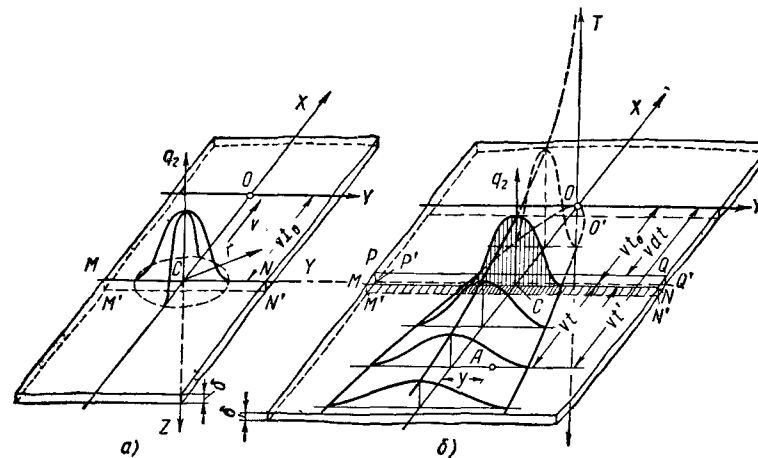
где $q_2 = r \sqrt{\frac{v^2}{4a^2} + \frac{b}{a}}$; $\tau = \left(\frac{v^2}{4a} + b\right)t$; $\tau_0 = \left(\frac{v^2}{4a} + b\right)t_0$ — безразмерные критерии расстояния и времени; коэффициент теплонасыщения ψ_2 определяют из графика (см. фиг. 7, б); $b = \frac{2a}{c\gamma\delta}$. Коэффициент теплообмена a кал/см²сек выбирают как среднее из значений коэффициентов теплообмена между пламенем и верхней поверхностью листа ($a_n = 0,01 - 0,015$ кал/см²·сек °С) и между нижней поверхностью листа и спокойным воздухом, $a_c = 0,001$ кал/см²·сек °С.

С приближением к предельному установившемуся состоянию процесса первое слагаемое в квадратных скобках стремится к единице.

По мере повышения скорости перемещения пламени температурное поле в листе приближается к полю быстродвижущегося нормально-полосового источника (фиг. 15, б)

$$T(y, t) = \frac{q}{v\delta} \left[4\pi\lambda c \gamma (t + t_0)\right]^{-1/2} \exp\left[-\frac{y^2}{4a(t + t_0)} - bt\right]. \quad (15)$$

Нагрев поверхности массивного тела (например, листа толщиной более 40 мм) неподвижным пламенем простой горелки с осью, перпендикулярной к нагреваемой поверхности, описывается схемой нормально-кругового источника



Фиг. 15. Схема нагрева тонкой пластины: а — поверхностным нормально-круговым источником теплоты; б — быстродвижущимся поверхностным нормально-полосовым источником теплоты.

теплоты на поверхности полубесконечного тела (фиг. 16). Температура в центре источника C в процессе теплонасыщения, очевидно являющаяся максимальной температурой нагреваемого тела, выразится

$$T(t) = \frac{q}{2\lambda\sqrt{4\pi at_0}} \frac{2}{\pi} \arctg \sqrt{\frac{t}{t_0}}. \quad (16)$$

Первый множитель выражает максимальную температуру центральной точки при предельном состоянии процесса. Эта температура пропорциональна эффективной мощности пламени q и корню квадратному из коэффициента сосредоточенности k его теплового потока и обратно пропорциональна коэффициенту теплопроводности λ материала нагреваемого тела.

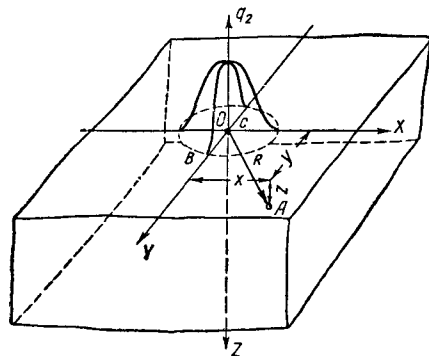
Второй множитель является коэффициентом теплонасыщения ψ (фиг. 17), который стремится к единице в предельном состоянии процесса нагрева.

Нагрев поверхности массивного тела пламенем горелки, перемещающейся с большой скоростью, описывается выражением температурного поля быстродвижущегося нормально-линейного источника (фиг. 18)

$$T(y, z, t) = \frac{q}{2\pi v \lambda \sqrt{t(t_0 + t)}} \exp\left[-\frac{z^2}{4at} - \frac{y^2}{4a(t_0 + t)}\right], \quad (17)$$

где время t отсчитывают от момента, когда центр пламени пересек рассматриваемую плоскость.

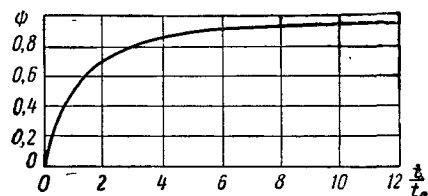
При нагреве поверхности массивного тела пламенем простой горелки, перемещающейся прямолинейно с постоянной скоростью v , максимальная температура T_m предельного состояния в точке M на оси перемещения пламени и расстояние f точки M от центра C пламени выражаются:



Фиг. 16. Схема нагрева полубесконечного тела поверхностным нормально-круговым источником теплоты.

$$T_m = \frac{q}{2\lambda \sqrt{4\pi a t_0}} \theta_m, \quad (18)$$

$$t = \sqrt{4at_0 n_m} - vt_0.$$

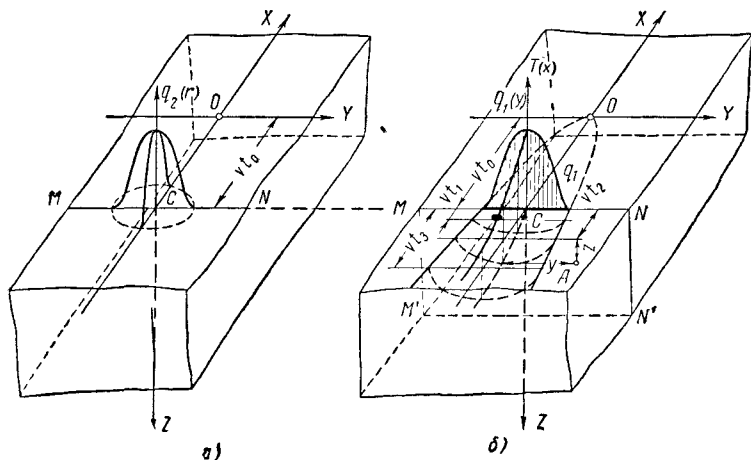


Фиг. 17. Процесс нагрева поверхности полубесконечного тела непрерывно-действующим неподвижным нормально-круговым источником теплоты; коэффициент теплопроводности ϕ центральной точки C .

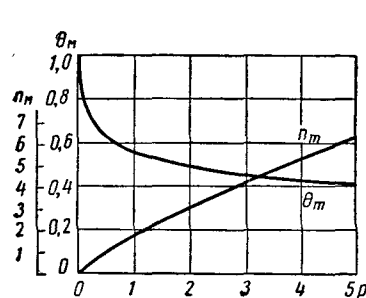
Коэффициенты θ_m и n_m выбирают из графика (фиг. 19) в зависимости от критерия скорости

$$p = \frac{vt_0^2}{4a}. \quad (19)$$

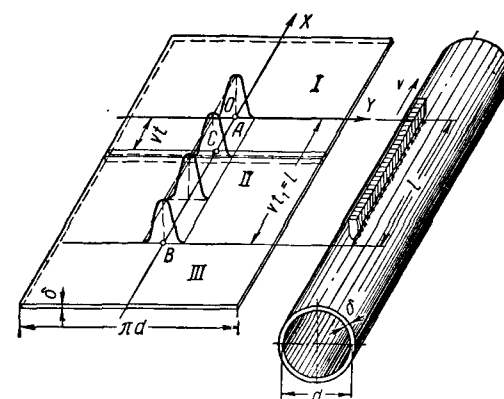
Нагрев тонких металлических листов толщиной δ см пламенем линейной горелки (например, при газопрессовой сварке продольных швов труб) описывается схемой нормально-полосового источника длиной l см с линейной мощ-



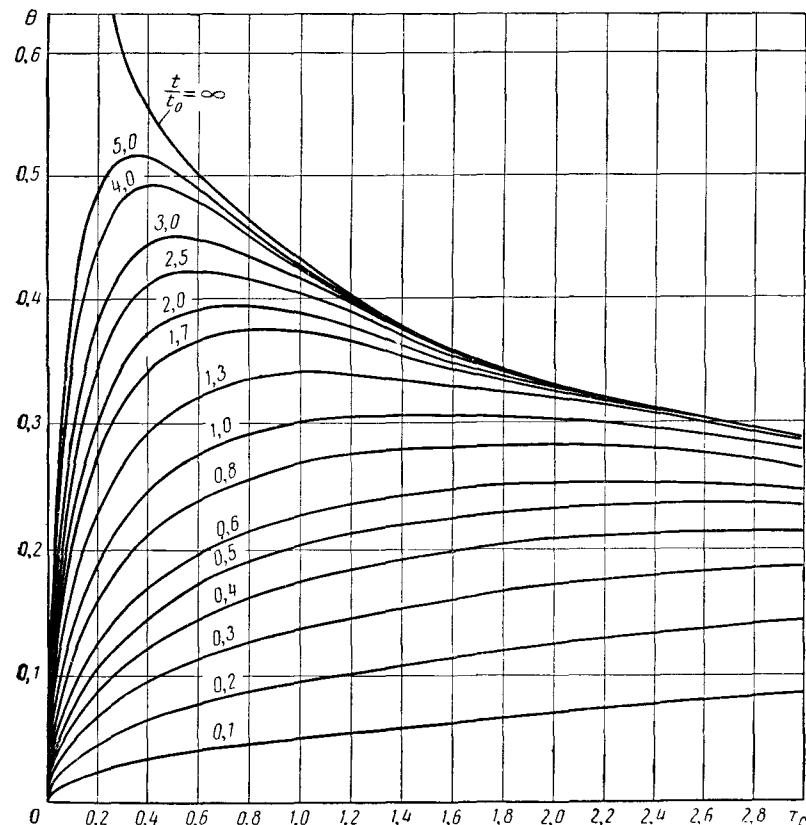
Фиг. 18. Схема (а) нагрева поверхности полубесконечного тела нормальным быстропродвигающимся нормально-круговым источником $q_2(r)$ и эквивалентная ей схема (б) нагрева нормально-полосовым источником $q_1(y)$.



Фиг. 19. График относительной максимальной температуры θ_m точек поверхности полубесконечного тела на оси перемещения нормально-кругового источника теплоты и коэффициента n_m для определения расстояния точек с максимальной температурой от центра источника в зависимости от критерия p .



Фиг. 20. Схема нагрева продольного шва трубы длиной l из тонкого листа пламенем быстропродвигающейся линейной горелки.



Фиг. 21. Номограмма зависимости относительной температуры в точках на оси OX от критериев t_0 и t/t_0 при нагреве тонкого листа пламенем быстропродвигающейся линейной горелки.

ностью q_1 кал/см и коэффициентом сосредоточенности k в направлении оси ОУ, быстро движущегося с постоянной скоростью v см/сек в направлении ОХ оси пламени (фиг. 20) при коэффициенте теплообмена пламени с металлом α_n .

Температура листа $T(t)$ в точках оси перемещения горелки под пламенем, т. е. в стадии нагрева, $t < \frac{l}{v}$ (область II на фиг. 20), выражается

$$T(t) = \frac{q_1}{2\sqrt{\alpha_n \lambda \delta}} \theta\left(\frac{t}{t_0}; \tau_0\right). \quad (20)$$

Относительную температуру θ выбирают по номограмме на фиг. 21 в зависимости от относительной длительности нагрева $\frac{t}{t_0}$ и безразмерной постоянной $\tau_0 = \frac{2\alpha t_0}{c \gamma \delta}$. Тепловые характеристики пламени некоторых типов линейных многопламенных горелок приведены в табл. 2.

2. Характеристики распределения удельного теплового потока пламени линейных горелок и показатели эффективности процесса нагрева листов стали ЭИ1-Т толщиной 1,5 мм

Диаметр сопла d в мм	Шаг сопел f в мм	Расход ацетилена		Эффективная мощность		Коэффициент сосредоточенности удельного теплового потока $k = \frac{1}{4\alpha t_0} \text{ см}^{-2}$	Постоянная времени при нагреве стали t_0 в сек.	Наибольший удельный тепловой поток пламени q_{2m} в кал/см ² сек	Коэффициент теплообмена пламени α_n в кал/см ² сек °С
		одним соплом V_1 в л/час	линейный V_A в л/см час	сопла q' в кал/сек	линейная q_1 в кал/см сек				
0,75	4	75	188	71	178	0,48	6,5	70	0,011
	6		125	79	132	0,89	3,5		0,015
1,0	8	150	188	132	164	0,39	8,0	58	0,011
	12		125	151	126	—	—	—	—

Температуру листа $T_1(t)$ в точках оси перемещения горелки позади пламени (фиг. 20, область III), т. е. в стадии охлаждения $t > \frac{l}{v}$, вычисляют как разность температур (20)

$$T_1(t) = T(t) - T\left(t - \frac{l}{v}\right). \quad (21)$$

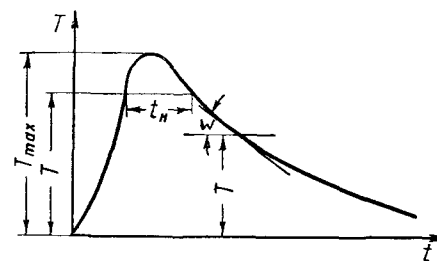
Примеры расчета приведены в монографиях [2], [3], [5].

ТЕРМИЧЕСКИЙ ЦИКЛ ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ И НАПЛАВКЕ

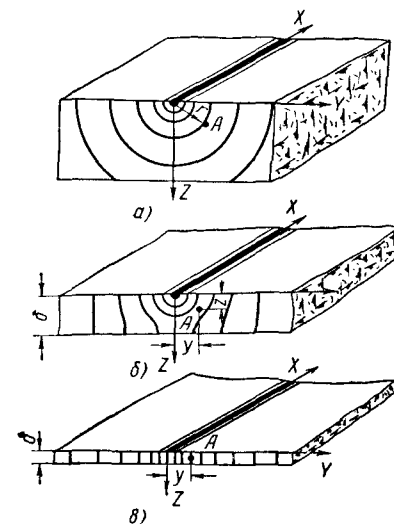
Термический цикл, т. е. изменение температуры в данной точке шва или околошовной зоны во время сварки, является основой для оценки влияния параметров режима сварки на изменения структуры в основном металле или металле шва.

Термический цикл околошовной зоны определяется принятым режимом сварки, соответствующим заданной производительности процессов плавения основного и присадочного металлов. Часто оказывается возможным так выбирать параметры режима сварки, чтобы, удовлетворив требованиям производительности сварки и формирования шва, обеспечить термический цикл, вызывающий благоприятные изменения структуры и свойств.

К структуре зоны термического влияния и к свойствам сварного соединения



Фиг. 22. Схема термического цикла околошовной зоны при однопроходной сварке или наплавке.



Фиг. 23. Схемы распространения теплоты: а — точечный источник в пластине большой толщины; б — точечный источник в пластине произвольной толщины; в — линейный источник в пластине малой толщины.

предъявляют разнообразные требования, зависящие от вида металла, технологии изготовления и от типа конструкции и ее служебного назначения. Так, например, при сварке легированных конструкционных сталей значительная длительность нагрева выше 900° может привести к нежелательному росту зерна аустенита, а большая скорость охлаждения в субкритическом интервале распада аустенита может вызвать повышение твердости вследствие закалки. Расчет термического цикла может установить те пределы технологического режима сварки, при которых не происходит местного изменения пластических свойств, могущего понизить несущую способность сварного соединения, особенно при ударной нагрузке, при наличии концентраторов напряжения и при низких температурах эксплуатации.

Однопроходная сварка. Основными параметрами термического цикла околошовной зоны при однопроходной сварке или наплавке являются: максимальная температура T_{max} , мгновенная скорость охлаждения w °С/сек. при данной температуре T и длительность нагрева t_n выше данной температуры T (фиг. 22).

При дуговой наплавке валика на массивное изделие (см. фиг. 5 и 23, а) скорость охлаждения w °С/сек. при температуре T

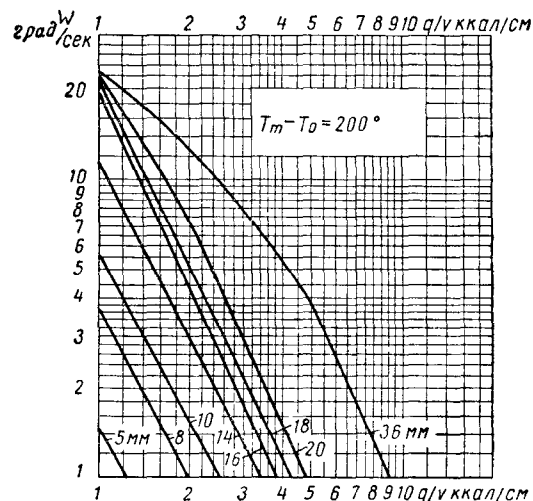
$$w = \frac{2\pi\lambda(T - T_0)^2}{\frac{q}{v}}, \quad (22)$$

а при сварке листов в стык в один проход или при наплавке валика на лист малой толщины (см. фиг. 6 и 23, в)

$$w = \frac{2\pi\lambda c \gamma (T - T_0)^2}{\left(\frac{q}{v\delta}\right)^2}, \quad (23)$$

где T_0 — начальная температура изделия или температура сопутствующего подогрева.

При наплавке валика на лист произвольной толщины (фиг. 23, б) скорость охлаждения рассчитывают по номограммам (фиг. 24, А и Б). При расчетах



Фиг. 24, А Номограмма для определения скорости охлаждения w при $T_m - T_0 = 200^\circ$

скорости охлаждения по номограммам или по выражениям (22) и (23) вместо истинных значений погонной энергии $\frac{q}{v}$ и толщины металла δ вводят их приведенные значения, полученные умножением $\frac{q}{v}$ и δ на коэффициенты, учитывающие влияние конструкции соединения (табл. 3).

3. Коэффициенты приведения

Приводимая величина	Первый слой стыка, угол разделки 60°	Наплавка, однопроходная сварка в стык	Первый слой при сварке втавр или внахлестку
$\frac{q}{v}$	$2/3$	1	$2/3$
δ			1

Длительность t_n нагрева выше данной температуры при наплавке валика на массивное тело,

$$t_n = f_3 \frac{\frac{q}{v}}{\lambda (T_m - T_0)}, \quad (24)$$

пропорциональна погонной энергии дуги $\frac{q}{v}$, а при однопроходной сварке листов в стык

$$t_n = f_2 \frac{\left(\frac{q}{v\delta}\right)^2}{\lambda c \gamma (T_m - T_0)^2} \quad (25)$$

пропорциональна квадрату удельной энергии дуги $\frac{q}{v} \delta$. Здесь T_m — максимальная температура цикла (см. фиг. 22). Коэффициенты f_3 и f_2 выбирают в зависимости от безразмерной температуры $\theta = \frac{T - T_0}{T_m - T_0}$, изменяющейся в пределах от 0 до 1 по номограмме фиг. 25.

Многослойная сварка. При многослойной сварке длинными участками и каждый слой успевает почти полностью охладиться ко времени укладки следующего слоя. Поэтому термические циклы отдельных слоев практически не зависят друг от друга. Но смягченное тепловое воздействие последующих слоев может изменить структуру шва и околошовной зоны, например отпустить закаленную структуру (фиг. 26).

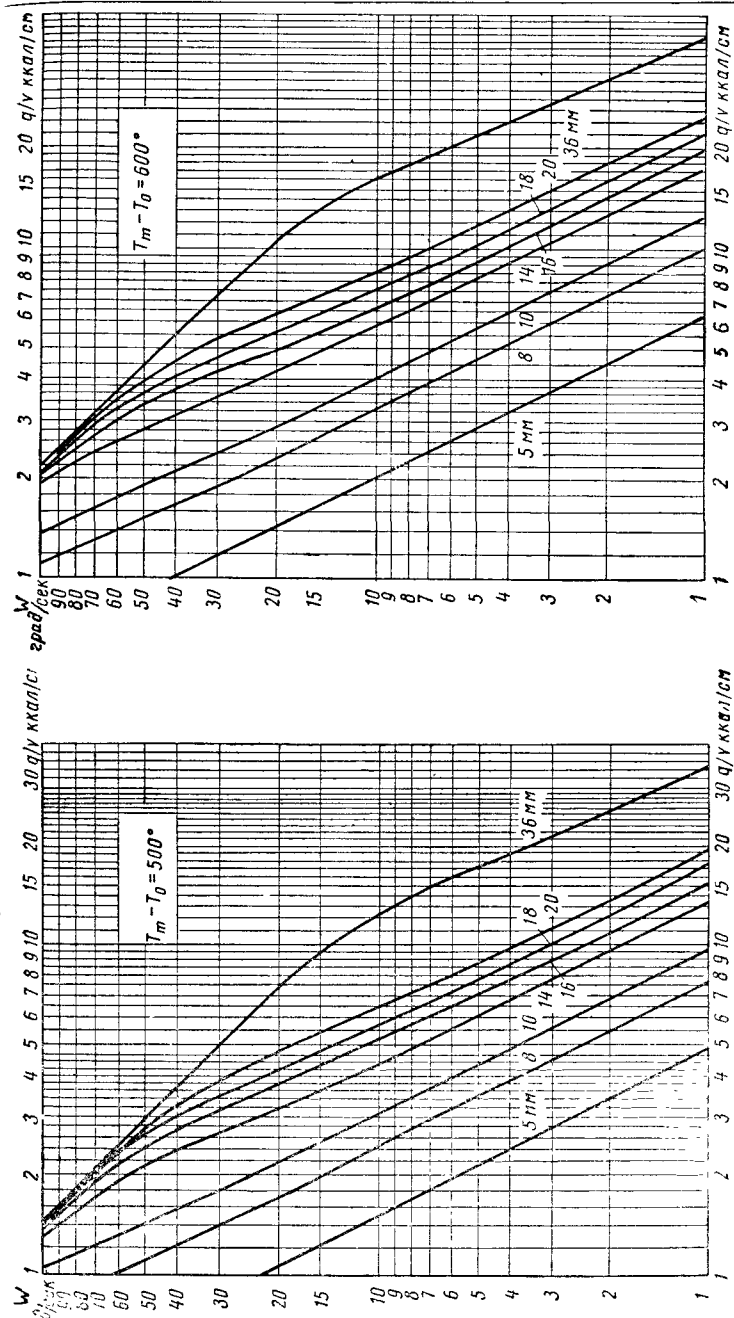
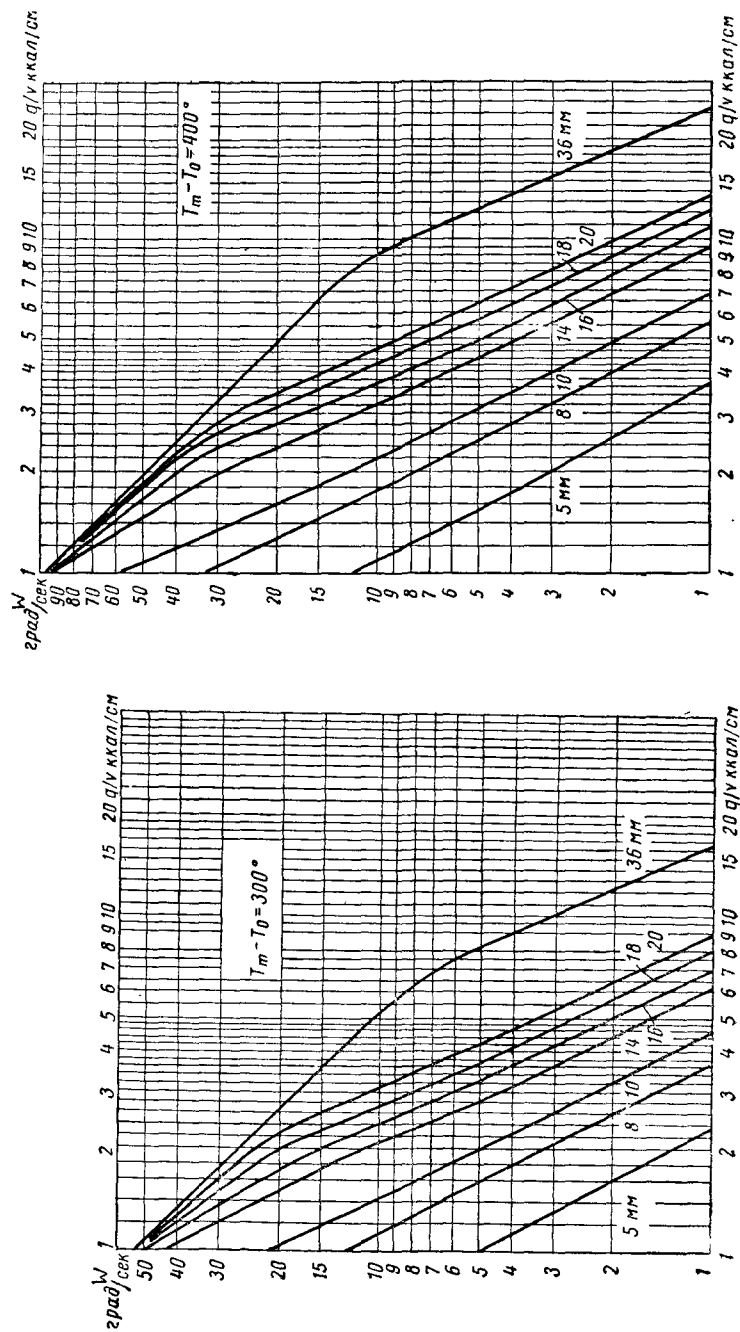
При сварке сталей, склонных к закалке и образованию холодных трещин, проверяют условия охлаждения первого слоя, в околошовной зоне которого при быстром охлаждении и резкой закалке могут образоваться трещины.

Последующие слои при одинаковом поперечном сечении, как правило, остывают медленнее первого слоя, поэтому условия их охлаждения можно не проверять.

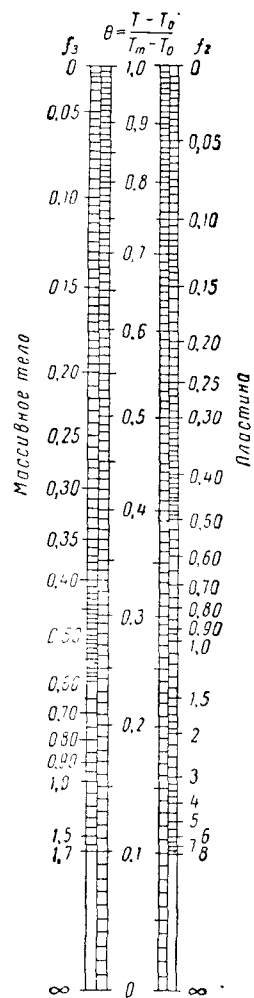
Скорость охлаждения w первого слоя многослойного шва рассчитывают по соотношению (22) и номограммам (фиг. 24) для наплавки валика на лист. Различные условия теплоотвода учитывают вводя в расчет вместо истинных значений толщины свариваемых листов и погонной энергии дуги $\frac{q}{v}$ их расчетные значения, взятые по фиг. 27. Скорость охлаждения можно снизить увеличением погонной энергии, т. е. сечения слоя, и повышением температуры подогрева изделия.

При многослойной сварке короткими участками тепловые воздействия последовательно навариваемых слоев складываются, замедляя охлаждение отдельного слоя и образуя сложный термический цикл (фиг. 28, а и б). Режим многослойной сварки (каскадной, горкой) характеризуется двумя независимыми параметрами — погонной энергией $\frac{q}{v}$ (сечением слоя) и длиной l участка, поэтому он более гибок, чем режим однопроходной сварки.

Длину участка выбирают из условия, чтобы температура T_s околошовной зоны первого слоя к моменту наложения тепловой волны следующего слоя не падала ниже температуры точки M начала мартенситного превращения ($200-350^\circ$) или температуры, при которой наиболее вероятно образование холодных трещин ($60-200^\circ$). Длину l участка, при которой



Фиг. 24, Б. Нормативы для предельной скорости охлаждения в околошовной зоне при наплавке валика на поверхность пластины при $T_m - T_0 = 300^\circ, 400^\circ, 500^\circ, 600^\circ$.



Фиг. 25. Номограммы для расчета длительности нагрева t_n выше заданной температуры T : а — при наплавке валина на массивное тело (слева); б — при однопроводной сварке листов в стык (справа).

первый слой с температурой T_0 (начальной или температурой сопутствующего подогрева) охладится до температуры T_0 , вычисляются по соотношению

$$l = \frac{0,7 k_3 k_2 q^2}{\delta^2 v (T_0 - T_0)^2}, \quad (26)$$

где q — эффективная мощность дуги при заварке первого слоя в кал/сек; v — скорость ее перемещения в см/сек; k_2 — коэффициент чистого горения дуги, равный единице для автоматической многослойной сварки и 0,6 — 0,8 для ручной многослойной сварки; k_3 — поправочный коэффициент, равный 1,5 для стыкового соединения, 0,9 для соединения втавр и 0,8 для крестового соединения.

Температура T_0 при охлаждении первого слоя тем выше, чем больше теплоты вводится в слой, т. е. чем больше погонная энергия дуги, выше температура T_0 свариваемого металла, короче длина l участка слоя и меньше длительность перерыва между слоями.

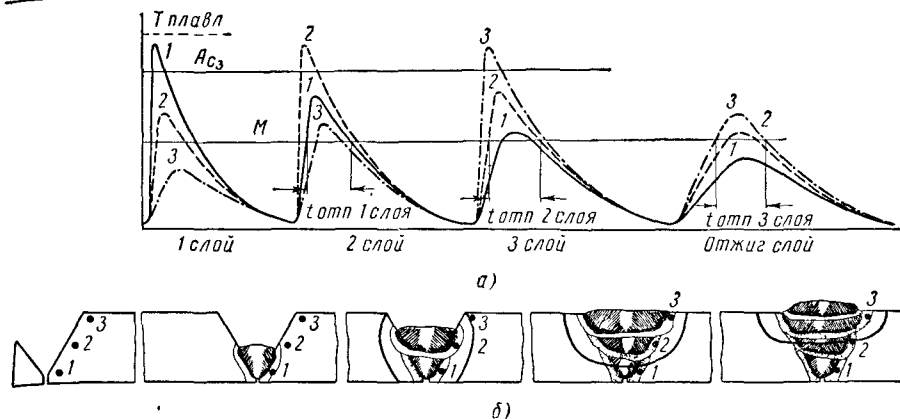
Режим многослойной сварки короткими участками можно подобрать так, чтобы шов и околошовная зона находились в нижнем субкритическом интервале, от температуры $T_{\min}$ наименьшей устойчивости аустенита до температуры T_m начала мартенситного превращения (фиг. 29, а), в течение такого времени t_0 (фиг. 28, а, б), которое обеспечивает распад аустенита в игольчатый троостит, обладающий высокой пластичностью. Длительность t_0 нагрева околошовной зоны первого слоя выше определенной температуры T , которую принимают на 50° выше температуры T_m , при сварке металла с начальной температурой T_0 рассчитывают в зависимости от общей длительности сварки t_c по номограммам (фиг. 30), связывающим безразмерные параметры

$$bt_0; bt_c; Q_1 = \sqrt{\frac{b}{a}} |x|$$

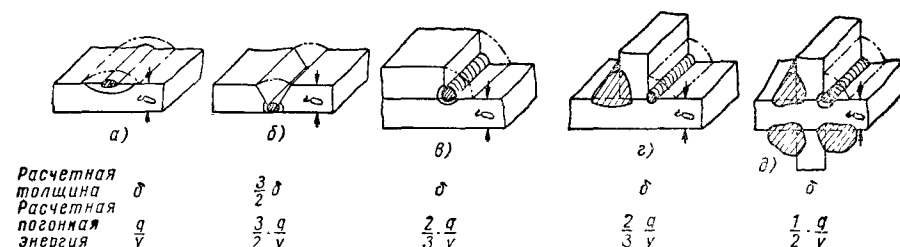
и

$$\theta = \frac{2\lambda \delta l}{k_1 k_2 q} \sqrt{\frac{b}{a}} (T - T_0);$$

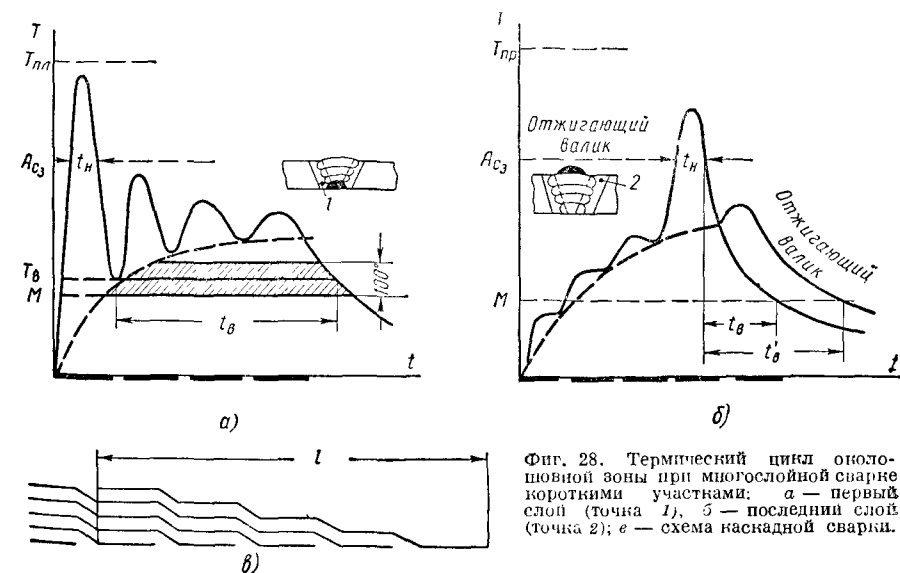
где $b = \frac{2\alpha}{c \gamma \delta} \text{сек}^{-1}$ — коэффициент температуропроводности расчетного стержня; $|x|$ — расчетное расстояние околошовной зоны от источника, для стыковых швов



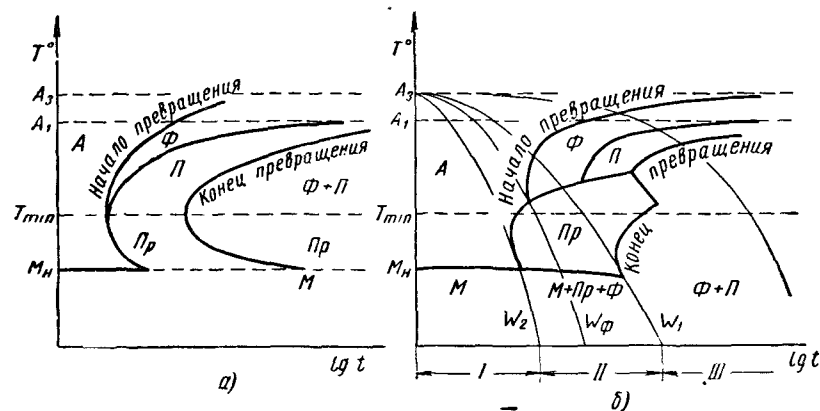
Фиг. 26. Термический цикл (а) и схема структурных изменений (б) при многослойной сварке длинными участками.



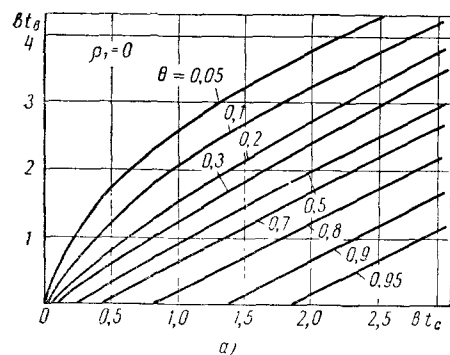
Фиг. 27. Расчетные значения толщины и погонной энергии для определения скорости охлаждения первого слоя многослойного шва: а — наплавка на лист; б — соединение в стык с односторонним сходом кромок; в — соединение внахлестку; г — тавровое соединение (второй шов); д — крестовое соединение (четвертый шов).



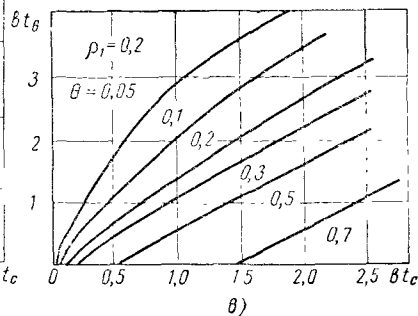
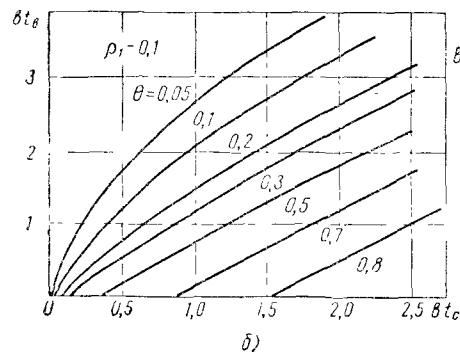
Фиг. 28. Термический цикл околошовной зоны при многослойной сварке короткими участками: а — первый слой (точка 1), б — последний слой (точка 2); в — схема наплавки.



Фиг. 29. Диаграммы превращения аустенита: а — изотермическое превращение; б — анизотермическое превращение (непрерывное охлаждение); W_1 — скорость охлаждения, соответствующая началу образования мартенсита, W_2 — скорость охлаждения при которой образуется 100% мартенсита, W_ϕ — скорость, при которой начинается выделение феррита; А — аустенит; Ф — феррит; П — перлит; Пр — промежуточные структуры; М — мартенсит.



Фиг. 30. Номограммы для расчета длительности нагрева bt_θ при определенной температуре t_θ различных сечений стержня Q_1 в зависимости от длительности bt_c действия источника: а — $Q_1 = 0$; б — $Q_1 = 0,1$; в — $Q_1 = 0,2$.



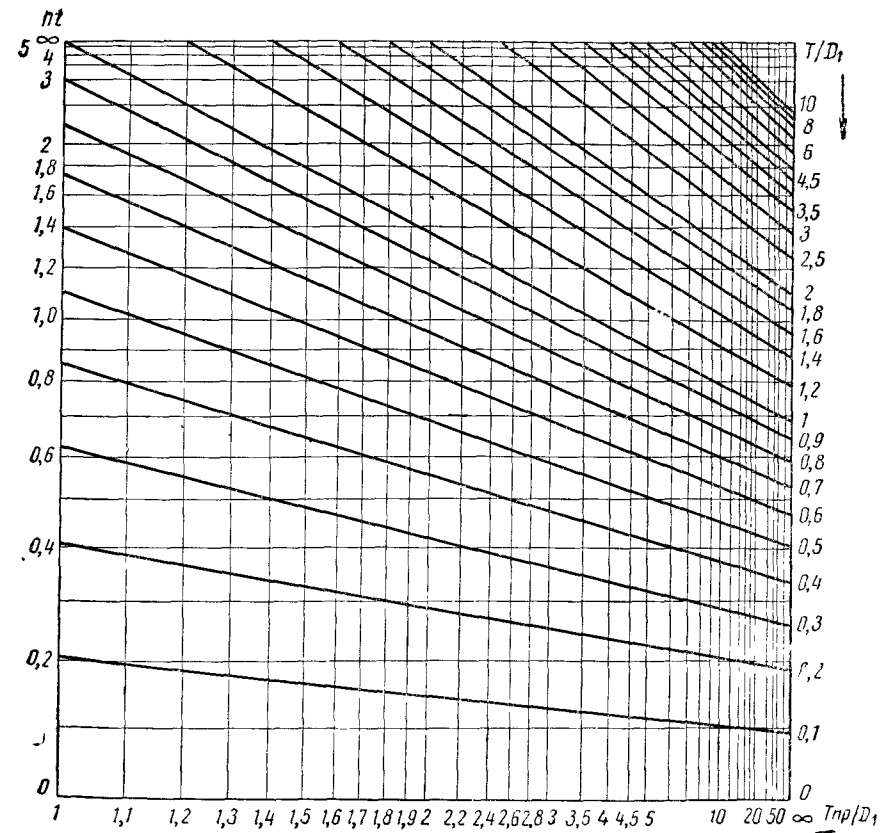
равное полуширине разделки поверху, а для валиковых швов — половине длины катета шва; k_2 — коэффициент чистого горения дуги, k_1 — коэффициент приведения, равный единице для стыкового соединения, 0.67 — для таврового и нахлесточного соединений и 0.6 — для крестового соединения.

Длительность нагрева выше заданной температуры тем больше чем больше поперечное сечение шва, т. е. толщина листа и угол разделки кромок.

ПЛАВЛЕНИЕ МЕТАЛЛА ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ

Дуга расплавляет электрод подогреваемый током на участке от токоподвода до дуги.

Прутковые электроды. Нагрев пруткового электрода обусловлен выделением теплоты по закону Ленца — Джоуля в металлическом стержне и потерей теплоты через боковую поверхность в окружающую среду.



Фиг. 31. Номограмма для расчета процесса нагрева током электрода из малоуглеродистой стальной проволоки.

Температуру $T(t)$ °С стального пруткового электрода диаметром d_1 мм, нагреваемого током I а от начальной температуры $T_0 = 0^\circ \text{C}$, можно представить в зависимости от длительности нагрева t сек. номограммой (фиг. 31). Вели-

чины n в сек.⁻¹ и T_{np} °C, входящие в состав безразмерных критериев номограммы, выражаются:

$$n = \frac{A}{md_1} \left(\frac{T_{np}}{D_1} + 1 \right); \quad (27)$$

$$T_{np} = md_1 j^2, \quad (28)$$

где $j = \frac{I}{\frac{\pi}{4} d_1^2}$ — плотность тока в электродном стержне в а/мм².

Коэффициенты $A \frac{мм^4 °C}{a^2 сек}$; $D_1 °C$ и $m \frac{мм^3 °C}{a^2}$, зависящие от теплофизических свойств электродов, выбирают по табл. 4.

4. Коэффициенты для расчета нагрева электродов током

Тип электрода		Род тока	$\frac{мм^4 °C}{a^2 сек} \cdot 10^{-2}$	$D_1 °C$	$\frac{m}{a^2} \frac{мм^3 °C}{a^2}$
Проволока	Покрытие				
Малоуглеродистая	Меловое	Постоянный	3,1	240	} 2,65
		Переменный	3,7	300	
	ОММ-5 и УОНИ-13	Постоянный	2,4	200	} 2,5
		Переменный	2,7	240	

Электродная проволока. При автоматической или полуавтоматической сварке наибольшую температуру T_{max} подогрева проволоки в конце вылета (у дуги), при длине вылета l см, можно рассчитать по номограмме (см. фиг. 31), приняв длительность t нагрева каждого материального элемента проволоки, поступающей в дугу со скоростью w см/сек, равной $\frac{l}{w}$.

При высоких плотностях тока в электродной проволоке, $j > 40 - 50$ а/мм², наибольшую температуру T_{max} в конце вылета можно определить также из соотношения

$$T_{max} = (D_1 + T_0) \times \exp \left(\frac{3600 \gamma A}{a_p D_1} j l \right) - D_1, \quad (29)$$

где $j = \frac{I}{\frac{\pi}{4} d_1^2}$ — плотность тока в а/мм²; a_p — коэффициент расплавления в Г/а-ч;

T_0 — начальная температура проволоки в °C; γ — удельный вес металла проволоки в Г/см³.

Расплавление электродов. Дуга прогревает металл электродного прутка или проволоки, предварительно подогретый током до температуры T_m расплавляет и перегревает его до средней температуры капель T_k , отрывающихся от торца электрода. Производительность расплавления электрода g_p Г/сек и скорость расплавления w см/сек связаны с полной электрической мощностью UI дуги в $вт$ соотношением

$$g_p = w \gamma \frac{\pi}{4} d^2 \frac{0,24 \eta_p UI}{S_k - S_m}, \quad (30)$$

где η_p — эффективный к. п. д. процесса нагрева электрода дугой; S_k и S_m — теплосодержание металла голого электрода при температурах T_k и T_m или отнесенное к единице веса стержня теплосодержание металла и слоя покрытия в кал Г.

Выраженная соотношением (30) мгновенная производительность g_p , или пропорциональная ей мгновенная скорость расплавления, возрастает по мере оплавления электродного прутка вследствие подогрева током. Производительность или скорость плавления электродной проволоки остаются постоянными при данных условиях процесса, но возрастают с увеличением длины вылета вследствие повышения температуры подогрева током его конца.

НАГРЕВ СТЕРЖНЕЙ ПРИ КОНТАКТНОЙ СВАРКЕ

Источники теплоты при стыковой сварке. Свариваемые стержни на участке между токоподводами нагреваются:

а) распределенным по объему металла источником — работой тока плотностью j а/см² на удельном сопротивлении металла ρ ом·см; по закону Ленца — Джоуля объемная мощность источника $w = 0,24 q j^2$ кал/см³ сек;

б) приложенным к контактным поверхностям с поперечным сечением F см² плоским источником с удельной мощностью q_2 кал/см² сек, представляющим работу тока jF на контактном сопротивлении $R_{ом}$ (при нагреве сопротивлением) или на сопротивлении R перемычек металла между торцами (при нагреве плавлением) $q_2 = 0,24 R j^2 F$.

Удельное сопротивление металлов возрастает с температурой, причем особенно резко у ферромагнитных металлов (железа и стали) в α -фазе (фиг. 32). Для расчетов нагрева током в широком промежутке температуры следует учитывать температурную зависимость отношения удельного сопротивления ρ к объемной теплоемкости $c\gamma$. Эту зависимость приближенно описывают линейным соотношением

$$\frac{\rho}{c\gamma} = \frac{\rho_0}{(c\gamma)_0} (1 + \beta T). \quad (31)$$

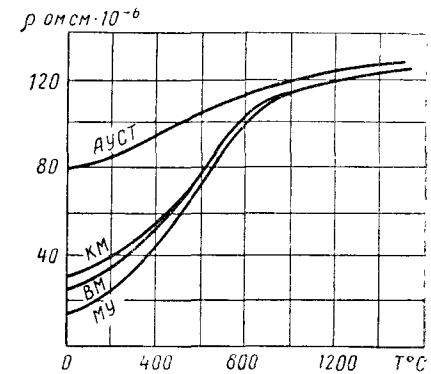
Расчетные значения отношения $\frac{\rho_0}{(c\gamma)_0}$ при нулевой температуре и температурного коэффициента β приведены в табл. 5 (см. стр. 36).

При сварке стержней в стык сопротивлением мощность дополнительного приконтактного источника q_2 , представляющего работу тока, сосредоточенного в приторцовой области у местных площадок соприкосновения, быстро убывает в ранней стадии процесса. Поэтому для расчета температуры нагрева в поздней стадии процесса приконтактный источник считают мгновенным, приложенным в момент начала нагрева ($t = 0$) с удельной теплотой

$$Q_2 = \frac{\mu \sqrt{\lambda c \gamma}}{\beta j \sqrt{0,24 \beta \frac{\rho_0}{(c\gamma)_0}}} = \frac{k}{j} \text{ кал/см}^2 \quad (32)$$

Здесь k и μ — расчетные коэффициенты, зависящие от свойств металла стержней и от удельного давления (см. табл. 5). Большим удельным давлением соответствуют меньшие значения расчетных коэффициентов.

При прерывистом подогреве стержней током перед оплавлением свариваемые торцы периодически замыкают и затем размыкают, обычно не менее 3—5 раз. Ток при последовательных замыканиях мало изме-



Фиг. 32. Изменение удельного сопротивления технических металлов с температурой (МУ — малоуглеродистая, ВМ — высокомарганцовистая, КМ — кремнемарганцовистая, Ауст — аустенитная электродная проволока).

Материал	$\frac{10}{(\sigma \gamma)_0} \cdot \frac{\text{м} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{с}^2}{\text{кал}}$	$\beta, 1/^\circ\text{C}$	μ	τ	$j^2, \frac{\text{а}^2 \cdot \text{сек}^2}{\text{см}^4}$	$k, \frac{\text{кал} \cdot \text{а}}{\text{см}^3}$
Сталь 10	$15 \cdot 10^{-6}$	$3,8 \cdot 10^{-3}$	2,6—3	1,27—1,21	$(93-89) \cdot 10^6$	$(0,19-0,24) \cdot 10^6$
Сталь 45	$22 \cdot 10^{-6}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	2,0—2,3	1,18—1,14	$(75-72) \cdot 10^6$	$(0,17-0,24) \cdot 10^6$
Сталь 25НЗ	$23,5 \cdot 10^{-6}$	$2,23 \cdot 10^{-3}$	1,6—1,8	0,98—0,94	$(78-75) \cdot 10^6$	$(0,21-0,25) \cdot 10^6$
Сталь инструментальная (0,1% С; 0,58% Мп; 12,2% Cr)	$35 \cdot 10^{-6}$	$1,36 \cdot 10^{-3}$	0,9—0,95	0,76—0,74	$(67-65) \cdot 10^6$	$(0,20-0,23) \cdot 10^6$
Сталь Р18	$50 \cdot 10^{-6}$	$0,64 \cdot 10^{-3}$	0,32—0,34	0,95	124—10*	$(0,18-0,22) \cdot 10^6$
Сталь нержавеющая (18-8)	$72 \cdot 10^{-6}$	$0,28 \cdot 10^{-3}$	0,07—0,08	0,30	62—10*	$(0,09-0,12) \cdot 10^6$
Алюминий	$5,65 \cdot 10^{-6}$	$2,33 \cdot 10^{-3}$	0,34—0,36	0,8	250—10*	$(0,17-0,18) \cdot 10^6$
Медь	$2,2 \cdot 10^{-6}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	0,14—0,15*	1,3—1,25	$(880-850) \cdot 10^6$	$(0,12-0,13) \cdot 10^6$

няется. Поэтому расчет процесса прерывистого подогрева можно вести по схеме непрерывного нагрева:

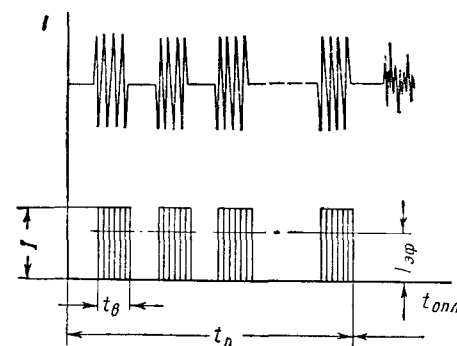
а) осредненным за все время процесса среднеквадратичным током с плотностью

$$j_{\text{эфф}} = j \sqrt{\frac{\sum t_{\text{в}}}{t_n}}, \quad (33)$$

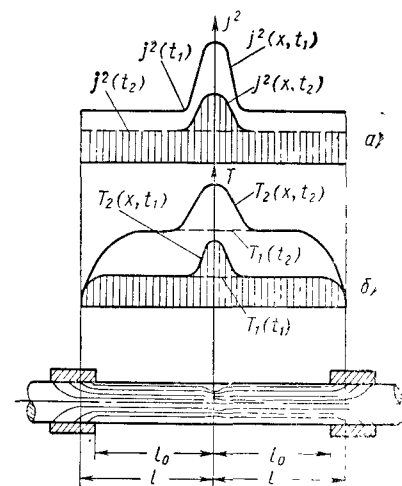
где t_n — общая длительность прерывистого подогрева в сек.; $\sum t_{\text{в}}$ — суммарная длительность периодов включения в сек. (фиг. 33);

б) длительным приконтактным источником с неизменяющейся за время процесса удельной мощностью q_2 , выражающейся через условное падение напряжения на контакте U_{κ} ,

$$q_2 = 0,24 U_{\kappa} j_{\text{эфф}}, \quad (34)$$



Фиг. 33. Схема изменения тока при прерывистом подогреве.



Фиг. 34. Распределение температуры по длине свариваемых стержней в начале (момент t_1) и в конце (момент t_2) процесса нагрева током при однократном замыкании

величину которого выбирают в пределах 0,4—0,6 в. Более высокие значения U_{κ} соответствуют интенсивному искрообразованию при малых скоростях движения зажима машины и большим сечениям свариваемых стержней.

Схема нагрева при стыковой контактной сварке. В процессе нагрева стержней при стыковой контактной сварке расчетную температуру рабочих участков целесообразно осреднить по поперечному сечению стержней. Хотя измеренная неравномерность, особенно в ранней стадии процесса, может быть значительной, в поздней стадии температура практически выравнивается. Практически важно оценить расчетом температуру рабочих участков свариваемых стержней, нагреваемых током и приконтактным источником.

Для расчета удобна схема неограниченного стержня, нагреваемого равномерно распределенным по длине неизменяющимся током и сосредоточенным приконтактным источником — мгновенным Q_2 или непрерывным q_2 . Эта схема хорошо описывает кратковременный процесс нагрева длинных рабочих участков стержней из малотеплопроводного металла при высокой плотности тока.

Температуру $T(x, t)$ рабочих участков представим суммой двух температур (фиг. 34)

$$T(x, t) = T_1(t) + T_2(x, t); \quad (35)$$

1) температуры $T_1(t)$ нагрева бесконтактного стержня неограниченной длины током j работающим на сопротивлении ρ , линейно возрастающим с температурой [соотношение (31)];

2) температуры $T_2(x, t)$ местного нагрева стержня приконтактным источником Q_2 или q_2 и током j , работающим на сопротивлении, пропорциональном температуре [второй член соотношения (31)].

Нагрев бесконтактного стержня. Температура нагрева неизменяющимся током $j = \text{const}$ стержня с сопротивлением, линейно возрастающим с температурой (31), выражается известным экспоненциальным законом (фиг. 35).

$$\beta T_1(t) = \exp \beta w_0 t - 1, \quad (36)$$

где $w_0 = 0.24 \frac{Q_0}{(c \gamma)_0} j^2$ — начальная скорость нагрева в $^\circ\text{C}/\text{сек}$.

Местный нагрев при сварке сопротивлением. Температуру местного нагрева однократно замкнутых стержней в поздней стадии процесса рассчитывают по схеме мгновенного плоского источника Q_2 [соотношение (32)] в неограниченном стержне, нагреваемом неизменяющимся током $j = \text{const}$.

$$T_2(x, t) = \frac{Q_2}{c \gamma \sqrt{4\pi\lambda t}} \exp\left(\beta w_0 t - \frac{x^2}{4\lambda t}\right). \quad (37)$$

Номограмма фиг. 36 представляет в безразмерной форме термические циклы точек стержня, находящихся на различных расстояниях от контактной плоскости. Этот график отражает сложную природу процесса, при котором ток работает на сопротивлении, повышающемся вследствие распространения теплоты мгновенного плоского источника Q_2 .

Чтобы сварить стержни в стык сопротивлением, необходимо нагреть плоскость контакта до определенной для данного металла температуры T_K лежащей ниже температуры плавления (для стали например, $1250-1350^\circ$) и прогреть околоконтактную зону длиной $2l_0$ выше температуры T_0 пластического деформирования (для стали $500-700^\circ$) с тем чтобы обеспечить достаточную пластическую осадку. Время нагрева компактного сечения до температуры T_K определяется из соотношений (35) — (37), полагая $x = 0$. Заданной температуре нагрева соответствует для данного материала определенная величина пронагрева $t^2 t_n$ (см. табл. 5). Таким образом необходимая длительность t_n нагрева для сварки в стык сопротивлением стержней из данного металла обратно-пропорциональна квадрату плотности тока.

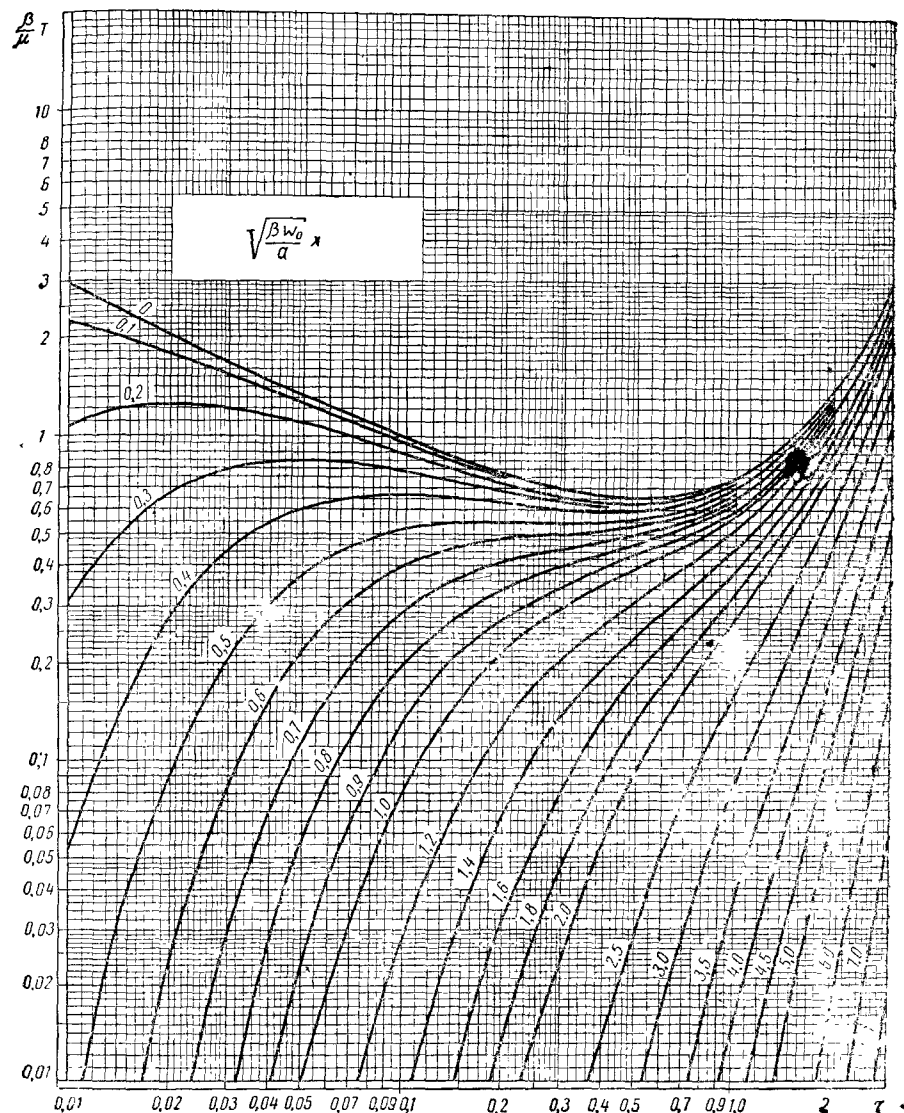
Распределение температуры по длине свариваемого стержня диаметром 25 мм из стали 25НЗ к концу нагрева током с плотностью 25 а/мм² длительностью 12.5 сек показано на фиг. 37.

Процесс выравнивания. Температуру в стадии выравнивания по окончании нагрева током длительностью t_n при однократном замыкании определим как сумму двух температур.

1) Температуры $T_1(x, t)$ в процессе выравнивания равномерно нагретого до температуры $T_1(t_n)$ рабочего участка длиной $2l$ в неограниченно длинном стержне.

$$T_1(x, t) = \frac{1}{2} T_1(t_n) \left[\operatorname{erf} \frac{x+l}{\sqrt{4a(t-t_n)}} - \operatorname{erf} \frac{x-l}{\sqrt{4a(t-t_n)}} \right], \quad t \geq t_n, \quad (38)$$

здесь $\operatorname{erf} u = \Phi(u)$ — функция интеграла Гаусса (см. приложение 1а).

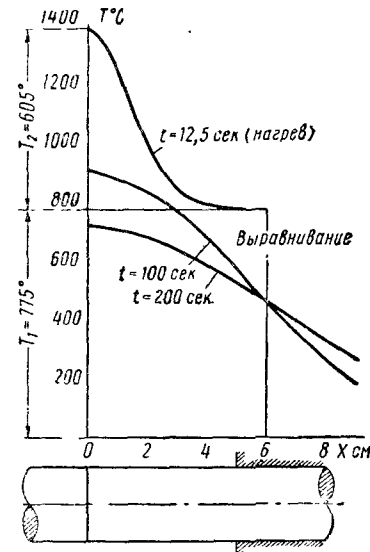


Фиг. 36 Местный нагрев стержня с сопротивлением, пропорциональным температуре, мгновенным плоским источником Q_2 и неизменяющимся током j ; зависимость безразмерной температуры $\beta \mu T$ от безразмерного времени $\beta w_0 t$ при различных значениях безразмерного расстояния $\sqrt{\beta w_0 / a} x$ от контакта.

2. Температуры $T_2(x, t)$ в процессе выравнивания местной нормально распределенной по оси OX температуры $T_2(x, t_n)$ с постоянной времени t_n выражаемой соотношением (37)

$$T_2(x, t) = \frac{Q_2}{c \gamma \sqrt{4\pi a t}} \exp\left(\beta w_0 t_n - \frac{x^2}{4at}\right); \quad t \geq t_n. \quad (39)$$

Расчитанное распределение температур для моментов времени $t = 100$ и 200 сек при расчетной длине нагретого участка 12 см показано на графике (фиг. 37)



Фиг. 37. Распределение температуры по длине свариваемых сопротивлением стержней: 1 — моменту окончания нагрева $t = 12,5$ сек., в процессе выравнивания $t = 100$ и 200 сек.

представлена в зависимости от безразмерного времени $\beta w_0 t$ графиком на фиг. 39. Здесь $\varepsilon = q_2 \sqrt{\frac{\beta}{\lambda c \gamma w_0}}$ — критерий мощности длительного плоского источника.

Нагрев при оплавлении после прерывистого подогрева. Стадия оплавления стержней, предварительно подогретых прерывистым сопротивлением, обычно непродолжительна, и ток с плотностью $j_{опл}$ в этой стадии меньше эффективного тока подогрева $j_{эфф}$. Скорость оплавления мало изменяется за время процесса. Опыты показывают, что распределение температуры в рабочих участках стержней, достигнутое к концу стадии прерывистого подогрева, мало изменяется за время стадии оплавления. Поэтому распределение температуры к концу оплавления приближенно считают одинаковым с распределением к концу стадии прерывистого подогрева (см. выше), но температуру оплавляемого торца полагают равной температуре плавления.

Нагрев стержней при непрерывном оплавлении. Сварку непрерывным оплавлением без подогрева ведут обычно при сравнительно низкой плотности

Местный прерывистый нагрев стержней током при сварке оплавлением. Температуру местного нагрева периодически замыкаемых и размыкаемых стержней рассчитывают по схеме плоского длительного источника постоянной удельной мощности q_2 [соотношение (34)] в неограниченном стержне, нагреваемом неизменяющимся во время процесса эффективным током с плотностью $j_{эфф}$ [соотношение (33)]

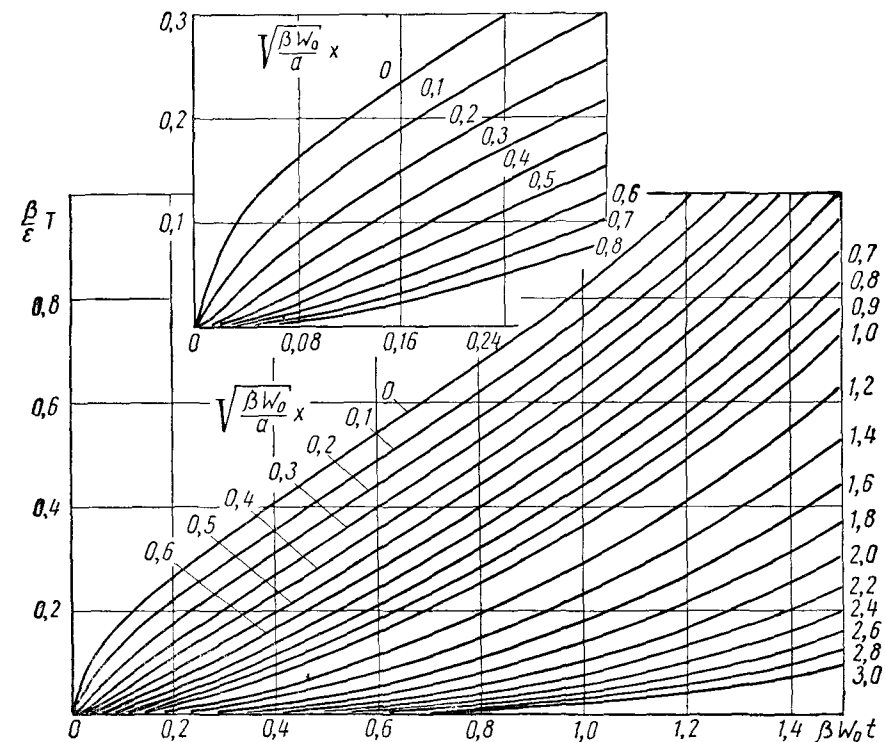
$$\beta T_2(x, t) = \frac{q_2 \sqrt{\beta}}{2 \sqrt{\lambda c \gamma w_0}} \times \exp\left[\beta w_0 t - \frac{x^2}{4at}\right] v\left(\sqrt{\beta w_0 t}; \frac{x}{\sqrt{4at}}\right). \quad (40)$$

Здесь $v(x, y)$ — мнимая часть интеграла вероятности от комплексного аргумента [4]. Термические циклы нагрева точек, находящихся на различных расстояниях x от контактной плоскости, представлены на фиг. 38 в безразмерной форме.

Полная температура контактного сечения $x = 0$ по выражениям (36) и (40)

$$\beta T(0, t) = [\exp \beta w_0 t - 1] + \frac{\varepsilon}{2} \exp \beta w_0 t v(\sqrt{\beta w_0 t}; 0) \quad (41)$$

тока, но с возрастающей скоростью, задаваемой перемещением подвижных зажимов машины. При таком процессе зона, прилегающая к оплавляемым торцам, постепенно прогревается, в основном, за счет теплопроводности от сосредоточенного в контактной плоскости источника и в меньшей мере — теплотой Ленца — Джоуля, выделяемой в объеме рабочих стержней. При оплавлении с равномерно возрастающей скоростью $v = st$, где s — ускорение в см/сек^2 , практи-



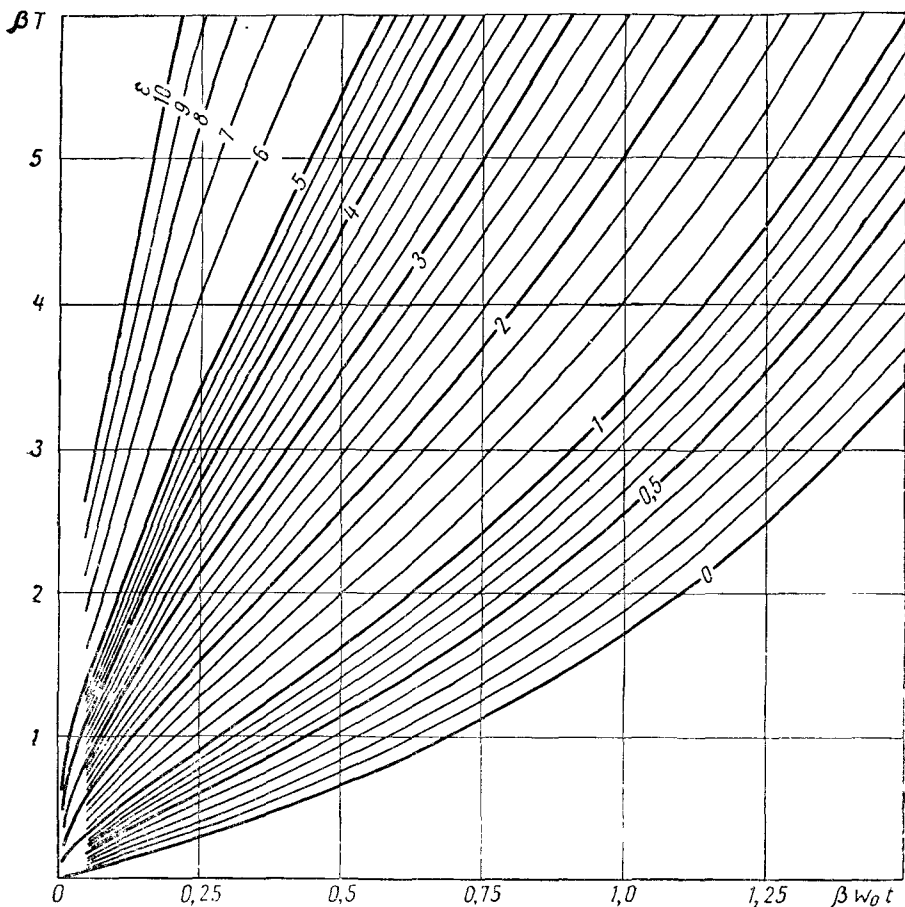
Фиг. 38. Местный нагрев стержня с сопротивлением, пропорциональным температуре, длительным плоским источником q_2 и изменяющимся током с плотностью j ; зависимость безразмерной температуры $\sqrt{\frac{\beta}{\lambda c \gamma w_0}} T$ от безразмерного времени $\beta w_0 t$ и безразмерного расстояния $\sqrt{\frac{\beta w_0}{a}} x$ от контакта.

чески мало изменяющееся в конечной стадии процесса, распределение температуры в околоконтактной области описывается эмпирическим выражением Б. Ниппса [7] (фиг. 40).

$$T(x) = T_{пл} \exp\left[-0,92 \left(\frac{s}{a^2}\right)^{1/3} x\right]; \quad (42)$$

здесь $T_{пл}$ — температура плавления металла в $^{\circ}\text{C}$; x — расстояние от оплавляемого торца в см .

При сварке оплавлением необходимо для обеспечения осадки прогреть, как и при сварке сопротивлением, зону длиной $2l_{ос}$ выше температуры T_{θ} .



Фиг. 39. Прерывистый подогрев стержней током при контактной сварке оплавлением; безразмерная температура βT контактного сечения в зависимости от безразмерного времени процесса $\beta \omega_0 t$ и критерия мощности $\varepsilon = q_2 \sqrt{\frac{\beta}{\lambda c \gamma \omega_0}}$; кривая $\varepsilon = 0$ соответствует бесконтактному нагреву.

Максимально допустимое ускорение $s_{\max}$ определяется из выражения (42).

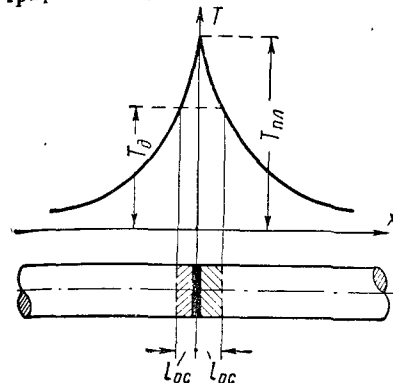
$$s_{\max} = 1,3 \frac{a^2}{l_{oc}^3} \left(\ln \frac{T_{nL}}{T_{\theta}} \right)^3. \quad (43)$$

Охлаждение стержней после сварки непрерывным оплавлением. Температура стыкового сечения после окончания процесса оплавления (после выключения тока) определяется из выражения

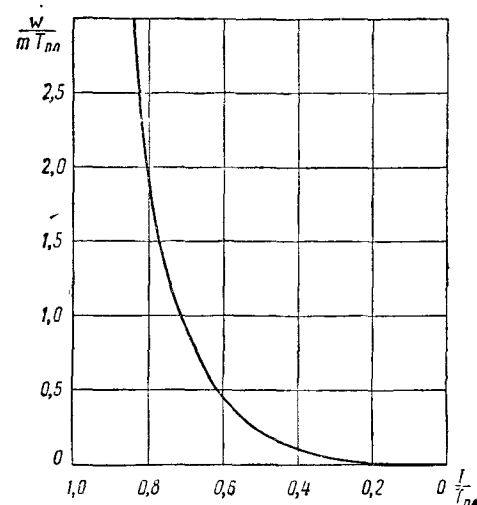
$$T(0, t) = T_{nL} \exp mt \operatorname{erfc} \sqrt{mt} \quad (44)$$

где t — время после выключения тока в сек., $m = 0,8 \xi \left(\frac{\kappa^2}{a} \right)^{1/3}$ в сек $^{-1}$.

В процессе остывания сваренного стыка мгновенной температуре T соответствует мгновенная скорость охлаждения w °C/сек, определяемая из графика на фиг. 41



Фиг. 40. Распределение температуры в стержнях к концу непрерывного оплавления с равномерно возрастающей скоростью.



Фиг. 41. Зависимость мгновенной скорости охлаждения w от температуры T в процессе остывания стыка, сваренного непрерывным оплавлением.

Нагрев при ролико-стыковой сварке труб [8]. При ролико-стыковой сварке труб со скоростью v околошовная зона металла нагревается током $I(t)$ на участке длиной s от точки A соприкосновения сворачиваемых кромок заготовки до точки A' , совпадающей с осью электродов (фиг. 42). Длина s составляет по данным опытов 8—12 мм при скорости сварки выше 12—15 м/мин.

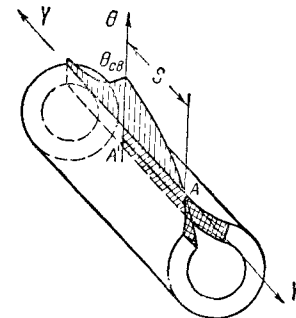
Расчет построен в предположении, что теплота выделяется в плоскости контакта и в околоконтактной зоне и распространяется только в направлении, нормальном к шву (схема быстродвижущегося источника). Мощность источника принята пульсирующей в соответствии с изменением тока по синусоиде с частотой f .

Температура стыка, нагреваемого током $I = I_{\max} \sin \omega t$ (где $I_{\max}$ — максимальный ток в а; ω — угловая частота) при среднем сопротивлении контакта mR_k в ом выразится

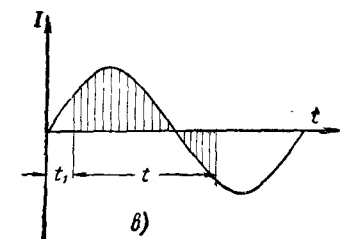
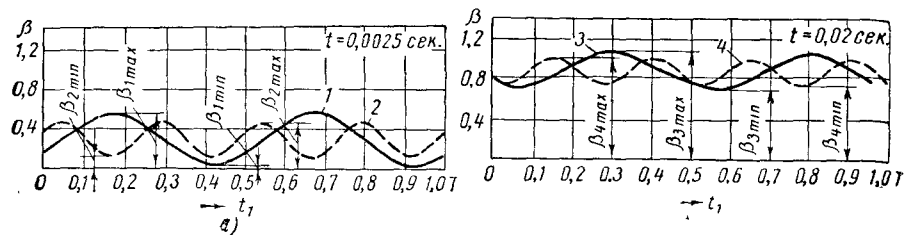
$$T(t) = 0,24 \frac{mR_k}{2} I_{\max}^2 \beta(t, t). \quad (45)$$

Коэффициент β зависит от длительности нагрева t и времени включения t_1 , отсчитываемого от момента, когда ток проходит через нуль (фиг. 43, б).

Равномерность провара по длине шва определяется отношением максимальной температуры к минимальной (фиг. 43, а). Это отношение тем ближе к единице, чем длительнее нагрев, т. е. чем ниже скорость сварки v (при данной длине участка s) и чем выше частота тока



Фиг. 42. Схема зоны нагрева и распределения температуры по плоскости стыка при ролико-стыковой сварке [8].



Фиг. 43. Изменение коэффициента β в зависимости от t_1 : 1 и 3 — при частоте тока 50 гц 2 и 4 — при частоте тока 100 гц [8]; в — схема изменений тока.

Нагрев при точечной сварке листов [9]. Необходимое для сварки отдельной точки количество теплоты $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$ расходуется:

1) на нагрев центрального столбика металла свариваемых листов толщиной 2δ с объемной теплоемкостью $c\gamma$, зажато между электродами диаметром d_0 , до расчетной температуры $T_{пл}$ (фиг. 44);

$$Q_1 = \frac{\pi}{4} d_0^2 2\delta c \gamma T_{пл}; \quad (46)$$

2) на нагрев кольца металла толщиной x , окружающего центральный столбик, до температуры $\frac{1}{4} T_{пл}$;

$$Q_2 = k_1 \pi x (d_0 + x) 2\delta c \gamma \cdot \frac{1}{4} T_{пл}; \quad (47)$$

где $x = 4 \sqrt{at}$; a — коэффициент температуропроводности металла листов; t — длительность нагрева; $k_1 = 0,8$ — коэффициент, учитывающий неравномерность нагрева кольца;

3) на нагрев прилегающего к контакту участка электродов толщиной x' до температуры $\frac{1}{8} T_{пл}$;

$$Q_3 = 2k_2 \frac{\pi}{4} d_0^2 x' c' \gamma' \cdot \frac{1}{8} T_{пл}; \quad (48)$$

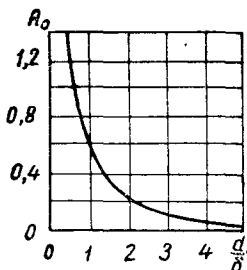
Фиг. 44. Распределение температуры при точечной сварке [9]: а — типовое температурное поле при сварке металлов с высокой (А) и низкой (Б) теплопроводностью (сталь) и в — расчетные схемы.

где $c' \gamma'$ — объемная теплоемкость металла электродов; k_2 — коэффициент, зависящий от формы электродов: при цилиндрическом электроде $k_2 = 1$; при коническом $k_2 = 1,5$; при сферической контактной поверхности $k_2 = 2$

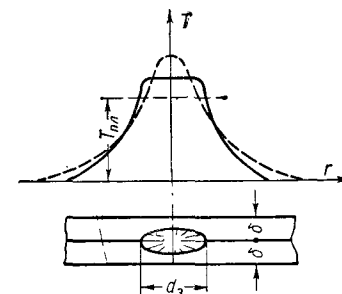
Задаваясь технологически целесообразной длительностью сварки t , можно рассчитать необходимый ток I_2 во вторичной цепи

$$I_2 = \sqrt{\frac{Q}{0,24 m R_{гор} t}}. \quad (49)$$

Здесь $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$ — [см. (46) — (48)]; m — коэффициент, учитывающий изменение сопротивления в процессе сварки; для стальных деталей $m = 1 \div 1,1$; для алюминиевых сплавов $m = 1,2 \div 1,4$; $R_{гор} = A_0 k \frac{Q_t}{\delta}$ — горячее сопротивление участка сварочной цепи между электродами; Q_t — удельное сопротивление нагретого металла для температуры, несколько меньшей температуры плавления для стали $1200-1300^\circ$; $k = 0,8 \div 0,9$ — коэффициент, учитывающий понижение сопротивления деталей вследствие растекания тока в менее нагретую зону металла; A_0 — коэффициент, зависящий от отноше-



Фиг. 45. График коэффициента A_0 для определения собственного сопротивления деталей при точечной сварке [9].



Фиг. 46. Распределение температуры в момент выключения тока при точечной сварке (сплошная линия) и эквивалентное нормальное распределение (шпунтир).

ния d_0/δ (фиг. 45); d_0 — диаметр, средний между диаметром электрода и диаметром точки.

Охлаждение сварной точки в листах толщиной δ после выключения тока и размыкания электродов описывается схемой мгновенного нормально-кругового источника в тонкой пластине с теплоотдачей (фиг. 46).

$$T(r, t) = \frac{Q}{4\pi\lambda 2\delta (t_0 + t)} \exp \left[-\frac{r^2}{4a(t_0 + t)} - \frac{\alpha t}{c \gamma \delta} \right]. \quad (50)$$

Здесь $Q = Q_1 + Q_2$ — количество теплоты, введенное в металл листа; t_0 — постоянная времени нормально распределенного источника, характеризующая распределение теплоты по радиусу в момент выключения тока, $t = 0$. Например, при сварке листов малоуглеродистой стали $\delta = 1,5$ мм, $t_0 = 0,5 \div 0,9$ сек.; меньшие значения соответствуют более жестким режимам. Это выражение описывает с достаточной точностью позднюю стадию процесса остывания, когда температура центральной точки падает ниже $0,5 T_{пл}$.

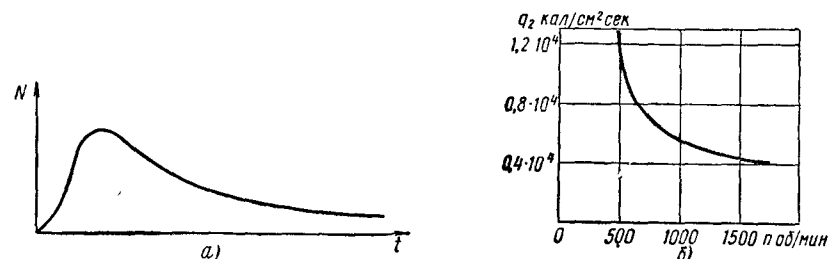
Мгновенная скорость w °C/сек охлаждения центральной точки

$$w = \frac{4\pi\lambda (T - T_0)^2}{\frac{Q}{2\delta}}, \quad \text{при } T < 0,5 T_{пл}; \quad (51)$$

где T_0 — начальная температура свариваемых листов. Скорость w обратно-пропорциональна количеству теплоты $\frac{Q}{2\delta}$, отнесенному к единице толщины свариваемых листов [см. выражение (22)].

НАГРЕВ СТЕРЖНЕЙ ПРИ СТЫКОВОЙ СВАРКЕ ТРЕНИЕМ [10]

Источник теплоты. При нагреве трением теплота выделяется в тонком приповерхностном слое металла, прилегающем к торцам трущихся стержней. Тепловая мощность q кал/сек источника, эквивалентная мгновенной работе трения за единицу времени, в начальной стадии процесса возрастает, достигает максимума, а затем постепенно падает, стремясь к установившемуся значению



Фиг. 47. Удельная мощность трения при нагреве стержней диаметром 20 мм из стали Ст.3 (В. И. Вилль): а — изменение за время процесса; б — зависимость средней удельной мощности от окружной скорости.

(фиг. 47, а). Удельная тепловая мощность q_2 кал/см² сек плоского источника в начальной стадии процесса распределена неравномерно по поперечному сечению стержней, причем наружная область нагревается быстрее внутренней. По мере прогрева приторцовоной зоны и развития пластических деформаций осадки

удельная тепловая мощность выравнивается по площади торцов. Для расчета длительности нагрева при сварке трением и термического цикла в околосварочной зоне можно полагать источник теплоты равномерно распределенным по сечению и неизменяющимся со временем. Расчетная мощность плоского источника выражается соотношением

$$q = kAvp = k \frac{\pi A}{60} f n P; \quad (52)$$

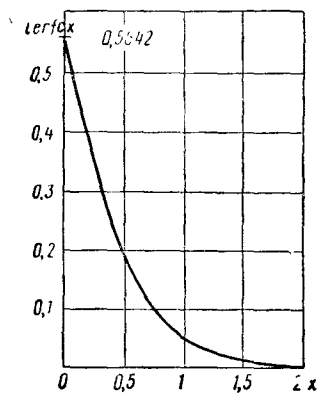
здесь P — осевое сжимающее усилие в кг; n — число оборотов вращающегося стержня в минуту; d — диаметр (наружный) свариваемых стержней в см; f — коэффициент трения скольжения на рабочей торцовой поверхности; p — удельное давление в кг/мм²; v — средняя линейная скорость относительного перемещения стержня в см/сек; A — тепловой эквивалент

механической работы, равный $2,34 \cdot 10^{-2}$ кал/кг см; k — коэффициент, зависящий от характера распределения удельной мощности трения по поперечному сечению торца; при равномерном распределении мощности $k = 1$; если мощность в круглом стержне возрастает пропорционально удалению от центра $k = \frac{2}{3}$.

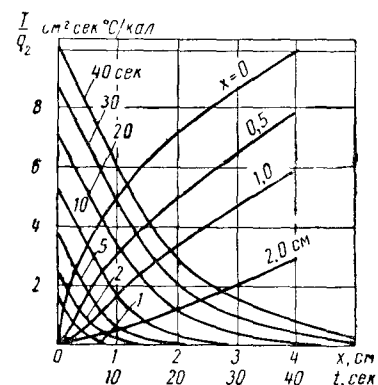
Коэффициент трения f на рабочей поверхности для данной пары трущихся металлов зависит от удельного давления, линейной скорости относительного перемещения и от температуры. С увеличением в известных пределах удельного

давления и средней линейной скорости v коэффициент трения падает (фиг. 48). Удельная тепловая мощность трения q_2 при вращении труб большого диаметра из среднеуглеродистой стали сравнительно мало изменяется — от 85 до 150 кал/см² сек. Таким образом, даже изменением основных параметров процесса трения в широких технологически доступных пределах нельзя существенно изменить его тепловую мощность. Удельная тепловая мощность при нагреве трением стержней из малоуглеродистой стали падает с увеличением окружной скорости (фиг. 47, б). По данным Р. И. Заксон и В. Д. Вознесенского значения коэффициентов трения при нагреве труб возрастали от 0,2—0,6 в начале процесса до 1—2,4 на основной стадии процесса (числа оборотов от 200 до 500 в минуту, удельное давление — от 1,2 до 3,8). Таким образом, величина коэффициента трения при сварке очень сильно зависит от относительной скорости, удельного давления и температуры. Приведенные выше значения f могут использоваться в расчетах только для условий, близких к экспериментальным.

Процесс нагрева. Процесс нагрева трением торцов стержней одинакового сечения, круглых или трубчатых, и из материала с одинаковыми теплофизиче-



Фиг. 49. График функции $\text{ierfc } u$.



Фиг. 50. Процесс нагрева торцовым трением стержней из малоуглеродистой стали ($\lambda = 0,1$ кал/см сек °С, $a = 0,08$ см²/сек); изохроны $t = \text{const}$ и кривые термического цикла $x = \text{const}$.

скими свойствами описывается схемой плоского источника с удельной мощностью q_2 , равномерно распределенной по площади торцов и неизменяющейся за время процесса в неограниченно длинном стержне с поверхностной теплоотдачей.

При нагреве стержней диаметром более 20 мм и труб с толщиной стенки, превышающей 15 мм можно пренебрегать влиянием поверхностной теплоотдачи; в этом случае температура выразится простым соотношением

$$T(x, t) = \frac{q_2 \sqrt{t}}{V \lambda c \gamma} \text{ierfc} \frac{x}{2 \sqrt{at}}; \quad (53)$$

здесь $\text{ierfc } u = \int_u^\infty \text{erfc } u \, du$ — функция, убывающая от $\pi^{-\frac{1}{2}} = 0,5642$ при $u = 0$ до нуля при $u = \infty$ (фиг. 49).

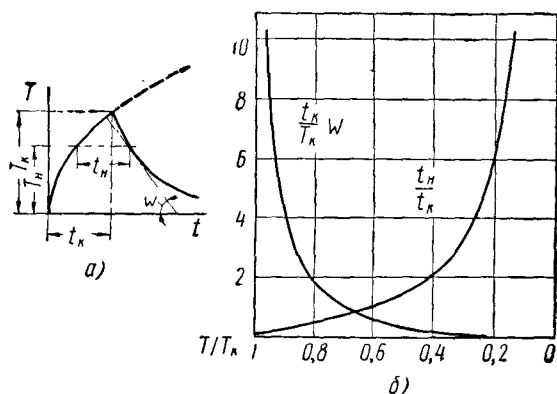
Температура контактного сечения для данного материала

$$T(0, t) = \frac{q_2 \sqrt{t}}{\sqrt{\pi \lambda c \gamma}} \quad (54)$$

неограниченно возрастает пропорционально корню квадратному из времени. Процесс нагрева стержней из малоуглеродистой стали при нагреве трением представлен изохронами и кривыми термического цикла (фиг. 50). Очевидно, что для нагрева трением контактного сечения свариваемых стержней из металла с заданными свойствами до заданной температуры T_k , обеспечивающей качественную сварку, длительность нагрева t_k обратно-пропорциональна квадрату удельной мощности трения

$$q_2^2 t_k = \pi \lambda c \gamma T_k^2 = \text{const.} \quad (55)$$

Процесс выравнивания. Температуру в стадии выравнивания по окончании нагрева длительностью t_k определим наложением по выражению (6) процессов



Фиг. 51. Процесс выравнивания температуры по окончании нагрева при сварке трением: а — схема термического цикла нагрева и охлаждения; б — зависимость длительности нагрева и скорости охлаждения от мгновенной температуры.

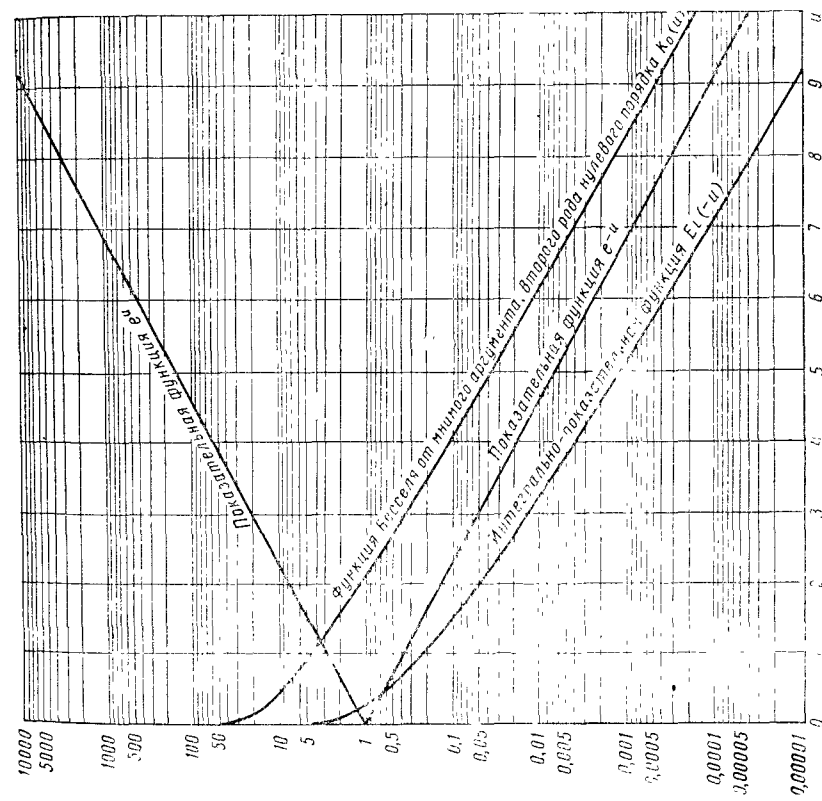
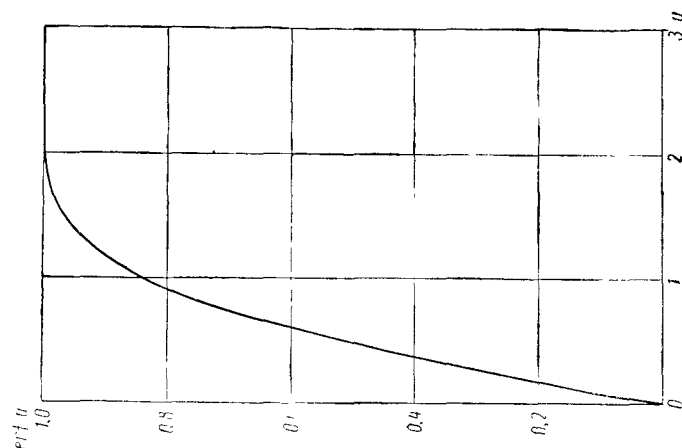
теплосыщения источника и стока тепла, представленных соотношением (53). Для контактного сечения в стержне без теплоотдачи температура в процессе выравнивания выразится

$$T(0, t) = \frac{q_2}{\sqrt{\pi \lambda c \gamma}} (\sqrt{t} - \sqrt{t - t_k}); \quad t \geq t_k. \quad (56)$$

Характеристики термического цикла контактного сечения, — длительность нагрева t_n выше температуры T , меньшей, чем температура T_k , и мгновенную скорость охлаждения w °C/сек при данной температуре T , определим из графика (фиг. 51). При сварке металла с заданными свойствами и характерными температурами длительность нагрева t_n , как и общая длительность нагрева при сварке t_k , обратно-пропорциональна квадрату удельной тепловой мощности q_2 , а скорость охлаждения при данной температуре пропорциональна квадрату удельной

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Графики специальных функций, встречающихся в формулах



ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Расчетные коэффициенты для различных металлов и сплавов

Материал	Средняя температура $T_{ср}$ в °C	Коэффициент теплопроводности λ в кал/см сек °C	Объемная теплоемкость $c\gamma$ в кал/см³ °C	Коэффициент температуропроводности a в см²/сек
Малоуглеродистая сталь и низколегированные стали . .	500—600	0,09—0,1	1,20—1,25	0,075—0,09
Нержавеющие аустенитные стали . . .	600	0,06—0,08	1,13—1,15	0,053—0,07
Медь	400	0,88—0,9	0,92—0,95	0,95 —0,96
Латунь	350—400	0,28	0,83	0,34
Алюминий	300	0,65	0,65	1,0
Технический титан .	700	0,04	0,68	0,06

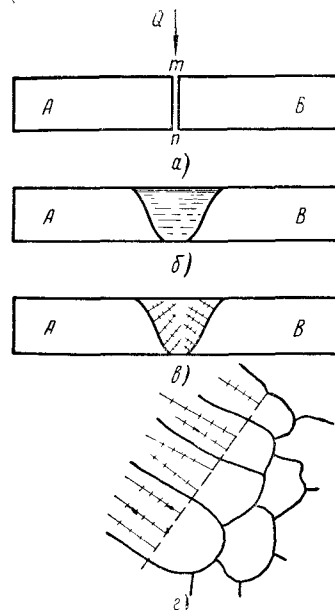
ЛИТЕРАТУРА

1. Рыкалин Н. Н., Тепловые основы сварки, ч. 1, АН СССР, М. — Л. 1947.
2. Рыкалин Н. Н., Расчеты тепловых процессов при сварке, Машгиз, М. 1951.
3. Тепловые процессы при сварке, Труды секции по научной разработке проблем электросварки и электротермии АН СССР, вып. 2, 1953.
4. Тепловые процессы при контактной сварке, Сб. трудов лаборатории сварки металлов, Институт металлургии им. А. А. Байкова АН СССР, Издательство АН СССР, М. 1959.
5. Руководящие и справочные материалы по газопламенной обработке металлов. Нагрев металлов газовым пламенем, Госхимиздат, 1954.
6. Петруничев В. А., О распределении теплового потока дуги при сварке под флюсом, «Сварочное производство» № 4, 1958.
7. Nippes E. F. and others, Welding Journal, 1955, № 6.
8. Жуковский Б. Д., Теория нагрева металла при ролино-стыковой сварке труб, «Автогенное дело» № 1, 1953.
9. Гельман А. С., Технология контактной сварки, Машгиз, 1952.
10. Статьи В. И. Вилля, Н. П. Рыкалина, А. И. Пугина и В. А. Васильевой, А. С. Гельмана и М. П. Сандера, Р. И. Заксона и В. Д. Вознесенского, «Сварочное производство» № 10, 1959.

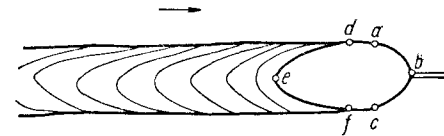
ГЛАВА III

МЕТАЛЛУРГИЯ СВАРКИ СТАЛИ ПЛАВЛЕНИЕМ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ЗОНЫ ПЛАВЛЕНИЯ (СВАРОЧНОЙ ВАННЫ)

Природа сварки плавлением. При сварке плавлением кромки свариваемого металла и присадочный материал подвергаются расплавлению. Это приводит к образованию ванны жидкого металла — сварочной ванны, общей для свариваемых деталей (фиг. 1). Под зоной плавления (сварочной ванной) следует понимать как собственно ванну жидкого металла, так и капли, образующиеся на конце присадочного материала (электрода), а также капли в процессе их перехода через дуговой или шлаковый промежуток (дуговая, электрошлаковая сварка). При охлаждении ванны центрами кристаллизации жидкого металла являются непольностью оплавленные зерна основного металла, расположенные на границе расплавления, к решетке которых и пристраиваются атомы кристаллизующейся фазы. В результате после завершения процесса кристаллизации на бывшей границе расплавления образуются общие зерна (кристаллиты),



Фиг. 1. Схема процесса сварки плавлением: а — соединяемые элементы А и В в момент разогрева источником тепла Q свариваемых кромок mn ; б — то же, в момент образования сварочной ванны, в — то же, после кристаллизации шва; в — схема образования общих зерен на границе расплавления (пунктирная линия).



Фиг. 2. Схема подвижной сварочной ванны в плане при выполнении протяженных швов. Стрелкой указано направление перемещения ванны (источника тепла) относительно свариваемых изделий.

состоящие частично из металла шва, а частично из основного металла [1]. [2], что и обеспечивает в сварном соединении непрерывную металлическую связь «основной металл — шов — основной металл».

При сварке протяженных швов источник тепла перемещается вдоль свариваемых кромок и образует подвижную сварочную ванну (фиг. 2). В передней части ванны (линия abc) протекает процесс плавления, в тыльной части (линия

α_1 — процент кристаллизации. Таким образом, по мере продвижения источника тепла и сопутствующей ему ванны происходит непрерывное формирование шва.

Протяженность сварочной ванны. В зависимости от природы источника тепла (дуга, газовое пламя, электрошлаковый нагрев и др.) его тепловой мощности и технологических режимов сварки, свойств свариваемого материала и других факторов размеры сварочной ванны могут существенно изменяться.

Теория распространения тепла при сварке [3] позволяет для сосредоточенных источников (например, сварочные дуги) дать следующие выражения длины сварочной ванны [4].

а) при наплавке валика на металл большой толщины

$$l = K_1 UI, \quad (1)$$

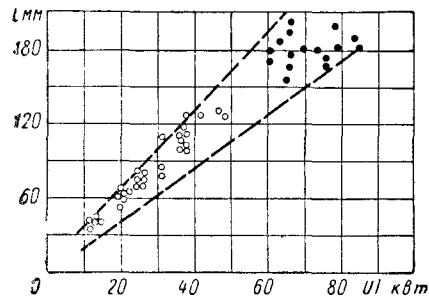
б) при односторонней сварке в стык пластин достаточной толщины для стали $\delta \geq 5$ мм

$$l = K_2 \frac{(UI)^2}{v \delta^2} \quad (2)$$

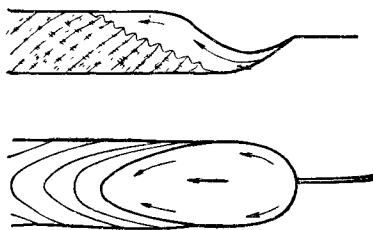
где l — длина сварочной ванны в мм, UI — произведение тока в дуге на ее напряжение; v — скорость перемещения дуги в мм/сек; K_1 и K_2 — коэффициенты, определяемые из опыта; δ — толщина пластины.

При постоянном сечении шва или наплавки отношение мощности дуги к скорости ее перемещения постоянно, и зависимость (2) сводится к выражению (1). Хотя эти условия строго не поддерживаются тем не менее при автоматической дуговой сварке уравнение (1) дает довольно хорошую сходимость с опытными данными [5] (фиг. 3).

Коэффициент пропорциональности K_1 при сварке углеродистой стали под флюсом можно брать равным $2,8 \div 3,6$ мм/квт, при ручной сварке открытой дугой качественными электродами — $1,7-2,3$ мм/квт.



Фиг. 3. Длина сварочной ванны под флюсом в зависимости от произведения UI . Кружки — данные Рыкалина и Любавского [4], сплошные кружки — данные Любавского и Лазаренко [5].



Фиг. 4. Схем. потоков в сварочной ванне.

Оценка длительности пребывания металла в сварочной ванне. Жидкий металл находится в сварочной ванне в состоянии непрерывного движения и перемешивания. Схема потоков металла в ванне при дуговой и газовой сварке показана на фиг. 4. Эти потоки вызываются давлением газов на поверхность жидкого металла в зоне приложения источника тепла, а также другими факторами (например, пинч-эффект при сварке короткой дугой). Под давлением газов жидкий металл вытесняется из зоны приложения источника в направлении обратного его перемещения, что приводит к образованию местного углубления в сварочной ванне. В ряде случаев (газовая сварка, сварка открытой дугой, сварка

под флюсом) давление газов на сварочную ванну носит периодический характер, что, в частности, может быть связано с колебанием горелки или электрода. Это приводит к тому, что вытеснение жидкого металла из зоны действия источника тепла носит также волновой периодический характер [6].

В зависимости от конкретных условий сварки время пребывания жидкого металла в сварочной ванне может колебаться в широких пределах. Среднее время пребывания каждого элементарного объема жидкого металла в сварочной ванне может быть подсчитано из отношения

$$t_{cp} = \frac{G_s}{g_c}$$

где t_{cp} — среднее время пребывания металла в ванне в сек.; G_s — вес жидкого металла сварочной ванны в г, g_c — вес металла, переплавленного в зоне сварки в единицу времени, в г/сек.

Для сравнительной оценки длительности металлургического процесса сварки можно пользоваться величиной t_{max} (максимальное время пребывания металла в сварочной ванне в сек.) [5]

$$t_{max} = \frac{l}{v}$$

где l — длина ванны в мм; v — скорость перемещения ванны в мм/сек.

Пользуясь опытными данными, можно для некоторых условий сварки определять величину t_{max} . В табл. 1 приведены значения t_{max} при дуговой сварке углеродистой стали открытой дугой и под флюсом.

1. Величина t_{max} при различных методах и режимах дуговой сварки углеродистой стали

Толщина материала в мм	Метод сварки	Режим сварки			t_{max} в сек.
		Ток в а	Напряжение на дуге в в	Скорость сварки в м/час	
5	Автоматическая под флюсом	575	36	50	4,43
11		840	37	41	8,20
16				20	16,50
23				18	25,10
30		1560	40	16	41,80
—	Ручная	150—200	—	3	24,0
—				7	10,0
—				11	6,5

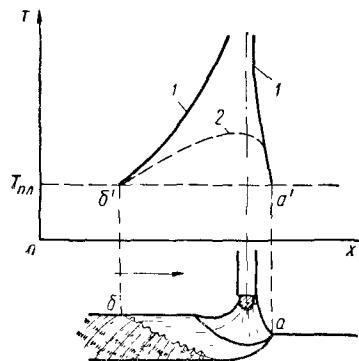
Температура металла в зоне плавления. Реакционная зона. Рассмотрение процессов, протекающих в сварочной ванне, требует хотя бы приблизительного представления о распределении температуры и максимально возможном ее уровне. В настоящее время еще не имеется достаточного количества опытных данных по этому вопросу. Калориметрическое определение средней температу-

гурь жидкой ванны при автоматической сварке малоуглеродистой стали под флюсом привело к получению величины $T_{ср} = 1770 \pm 100^\circ \text{C}$ [7], значительно превышающей точку плавления малоуглеродистой стали ($\sim 1530^\circ \text{C}$). Так как периферийные слои сварочной ванны имеют температуру, близкую к точке плавления, передний участок ванны, находящийся под непосредственным действием источника тепла (дуги), нагревается до температуры, превышающей среднюю.

На фиг. 5 дана схема распределения температуры по длине сварочной ванны при дуговой сварке (сплошная линия). На основании данных о температуре каплей жидкого металла, стекающих в ванну, можно предполагать, что максимальная температура металла в зоне плавления при сварке малоуглеродистой стали приближается к 2300°C . Сказанное подтверждается опытными данными, приведенными в табл. 2.

2. Температура каплей жидкого металла при дуговой сварке электродами из малоуглеродистой стали [8] — [10]

Ток дуги в а	Температура каплей в $^\circ \text{C}$
185—195	2245 ± 45
235—240	2340 ± 50
200—240	2310 ± 30
200	2317



Фиг. 5. Схема распределения температуры по длине сварочной ванны: 1 — дуга прямого действия; 2 — дуга косвенного действия или газовое пламя.

Температура поверхности капли на конце плавящегося электрода и поверхности ванны контактирующих с дугой (катодное и анодное пятна), находится на еще более высоком уровне (табл. 3).

Таким образом, при дуговой сварке жидкий металл в зоне плавления претерпевает значительные изменения температур — сначала нагрев от точки плавления до максимальной температуры, затем охлаждение до точки затвердевания.

При других источниках тепла (дуга косвенного действия, газовое пламя и т. п.) температурные изменения в зоне сварки носят качественно аналогичный характер, только абсолютные значения температуры будут иными (пунктирная линия на фиг. 5).

3. Температура катодного и анодного пятен при дуговом разряде [11]

Материал электродов	Среда	Ток в а	Температура в $^\circ \text{C}$		Температура кипения материала электрода в $^\circ \text{C}$
			Катод	Анод	
Медь	Воздух	10—20	2200	2450	2560
Железо		4—17	2400	2600	3000
Никель		4—20	2370	2450	3100
Вольфрам		—	2540	220	3000

В табл. 4 приведены результаты пирометрического измерения температуры в ванне жидкого металла при газовой сварке; по-видимому, они относятся к максимальным значениям температуры в поверхностных слоях ванны.

4. Температура ванны жидкого металла при газовой сварке

Отношение $\frac{\text{O}_2}{\text{C}_2\text{H}_2}$ в горючей смеси	Температура в $^\circ \text{C}$
1,1	1560 1620
1,2 1,3	1625
1,4	1620

Температурный режим зоны плавления (подъем температуры до максимального значения и последующий спад) приводит к тому, что в различных участках ее наряду с процессами одного направления могут протекать взаимно-обратные процессы, как, например, абсорбция жидким металлом газов и последующее их выделение; восстановление некоторых элементов из флюса (шлака) и последующее их окисление и др., испарение отдельных составляющих жидкого металла и последующая их конденсация.

Некоторые процессы взаимодействия металла с контактирующими фазами протекают с наибольшей интенсивностью в высокотемпературных участках сварочной ванны (при плавлении электрода, переходе капли через дуговой промежуток или шлак и в передней части ванны), так как здесь число активированных молекул наибольшее. Эту часть зоны плавления называют реакционной зоной. По мере спада температуры процессы взаимодействия затухают или (из-за сдвига состояния равновесия) начинают протекать в обратном направлении. Однако скорость протекания обратных процессов в низкотемпературной части сварочной ванны ниже по сравнению со скоростью прямых процессов в наиболее горячей ее части. Этим, в основном, объясняется тот факт, что количество прореагировавшего вещества при прямом процессе в некоторых случаях оказывается больше, чем при обратном. Поэтому в закристаллизовавшемся шве часто наблюдается прирост (или недостаток) того или иного элемента по сравнению с его исходной концентрацией в сварочной ванне.

Степень развития этих процессов определяется многими факторами — природой источника тепла, составом взаимодействующих фаз (металлы — газовая фаза, металл — шлак и т. п.), поверхностью их взаимного контакта, условиями транспортировки реагирующих материалов к месту контакта фаз, временем пребывания металла в зоне плавления и др.

Доли участия основного и присадочного материалов в образовании ванны (шва). Исходная концентрация элементов в зоне плавления и их аналитическая концентрация в шве. О полноте реакций, протекающих в зоне плавления, можно судить на основании сопоставления исходной концентрации того или иного элемента в ней — $[Me]_a$ и его содержания в металле шва — $[Me]_{ш}$ (аналитическая концентрация в шве).

Исходная концентрация рассматриваемого элемента приблизительно может быть подсчитана, если известна доля участия основного металла a , присадочного материала b , а также металлических добавок во флюс или покрытие c в образовании сварочной ванны.

Доли участия a , b и c можно определить следующим образом. Если известна геометрия соединения подготовленного под сварку, в поперечном сечении шва, то можно считать в первом приближении площадку F_a (фиг. 6) пропорциональной массе проплавленного основного металла, а площадку F_{bc} — массе наплавленного

присадочного металла и металлической добавки во флюс или покрытие. Обозначив отношение $\frac{F_a}{F_{bc}}$ через m , получим

$$\frac{a}{b+c} = \frac{F_a}{F_{bc}} = m. \quad (3)$$

Зная отношение веса расплавленного покрытия (или флюса) к весу расплавленной присадочной проволоки K_b , можно написать

$$\frac{c}{b} = K_b (\text{Me}) \psi = n, \quad (4)$$

где (Me) — доля металлической добавки во флюсе (покрытии); ψ — доля перешедшей в ванну металлической добавки (в приближенных расчетах можно принять равной единице).

Учитывая, что

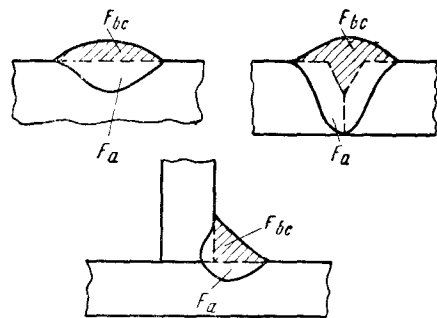
$$a + b + c = 1, \quad (5)$$

и решая уравнения (3)–(5) совместно, получим

$$a = \frac{m}{m+1}; \quad (6)$$

$$b = \frac{1}{(m+1)(n+1)}; \quad (7)$$

$$c = \frac{n}{(m+1)(n+1)}. \quad (8)$$



Фиг. 6. Площади проплавления (F_a) и несплавления (F_{bc}) при сварке плавлением.

Обозначим соответственно через $[Me]_a$, $[Me]_b$, $[Me]_c$ процентное содержание элемента [Me] в основном металле, присадочном материале и металлической добавке во флюсе (или покрытии). Тогда исходная концентрация элемента в сварочной ванне может быть выражена следующим образом:

$$[Me]_u = a [Me]_a + b [Me]_b + c [Me]_c. \quad (9)$$

Сопоставление величины $[Me]_u$ с содержанием элемента [Me] в шве $[Me]_{sh}$ позволяет судить о тех изменениях, которые претерпела концентрация этого элемента в процессе металлургического цикла сварки. Обозначим прирост (убыль) элемента через $\Delta[Me]$.

$$\pm \Delta[Me] = [Me]_{sh} - [Me]_u.$$

Если величина $\Delta[Me]$ положительна, имеет место прирост элемента за счет его перехода из шлака или газовой фазы; при отрицательном значении $\Delta[Me]$ наблюдается переход элемента в газовую или шлаковую фазы; при $\Delta[Me] = 0$ концентрация элемента [Me] изменений в процессе сварки не претерпевает.

Часто пользуются понятием суммарного коэффициента усвоения

$$\eta_s = \frac{[Me]_{sh}}{[Me]_u} \quad (10)$$

Степень усвоения элементов сварочной ванной является различной в зависимости от того пути, посредством которого элемент поступает в ванну (основной металл, присадочная проволока, флюс или покрытие). Обозначая через η_a , η_b и η_c соответственно коэффициенты усвоения элемента [Me] из основного

металла, присадочного материала и металлической добавки во флюс (или покрытие) и принимая во внимание, что

$$[Me]_u = a [Me]_a \eta_a + b [Me]_b \eta_b + c [Me]_c \eta_c,$$

получим

$$\eta_s = \frac{a [Me]_a \eta_a + b [Me]_b \eta_b + c [Me]_c \eta_c}{[Me]_u}.$$

Коэффициенты η_a , η_b , η_c определить раздельно не всегда возможно. В частных случаях, когда рассматриваемый элемент вводится только одним путем, например, через флюс (или покрытие),

$$\eta_s = \frac{c [Me]_c \eta_c}{[Me]_u} = \eta_c.$$

Суммарный коэффициент усвоения η_s может иметь значения меньше или больше единицы, в зависимости от того, происходит ли потеря рассматриваемого элемента жидким металлом ($\eta_s < 1$) или в нем имеет место прирост концентрации элемента ($\eta_s > 1$); при $\eta_s = 1$ концентрация рассматриваемого элемента в металле в процессе его переплавки в сварочной ванне изменений не претерпевает.

Применение термодинамики при изучении процессов, протекающих в зоне плавления. Для изучения реакций, протекающих в сварочной ванне, с точки зрения качественной оценки и наиболее вероятного их направления следует применять термодинамический метод, базирующийся на понятии термодинамического равновесия.

Термодинамическое равновесие любой системы определяется тем, что концентрации всех присутствующих в ней веществ остаются неизменными как угодно долго, если температура и давление постоянны.

Металл в зоне плавления и контактирующие с ней фазы (шлак, покрытие, газ) непрерывно изменяют свою температуру (фиг. 5). Кроме того, зона плавления непрерывно разбавляется новыми порциями еще непрореагировавших веществ (расплавление присадочного и проплавление основного материала, плавление флюса и покрытия, подача в зону сварки защитного газа и т. д.). Следовательно, понятие термодинамического равновесия неприменимо к зоне плавления в целом. Тем не менее это понятие, а также расчетные и опытные данные о константах равновесия отдельных реакций оказываются весьма полезными для анализа металлургических реакций при сварке по следующим причинам:

а) в любом обособленном (элементарном) объеме зоны плавления (гомогенном или гетерогенном) реакции стремятся к состоянию равновесия; поэтому термодинамические данные по тем или иным реакциям (константа равновесия и ее температурная зависимость, изменение свободной энергии и др.) позволяют в некоторых случаях предсказать наиболее вероятное направление этих реакций в отдельных участках зоны плавления;

б) в обособленных (элементарных) объемах газовой фазы вследствие большой скорости протекания реакций можно предполагать достижение состояния, близкого к равновесному; это дает основание по исходному составу газовой фазы, соответствующему нормальной температуре, приблизительно подсчитать ее состав, отвечающий температуре сварки, и получить представление о степени ее активности по отношению к жидкому металлу.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА В ЗОНЕ ПЛАВЛЕНИЯ С КИСЛОРОДОМ (ОКИСЛЕНИЕ МЕТАЛЛА ПРИ СВАРКЕ)

Основные пути окисления металла в зоне плавления

В практике сварки во многих случаях приходится считаться с возможностью окисления жидкого металла кислородом воздуха, свободным кислородом газовой фазы, поверхностными окислами и др.

Некоторые металлы ни в жидком, ни в твердом состояниях практически не растворяют кислорода (алюминий, магний и др.). Окисление этих метал-

лов в процессе сварки приводит к образованию обособленной фазы, окислов, которые могут находиться либо в виде поверхностной пленки, либо в виде отдельных частиц, взвешенных в жидком металле. Вместе с тем, такие металлы, как железо, медь, никель, титан, обладают способностью, хотя и ограниченной, растворять кислород (табл. 5); при этом растворимость кислорода в жидкой фазе значительно выше, чем в твердой, и возрастает с повышением температуры. Окисление указанных металлов в процессе сварки сопровождается растворением образующихся окислов в ванне жидкого металла до тех пор, пока концентрация кислорода в ней не достигнет предела насыщения.

5. Данные о растворимости окислов в образующих их металлах [12]

Окислы	Температура плавления в °С	Растворимость в соответствующем металле	Окислы	Температура плавления в °С	Растворимость в соответствующем металле
FeO Fe ₂ O ₃ Cu ₂ O	1420 1538 1235	Растворим Нерастворим Растворим	NiO	Разлагается	Растворим
			ZnO MgO	1800 2800	Нерастворим
Al ₂ O ₃ SiO ₂	2050 1777	Нерастворим	TiO	1750	Растворим

Так как практически приходится сваривать не чистые металлы, а сплавы, то при наличии окислительных условий может иметь место не только окисление металлической основы сплава, но и входящих в него примесей. Возможность окисления той или иной примеси (элемента) определяется ее средством к кислороду при данной температуре; оно зависит от концентрации примеси и упругости диссоциации ее оксида в свободном состоянии.

Окисление металла в сварочной ванне может происходить различными путями, если имеется одно или несколько из указанных ниже условий:

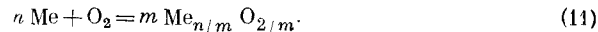
а) наличие в газовой фазе свободного кислорода (например, при сварке открытой, в особенности незащищенной, дугой) или сложных газовых молекул (CO₂, H₂O), способных при диссоциации выделять кислород;

б) присутствие на свариваемых кромках окислов, способных при взаимодействии с жидким металлом окислять его;

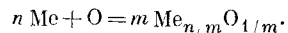
в) наличие в шлаке окислов, растворимых в металлической ванне;

г) использование для сварки химически активных шлаков, вступающих в обменные окислительно-восстановительные реакции с металлом сварочной ванны.

Окисление свободным кислородом газовой фазы. Если в газовой фазе имеется свободный (молекулярный) кислород, он может реагировать с металлом по реакции



При дуговой сварке вследствие высокой температуры газов столба дуги (5000—6000° К) наряду с молекулярным имеется и атомарный кислород. В этом случае окисление может идти также по реакции



Окисление железа атомарным кислородом протекает более интенсивно, чем молекулярным. Однако, исходя из приближенного характера приведенных ниже термодинамических данных, а также ограниченного верхнего температурного уровня жидкого металла в зоне сварки можно в первом приближении допустить, что окисление идет в соответствии с реакцией (11).

Когда металл и его окисел являются конденсированными фазами и не находятся в растворе, константа равновесия реакции (11) выражается одним парциальным давлением кислорода

$$K_p = p_{\text{O}_2}$$

где p_{O_2} — равновесное парциальное давление кислорода для реакции образования или диссоциации окислов, называемое упругостью диссоциации оксида и характеризующее его химическую прочность при данной температуре. В данном случае величина упругости диссоциации оксида позволяет судить о том, является ли среда по отношению к металлу окислительной, равновесной (нейтральной) или же восстановительной. Если действительное парциальное давление кислорода в газовой фазе обозначить через $\{p_{\text{O}_2}\}$, то при $\{p_{\text{O}_2}\} = p_{\text{O}_2}$ газовая фаза является по отношению к металлу нейтральной (пассивной) по кислороду. $\{p_{\text{O}_2}\} > p_{\text{O}_2}$ газовая фаза относительно металла носит окислительный характер; $\{p_{\text{O}_2}\} < p_{\text{O}_2}$ газовая фаза является восстановительной.

Значения упругости диссоциации металлических окислов при различных температурах приведены в табл. 6, графическое изображение их — на фиг. 7.

Упругости диссоциации окислов некоторых элементов при температурах, превышающих точку кипения этих элементов (например, Р, Са, Mg, Mn) подсчитывались исходя из допущения, что парциальное давление их паров равно 1 атм.

6. Упругость диссоциации металлических окислов

Температура		Логарифм упругости диссоциации окислов						
в °С	в К	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	V ₂ O ₅	TiO ₂	Al ₂ O ₃
600	873	—24,95	—42,8	—38,5	—35,7	—42,5	—45,3	—54,9
800	1073	—18,9	—33,1	—29,9	—27,3	—31,9	—35,2	—42,6
1000	1273	—14,8	—28,4	—24,0	—21,6	—25,5	—28,3	—34,5
1200	1473	—11,8	—21,5	—19,7	—17,4	—20,8	—23,2	—28,5
1400	1673	—9,5	—17,8	—16,3	—14,3	—17,3	—19,4	—23,9
1540	1813	—8,32	—15,5	—14,3	—12,5	—15,24	—17,1	—21,3
1600	1873	—7,8	—14,6	—13,5	—11,8	—14,5	—16,2	—20,3
1800	2073	—6,5	—12,2	—11,6	—8,7	—12,2	—13,9	—17,4
2000	2273	—5,3	—10,2	—10,1	—8,0	—10,4	—12,3	—15,1
2300	2573	—3,9	—7,9	—8,4	—6,0	—8,2	—9,0	—11,7

Температура		Логарифм упругости диссоциации окислов							
в °С	в °К	MgO	CaO	ZrO ₂	WO ₂	MoO ₂	NiO	CoO	Cu ₂ O
600	873	—62,5	—71,5	—	25,0	—27,0	—19,8	—20,2	—12,5
800	1073	—48,6	—51,3	—40,0	—18,6	—19,7	—14,2	—15,2	—8,8
1000	1273	—39,1	—41,5	—32,5	—14,3	—15,6	—10,4	—10,5	—6,2
1200	1473	—31,7	—34,4	—27,1	—11,1	—12,4	—7,6	—8,2	—4,3
1400	1673	—25,3	—28,9	—22,9	—8,7	—10,3	—5,5	—7,4	—3,0
1540	1813	—21,8	—25,4	—20,5	—7,34	—8,7	—4,3	—6,7	—2,4
1600	1873	—20,2	—23,9	—19,6	—6,8	—8,2	—3,8	—5,9	—2,1
1800	2073	—17,2	—19,5	—17,1	—5,3	—6,8	—2,4	—5,0	—1,3
2000	2273	—12,8	—16,0	—14,8	—4,07	—5,4	—1,2	—3,5	—0,8
2300	2573	—8,7	—11,6	—12,2	—2,5	—4,0	—	—2,2	—0,1

При сварке в большинстве случаев имеет место взаимодействие металлов, находящихся в растворах; при этом их окислы также находятся в растворах (например, в шлаковой фазе).

Если окисел растворен в металле, упругость его диссоциации выражается соотношением [15]

$$p'_{O_2} = p_{O_2} a_{Ox}^m \quad (12)$$

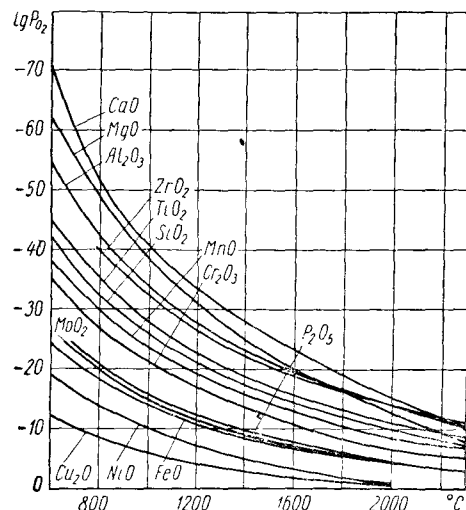
где p_{O_2} — упругость диссоциации окисла для случая, когда металл и его окисел являются конденсированными фазами;

a_{Ox} — степень насыщения металла окислом, т. е. $\frac{[\% Me_{n/m} O_{2/m}]}{[\% Me_{n/m} O_{2/m}]_{max}}$;

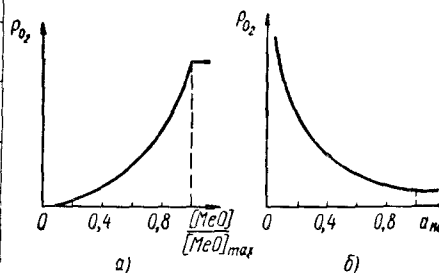
$[\% Me_{n/m} O_{2/m}]$ — концентрация окисла в металле; $[\% Me_{n/m} O_{2/m}]_{max}$ — концентрация насыщения.

Для упругости диссоциации закиси железа, растворенной в жидком железе, уравнение (12) имеет вид

$$p'_{O_2} = p_{O_2} \frac{[\% FeO]^2}{[\% FeO]_{max}^2} \quad (13)$$



Фиг. 7. Зависимость упругости диссоциации свободных окислов от температуры



Фиг. 8. Влияние концентрации окисла в растворе (а) на его упругость диссоциации и концентрации металла в растворе (б) на упругость диссоциации окисла этого металла (схема)

Упругость диссоциации закиси железа в виде конденсированной фазы [13] описывается уравнением

$$\lg p_{O_2} = -\frac{2673}{T} + 6.43; \quad (14)$$

Используя равенства (13) и (14), можно подсчитать равновесные концентрации кислорода в газовой фазе при различных содержаниях закиси железа в жидком металле. В табл. 7 приведены такие расчеты для температурного интервала 1540—2300°С

Из табл. 7 следует, что даже незначительная концентрация (парциальное давление) кислорода в газовой фазе может вызвать окисление жидкого железа при сварке.

Из формул (12) и (13) также следует, что с уменьшением концентрации окисла в металле (по сравнению с состоянием насыщения) уменьшается упругость его диссоциации, т. е. окисел прочнее удерживает кислород (фиг. 8 а).

Когда металл разбавлен металлургическим растворителем (например, марганец растворен в железе), а окисел металла также находится в растворе, упру-

7. Равновесные парциальные давления кислорода в газовой фазе при различных концентрациях $[FeO]$ в жидком железе

Содержание в жидком железе в %		Температура в °С				
FeO	O	1540	1600	1800	2000	2300
0,10	0,0222	$7,4 \cdot 10^{-11}$	$1,7 \cdot 10^{-10}$	$1,56 \cdot 10^{-9}$	$6,1 \cdot 10^{-9}$	$4,8 \cdot 10^{-8}$
0,20	0,0444	$2,9 \cdot 10^{-10}$	$6,7 \cdot 10^{-10}$	$6,25 \cdot 10^{-9}$	$2,4 \cdot 10^{-8}$	$1,9 \cdot 10^{-7}$
0,50	0,1110	$1,8 \cdot 10^{-9}$	$4,2 \cdot 10^{-9}$	$3,9 \cdot 10^{-8}$	$1,5 \cdot 10^{-7}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$
1,00	0,2220	—	—	$1,56 \cdot 10^{-7}$	$6,1 \cdot 10^{-7}$	$4,8 \cdot 10^{-6}$
2,00	0,4440	—	—	—	$2,4 \cdot 10^{-6}$	$1,9 \cdot 10^{-5}$
3,00	0,6660	—	—	—	—	$4,3 \cdot 10^{-5}$
Насыщенный раствор	—	$4,9 \cdot 10^{-9}$	$1,5 \cdot 10^{-8}$	$3,4 \cdot 10^{-7}$	$4,8 \cdot 10^{-6}$	$1,08 \cdot 10^{-4}$

гость диссоциации окисла для реакции (11) приближенно выражается зависимостью [15]

$$p'_{O_2} = p_{O_2} \frac{a_{Ox}^m}{a_{Me}^n} \left(\frac{M_{Me}}{M_{раств}} \right)^n \quad (15)$$

где p_{O_2} — упругость диссоциации окисла для случая, когда металл и его окисел являются конденсированными фазами; a_{Ox} — степень насыщения растворителя окислом; a_{Me} — степень насыщения растворителя металлом для случая

неограниченной растворимости равная $\frac{[\% Me]}{100}$; M_{Me} — молекулярный (атомный) вес металла; $M_{раств}$ — молекулярный (атомный) вес растворителя.

Полагая, что концентрация окисла равна концентрации насыщения ($a_{Ox} = 1$) и что величины M для металла и растворителя близки друг другу (как на пример, для раствора марганца в железе) из уравнения (15) имеем

$$p_{O_2} = p_{O_2} \frac{1}{a_{Me}^n} \quad (16)$$

Уравнение (16) позволяет приближенно оценить влияние степени насыщения раствора металлом на упругость диссоциации его окисла. Из уравнений (15) и (16) следует, что уменьшение концентрации металла в растворе ведет к увеличению упругости диссоциации окисла этого металла: при бесконечно малых концентрациях металлургической добавки в металлургическом растворителе упругость диссоциации окисла бесконечно велика, т. е. полное окисление этой металлической добавки неосуществимо (фиг. 8 б).

При дуговой сварке без применения специальных защитных средств сварочная ванна (металл шва) значит. только окисляется, вследствие высокого парциального давления кислорода в газовой фазе ($p_{O_2} = 0,21 \text{ атм}$). Это видно из сопоставления состава электродной проволоки и наплавленного металла (табл. 8). Вместе с тем не наблюдается полного окисления имеющихся в проволоке примесей (углерод, марганец), что находится в соответствии с зависимостью (16). Условия дуговой сварки толстым электродом (в частности диаметр электродной проволоки) имеют большое значение для поглощения сварочной ванны кислорода (табл. 9).

8. Составление состава проволоки (малоуглеродистая сталь) и наплавленного металла (голый электрод, дуговая сварка)

Проба	Химический состав в %				
	C	Si	Mn	δ	N
Проволока Св-08 . . .	0,08	0,03	0,40	0,020	0,007
Наплавленный металл	0,04	0,02	0,15	0,280	0,150

9. Содержание кислорода в металле шва, выполненного голым малоуглеродистой проволокой без защиты [14]

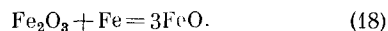
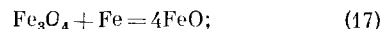
Диаметр электродной проволоки в мм	Содержание кислорода в %
6	0,140
4	0,302
2	0,550
1	0,720

10. Влияние поверхностных окислов на содержание кислорода в шве [15]

Состояние свариваемых кромок	Аналитическое содержание кислорода в %	Флюс
Зачищены	0,035	ОСЦ-45
Покрываются окалиной	0,055	

Учитывая вредные последствия окисления металла в процессе сварки, необходимо принимать меры к снижению парциального давления кислорода в зоне сварки. Это достигается применением защитных газов, флюсов, вакуума (для легкоокисляющихся металлов), а также введением в сварочную ванну (зону плавления) элементов, ограничивающих растворимость кислорода в жидком металле.

Окисление зоны плавления поверхностными окислами. При сварке металлов, растворяющих кислород, сварочная ванна может окисляться присутствующими на поверхности свариваемых кромок окислами, например окалиной и ржавчиной. В этом случае в сварочной ванне высшие окислы железа будут раскисляться металлическим железом до закиси железа.

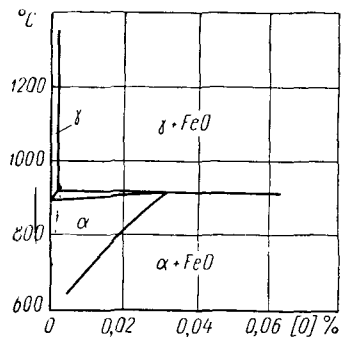


Образующаяся закись железа будет частично растворяться в расплавленном металле, частично — в шлаке.

Окислительное действие поверхностных окислов при сварке под флюсом углеродистой стали иллюстрируется данными табл. 10.

Реакции (17) и (18) идут достаточно далеко, хотя и не до конца. Поэтому в расплаве окислов железа, контактирующих с жидким металлом, остается некоторая доля трехвалентного железа, уменьшающаяся с повышением температуры.

Растворимость кислорода в твердом железе невелика (фиг. 9). Растворимость кислорода в жидком железе [13] в результате его контактирования со шлаками,



Фиг. 9. Растворимость кислорода в α- и γ-железе [18].

состоящими практически только из окислов железа, может быть описана уравнением

$$\lg [\% \text{O}] = -\frac{6320}{T} + 2,734, \quad (19).$$

где $[\% \text{O}]$ — содержание кислорода в жидком железе в весовых процентах.

11. Растворимость кислорода и жидком железе

Температура		Растворимость в жидком железе в %	
в °C	в °K	O	FeO
1540	1813	0,175	0,786
1600	1873	0,231	1,040
1800	2073	0,485	2,180
2000	2273	0,871	3,920
2300	2573	1,880	8,500

В табл. 11 приведены данные о растворимости кислорода в жидком железе, рассчитанные по уравнению (19). При этом данные, относящиеся к температуре 2000° и выше, носят приближенный характер, так как построены на экстраполяции эмпирической зависимости (19), справедливой для температурного интервала производства стали. Как видно из табл. 11, растворимость кислорода, отвечающая максимальным температурам зоны плавления при сварке сталей (2300°), достаточно велика. Фактическое же содержание кислорода в металле шва при сварке в атмосферных условиях (без газовой и шлаковой защиты), когда имеет место активное окисление (парциальное давление кислорода 0,21 *атм*), значительно ниже (0,2—0,7%). Это связано, по-видимому, с тем, что: а) даже при сварке голым электродом создается известная защита сварочной ванны в виде паров металла и CO, выделяющихся в процессе его плавления, хотя эффективность этой защиты и уменьшается вместе с уменьшением диаметра электрода (табл. 9); б) в процессе нагрева до максимальных температур не достигается равновесия металл — газовая фаза и в) электродный стержень содержит такие примеси, как углерод, марганец, которые ограничивают растворение кислорода в жидком металле (см. ниже).

Окисление шлаками, содержащими закись железа. Если оксид, растворимый в металле, находится в шлаке, то в соответствии с законом распределения между концентрацией оксида в металле $[\text{MeO}]$ и в шлаке $[\text{MeO}]$ в состоянии равновесия устанавливается определенное соотношение:

$$L = \frac{[\text{MeO}]}{(\text{MeO})},$$

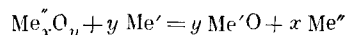
где L — константа распределения.

Поэтому при относительно низкой концентрации оксида в металле и относительно высокой — в шлаке возможен переход оксида из шлака в металл (табл. 12).

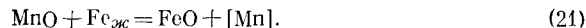
12. Окисление металла шва закисью железа, находящейся в шлаке, при дуговой сварке малоуглеродистой стали (по данным А. А. Ерохина)

Содержание FeO в шлаке в %	14,2	15,0	22,7	26,8	56,0	55,2	61,0
Содержание кислорода в металле шва в %	0,036	0,039	0,062	0,118	0,187	0,193	0,211

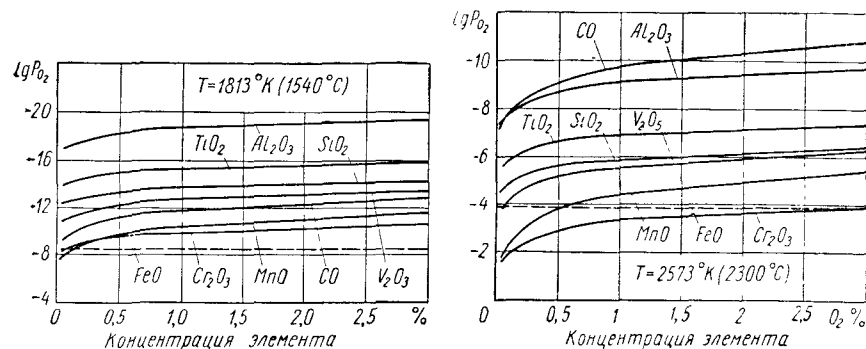
Окисление химически активными по кислороду шлаками. При наличии в зоне сварки металла Me шлаков, содержащих относительно непрочные окислы $Me'_x O_y$ в высокотемпературной части зоны плавления на границе раздела фаз шлак — металл возможно развитие реакций вида



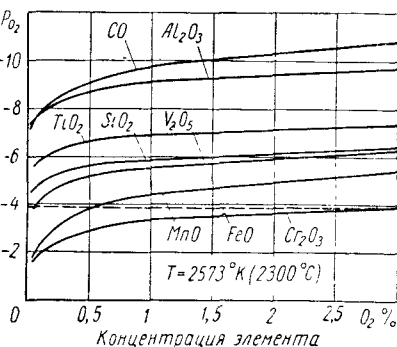
Примером такого рода реакций могут служить реакции кремния в марганца при сварке сталей под активными марганцовистыми флюсами-силикатами:



Закись железа, являющаяся продуктом реакций (20) и (21), частично растворяется в шлаке, а частично — в металлической ванне. Кремний и марганец



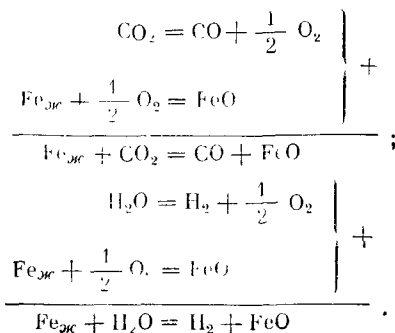
Фиг. 10. Упругость диссоциации окислов в зависимости от концентрации элементов (образующих эти окислы) в жидком железе, при температуре 1813° К (1540° С)



Фиг. 11. Упругость диссоциации окислов в зависимости от концентрации элементов (образующих эти окислы) в жидком железе при температуре 2573° К (2300° С)

переходят в металлическую ванну. При спаде температур (тыльная часть ванны) кислород растворенный в жидком металле, начинает взаимодействовать с кремнием и марганцем что приводит к образованию эндогенных окисных включений в металле шва

Окисление сварочной ванны сложными газами. Наличие в газовой фазе сложных молекул, способных при диссоциации выделять кислород может также вызывать окисление жидкого металла. Так, в случае достаточно высокой концентрации в газовой фазе CO_2 и H_2O при сварке сталей может протекать процесс окисления, описываемый следующими уравнениями.



Окисление сварочной ванны при наличии в ней элементов-раскислителей. Концентрация кислорода в сварочной ванне может быть существенно ограничена (случай, когда металл растворяет кислород) если жидкий металл содержит элементы-раскислители, обладающие сродством к кислороду более высоким, чем металл-растворитель (металлическая основа сплава) и если образующиеся окислы нерастворимы в металле. Сродство к кислороду того или иного элемента, находящегося в металлическом (железном) растворе, может быть оценено упругостью диссоциации его окисла, приблизительно определяемой по уравнению (16). Из двух элементов Me' и Me'' большим сродством к кислороду обладает тот элемент, у которого величина p_{O_2} меньше.

На фиг. 10 и 11 даны соответственно для температур 1540° С (1813° К) и 2300° С (2573° К) упругости диссоциации окислов некоторых элементов, присутствующих в сталях в зависимости от их концентрации в сварочной ванне. Упругость диссоциации FeO приведена для случая, когда концентрация закиси железа в металле равна концентрации насыщения (предел растворимости)

Из рассмотрения кривых на фиг. 10 и 11 следует, что сродство к кислороду некоторых элементов, растворенных в металле (С, Мп, Si, Ti, Al), при достаточной их концентрации может быть больше, чем у железа. Такие элементы при указанных условиях окисляются в зоне плавления более активно, чем железо, ограничивая тем самым растворение кислорода в металлической ванне.

В табл. 13 и на фиг. 12 сопоставлены (для температурного интервала сварочной ванны при дуговой сварке сталей) предельная растворимость кислорода в чистом железе и равновесные концентрации кислорода при наличии в жидком металле элементов-раскислителей.

Равновесные концентрации кислорода при наличии в металле углерода и кремния подсчитаны на основании известных температурных зависимостей констант равновесия реакций [15], [16]:

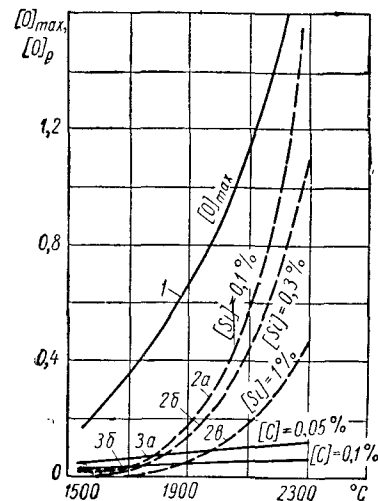


$$\lg K_{(22)} = \lg \frac{[\% C][\% O]}{p_{CO}} = -\frac{2400}{T} - 1,327; \quad (22a)$$



$$\lg K_{(23)} = \lg [\% Si][\% O]^2 = -\frac{26050}{T} + 9,5. \quad (24)$$

Аналогичные расчеты для марганца, хрома, титана и алюминия произведены по уравнениям, приведенным в табл. 13. Максимальная растворимость кислорода в железе, не содержащем раскислителей, подсчитана по уравнению (19). Данные табл. 13, относящиеся к температурам 2000° и выше, носят приближенный характер, так как они получены на основании уравнений, справедливых для температур 1540—1800°, отвечающих процессам выплавки сталей.



Фиг. 12. Сопоставление максимальной растворимости кислорода в жидком железе $[O]_{max}$ (кривая 1) и равновесных концентраций кислорода в ней $[O]_p$ в присутствии кремния (кривые 2a, 2b, 2c) и углерода (кривые 3a и 3б).

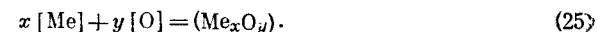
18. Концентрация кислорода и элементов-раскислителей в сплавах железо — углерод, железо — углерод, железо — углерод, железо — хром, железо — алюминий и железо — титан, находящихся в равновесии с соответствующими окислами (CO, SiO₂, Cr₂O₃, MnO, Al₂O₃, TiO₂) [13], [15], [16], [18]

Элемент, растворенный в железе	Константа равновесия K	Зависимость lg K от абсолютной температуры	Концентрация элемента-раскислителя в %	Равновесные концентрации кислорода в % при температуре в °C					
				1540	1600	1800	2000	2200	2300
C	$\frac{[\% C][\% O]}{P_{CO}}$	$-\frac{2400}{T} - 1,327$	0,05 0,10	0,048 0,024	—	0,072 0,036	0,092 0,046	0,111 0,055	0,120 0,060
Si	$[\% Si][\% O]^2$	$-\frac{26050}{T} + 9,5$	0,1 0,2 0,3 1,0	0,011 0,008 0,007 0,004	0,020	0,091 0,065 0,052 0,030	0,330 0,234 0,192 0,105	0,955 0,675 0,555 0,302	1,550 1,400 0,860 0,490
Mn	$[\% Mn][\% O]$	$-\frac{25270}{T} + 12,55$	0,5 1,0 2,0	0,080 0,040 0,020	0,2260 0,1130 0,0555	2,260 4,130 0,565	—	—	—
Cr	$[\% Cr]^2 [O]^3$	$-\frac{78970}{T} + 39,21$	1,0 5,0 10,0 20,0	0,0380 0,0038 0,0026 0,0002	0,2300 0,0840 0,0505 0,0310	2,300 0,840 0,507 0,315	—	—	—
Ti	$[\% Ti][\% O]^2$	$-\frac{30700}{T} + 10,33$	0,1 0,3 0,5	0,0010 0,0009 0,0007	0,0029 0,0017 0,0013	0,0184 0,0106 0,0082	0,0735 0,0432 0,0343	0,2780 0,1970 0,1250	0,4960 0,2860 0,2220
Al	$[\% Al]^2 [O]^2$	$-\frac{74640}{T} + 25,97$	0,05 0,10 0,20	—	0,000169 0,000106 0,000067	0,01550 0,00478 0,00616	0,0779 0,0490 0,0309	0,2880 0,1900 0,1140	1,520 0,962 0,783
Предельная растворимость кислорода [%O] в жидком железе при отсутствии элементов-раскислителей.				0,175	0,231	0,485	0,871	1,460	1,880

Ниже приведены для температуры 1600° равновесные содержания кислорода в стальной ванне, содержащей 0,1% различных раскислителей:

Раскислитель	Содержание кислорода в жидкой стали в %
Марганец	0,150
Кремний	0,020
Ванадий	0,065
Хром	0,200
Титан	0,003
Алюминий	0,0001
Без раскислителя	0,221

Сродство элементов-раскислителей к кислороду с повышением температуры уменьшается, что обеспечивает в высокотемпературной области сварочной ванны, при наличии окислительных условий, достаточно высокие сосуществующие концентрации кислорода и элемента-раскислителя (см. табл. 13 и фиг. 12). С понижением температуры (тыльная часть сварочной ванны) из-за сдвига равновесия в сторону меньших значений сосуществующих концентраций кислорода и элемента-раскислителя происходит их взаимодействие по реакциям типа



Реакции типа (25) для всех элементов, образующих нерастворимые в металле окислы в виде конденсированной фазы, являются по существу реакциями осадительного раскисления. Продуктами этих реакций могут явиться дисперсные эндогенные окисные включения в металле шва. С точки зрения снижения степени засоренности металла шва окисными включениями имеет большое значение соотношение концентраций отдельных элементов-раскислителей и, в частности, для стальной сварочной ванны — достаточно большая величина отношения концентраций марганца к концентрации кремния $[Mn] : [Si]$.

Наличие пленки нерастворимых окислов на поверхности жидкого металла (сварочная ванна, капли на конце электрода и в межэлектродном пространстве) существенно затрудняет процессы окисления примесей, находящихся в нем.

Последствия окисления жидкого металла при сварке малоуглеродистых сталей

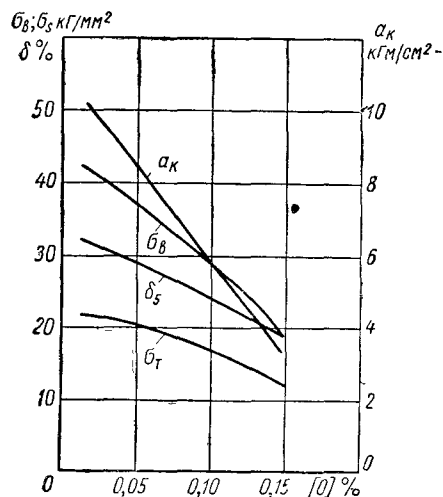
При некоторых процессах сварки в результате взаимодействия жидкого металла с газовой фазой и шлаками наблюдается заметное возрастание концентрации кислорода в металле шва по сравнению с его содержанием в основном материале и сварочной проволоке (табл. 14). Когда приводятся данные о содер-

14. Общее содержание кислорода в малоуглеродистой стали МСт.3 и в металле шва

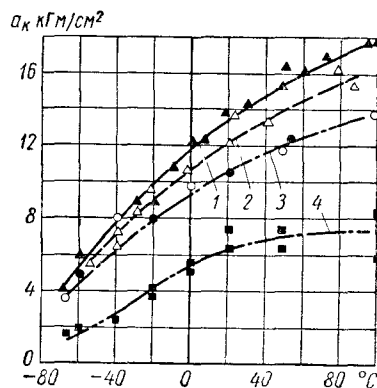
Материал	Суммарное содержание кислорода в %
Спокойная сталь МСт.3	0,003—0,008
Кипящая сталь МСт.3	0,010—0,020
Сварочная проволока Св-08	0,01—0,020
Металлы шва:	
сварка кислородно-ацетиленовым пламенем	0,05
сварка электродами УОНИ-13/45	0,02—0,03
автоматическая сварка под флюсом ОСЦ-45	0,03—0,05
сварка электродами ЦМ-7	0,08—0,09
сварка электродами с меловым покрытием	0,210
сварка голым электродом (диаметр электрода 3—5 мм)	0,250—0,280

жании кислорода в металле шва, то обычно подразумевается (при отсутствии специальных оговорок) суммарная его концентрация в виде кисл. рода, находящегося как в твердом растворе, так и в виде окисных включений.

Дуговая сварка открытой дугой голым электродом диаметром 3—5 мм или же электродом со стабилизирующим покрытием приводит к возрастанию общего содержания кислорода в металле шва до ~0,25—0,3% и выше. При этом вследствие весьма низкого содержания кремния и марганца в металле шва (табл. 8) подавляющее количество кислорода в нем находится в виде включений FeO. Кислород, находясь в металле в виде закиси железа, вредно сказывается на механических свойствах малоуглеродистой стали (фиг. 13). Некоторое количество кислорода может находиться в шве в виде пересыщенного твердого раствора. Растворимость кислорода в α - и γ -железе показана на фиг. 9



Фиг. 13. Влияние кислорода (FeO) на механические свойства малоуглеродистой стали (предел прочности σ_b , предел текучести σ_t , относительное удлинение δ_5 , ударная вязкость α_k).



Фиг. 14. Влияние засоренности шва силикатными включениями на его ударную вязкость при автоматической сварке малоуглеродистой стали под флюсом: 1 — количество включений 0,028—0,30%; 2 — количество включений 0,034—0,053%; 3 — количество включений 0,104—0,110%; 4 — количество включений 0,196%.

Из характера кривой растворимости кислорода следует, что последний может явиться одной из причин старения металла шва.

Если окисление металла в высокотемпературной части зоны плавления происходит в присутствии элементов-раскислителей (Si, Mn, Al и др.), то при спаде температур (тыльная часть сварочной ванны) происходит раскисление жидкого металла, результатом чего являются мелкие окисные включения в металле шва. Так как при сварке малоуглеродистых сталей сварные швы часто содержат заметную концентрацию кремния, то указанные включения являются, в основном, силикатами. При этом если концентрация SiO₂ во включениях велика, то они имеют высокую температуру затвердевания (выше точки плавления стали), слабо коагулируют и, будучи дисперсными, застревают в металле шва. Силикатные включения вредно отражаются на ударной вязкости металла шва (фиг. 14).

Степень засоренности металла шва неметаллическими силикатными включениями можно существенно понизить, если в сварочной ванне, наряду с кремнием, поддерживать достаточно высокую концентрацию марганца. При этом в качестве продутов раскисления металла шва будут получаться силикаты марганца (и железа) с относительно невысокой температурой плавления, которые сравнительно легко коагулируют и всплывают (или оттесняются растущими дендритами) на поверхность кристаллизующегося металла.

В удалении включений из кристаллизующейся части сварочной ванны большую роль играют сварочные шлаки, которые могут поглощать эндогенные включения. Поглотительная способность шлаков в значительной степени определяется возможностью образования комплексных соединений при взаимодействии шлаков со включениями. Так, включения, богатые кремнекислотой, относительно легко усваиваются основными шлаками [17]:



Большое значение в этом отношении имеют физические свойства шлаков: чем меньше вязкость шлака, тем быстрее и полнее будет происходить очищение металла от включений.

Значительное окисление сварочной ванны, приводящее к выгоранию элементов-раскислителей, может привести к образованию пор в металле шва (сварка малоуглеродистой стали), вызываемых реакцией (22) взаимодействия кислорода и углерода в кристаллизующейся части сварочной ванны и образованием нерастворимой в металле окиси углерода. Пузырьки CO, захватываемые растущими кристаллами, приводят к образованию пор в шве.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВОДОРОДА, АЗОТА И СЛОЖНЫХ ГАЗОВ С ЖИДКИМ МЕТАЛЛОМ В ЗОНЕ ПЛАВЛЕНИЯ

Источники водорода в зоне сварки

Источниками водорода в газовой фазе зоны сварки могут служить атмосферная влага, влага покрытия или флюса, конституционная влага ржавчины на поверхности свариваемых кромок. Образующиеся вследствие этого водяные пары диссоциируют и повышают концентрацию водорода в газовой фазе. Кроме того, во многих марках электродных покрытий (ОММ-5, ЦМ-7, МЭЗ-04 и др.) в качестве газообразующих компонентов содержатся органические вещества (крахмал, декстрин, целлюлоза), которые при плавлении электрода разлагаются и выделяют наряду с другими газами (CO, CO₂, H₂O) водород. Высокая концентрация водорода в зоне плавления имеет место при газовой (кислородно-ацетиленовой, кислородно-водородной и др.) и атомно-водородной сварке. В табл. 15 приведены данные о составе газовой фазы при дуговой сварке с различными видами защиты и при газовой сварке.

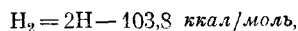
15. Состав газовой фазы в зоне плавления при дуговой и газовой сварке углеродистых сталей [14], [19], [20]

Метод сварки	Состав газов в объемных %				
	CO ₂	CO	H ₂	H ₂ O	C _n H _m
Дуговая:					
электроды ЦМ-7	3,34	49,8	39,0	5,44	3,82
электроды ЦУ-1	22,5	54,2	6,26	12,01	1,98
электроды ЦУ-1Г	26,36	58,98	2,50	9,30	1,74
электроды Е-1	3,0	40	41,0	16,0	—
электроды Е-6	7—14	68—74	6—10	1—9	—
Сварка под флюсом	3,3	82,3	14,4	Не определялось	—
То же; в зоне сварки имеется ржавчина					
Газовая. Кислородно-ацетиленовое пламя с отношением O ₂ : C ₂ H ₂ в горячей смеси 1,1—1,2	6,1	71,0	22,1	То же	—
Имеется	60—66	34—40	Имеется	—	—

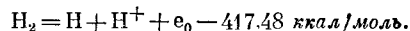
Незначительное количество водорода содержится в присадочной проволоке и основном металле; например, в сварочной проволоке из малоуглеродистой стали может присутствовать до 1 см³ водорода на 100г металла.

Растворимость водорода в металле

В зависимости от температуры газовой фазы водород может находиться в ней в различных состояниях: молекулярном, атомарном и ионизированном. При высоких температурах происходит частичная диссоциация молекулярного водорода на атомарный



а также на атомарный и ионизированный водород



Степень диссоциации молекулярного водорода на атомарный в зависимости от температуры показана на фиг. 15.

Из фиг. 15 следует, что в столбе сварочной дуги ($T = 5000 \div 6000^\circ \text{K}$) подавляющее количество водорода находится в атомарном состоянии.

Однако при температурах, соответствующих жидкому состоянию металла, большая часть водорода находится в молекулярном состоянии.

Металлы, растворяющие водород, могут быть разделены на две группы. К первой группе относятся металлы, для которых химические соединения с водородом не известны (железо, никель, кобальт, медь и др.). Водород абсорбируется этими металлами в твердом состоянии; при плавлении растворимость резко повышается. Молибден, платина, алюминий в твердом состоянии растворяют очень малые количества атомарного водорода. В зависимости от состояния водорода в газовой фазе (атомарный или молекулярный), растворимость подчиняется уравнениям (27) (28) или (29) (см. ниже).

Ко второй группе относятся металлы, образующие гидриды, — палладий, цирконий, титан, ванадий, торий, тантал, а также редкоземельные элементы. Металлы второй группы при небольших количествах поглощенного водорода образуют с ним твердые растворы, при значительных количествах — гидриды (Pd_2H , PdH , VH , TiH_2 , TaH , NbH_2 , ZrH_2). В интервале температур $300\text{—}700^\circ \text{C}$ водород поглощается этими металлами очень интенсивно. При высоких температурах гидриды разлагаются, вследствие чего начинается обратное выделение газа из металла.

Содержание водорода в металлах первой группы определяется при постоянной температуре его парциальным давлением в газовой фазе, контактирующей с металлом.

Если водород находится в атомарном состоянии, растворимость его в металле при постоянной температуре в состоянии равновесия подчиняется линейной зависимости

$$[\text{H}] = K p_{\text{H}}, \quad (27)$$

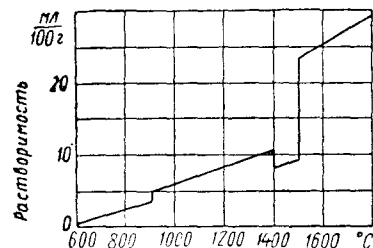
где $[\text{H}]$ — растворимость водорода в металле в весовых процентах; p_{H} — парциальное давление атомарного водорода в газовой фазе; K — константа, зависящая от температуры и фазового (а также агрегатного) состояния металла.

Растворимость водорода, находящегося в газовой фазе в молекулярной форме, подчиняется закону квадратного корня

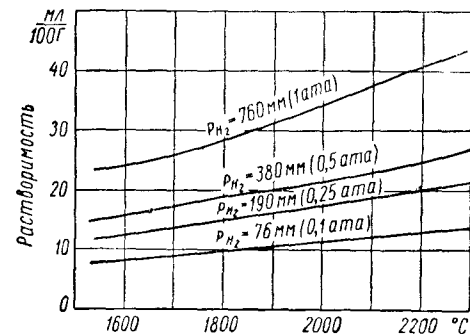
$$[\text{H}] = K \sqrt{p_{\text{H}_2}}, \quad (28)$$

где p_{H_2} — парциальное давление молекулярного водорода в газовой фазе.

Зависимость (28) является косвенным указанием на то, что процессу растворения молекулярного водорода предшествует его диссоциация на атомы. Если в газовой фазе водород находится и в атомарном и молекулярном состоянии, то



Фиг. 16. Растворимость в железе водорода при парциальном давлении его (H_2) в газовой фазе $p_{\text{H}_2} = 1 \text{ атм}$.



Фиг. 17. Влияние температуры и парциального давления водорода в газовой фазе на его растворимость в жидком железе.

его растворимость при постоянной температуре [26] может быть выражена зависимостью

$$[\text{H}] = K \sqrt{p_{\text{H}_2, \text{H}}^{1+x}}, \quad (29)$$

где $p_{\text{H}_2, \text{H}}$ — общее парциальное давление атомарного и молекулярного водорода, x — степень диссоциации водорода при данной температуре.

Растворимость водорода в железе при парциальном давлении $p_{\text{H}_2} = 1$ в зависимости от температуры показана на фиг. 16, а в зависимости от парциального давления (жидкое железо) — на фиг. 17. Из фиг. 16 следует, что с повышением температуры растворимость водорода в железе растет (и, кроме того, определяется фазовым и агрегатным состоянием металла). При расплавлении железа растворимость скачкообразно возрастает, а при кристаллизации так же скачкообразно падает.

Растворимость водорода в расплавленном железе при температуре T и парциальном давлении p_{H_2} может быть определена для не слишком высоких температур [21] по следующей эмпирической формуле:

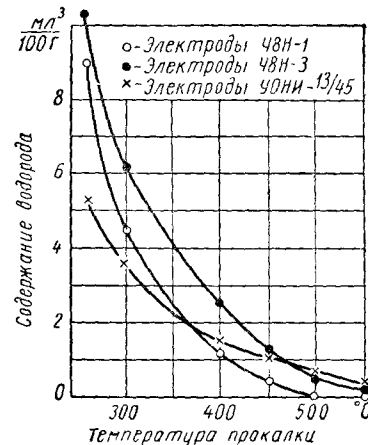
$$\lg V = 0,5 \lg p_{\text{H}_2} - \frac{1745}{T} + 0,888 \text{ мл/100 Г}, \quad (30)$$

где p_{H_2} — парциальное давление водорода в мм рт. ст.; V — растворимость в мл/100 Г.

Кривые на фиг. 17 построены на основании уравнения (30).

Приведенные данные показывают, что жидкое железо может поглощать значительное количество водорода даже при относительно невысоких парциальных давлениях его в газовой фазе. Особенно благоприятны условия для погло-

щения водорода сварочной ванной при дуговой сварке, когда наблюдается значительный перегрев жидкого металла и относительно высокая концентрация атомарного водорода в газовой фазе. При газовой кислородно-ацетиленовой сварке, несмотря на значительную концентрацию водорода в газовой фазе, условия для растворения его в сварочной ванне не столь благоприятны вследствие относительно низкой температуры жидкого металла в ванне. В процессе спада температуры, в особенности в кристаллизующейся части сварочной ванны

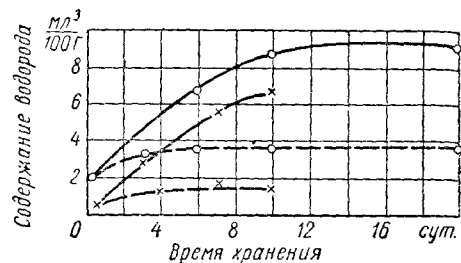


Фиг. 18. Влияние температуры прокали электродов 48H-1, 48H-3 и УОНИ-13/45 (после наплавки покрытия) на содержание водорода в металле шва [27].

вследствие скачкообразного снижения растворимости водорода возникают предпосылки для его обратного выделения из металла. В табл. 16 приведены данные о содержании водорода в металле шва, выполненного различными методами, в состоянии непосредственно после сварки. Температура прокали электродов для дуговой сварки, а также относительная влажность атмосферы при их хранении, оказывает большое влияние на содержание водорода в металле шва (фиг. 18 и 19).

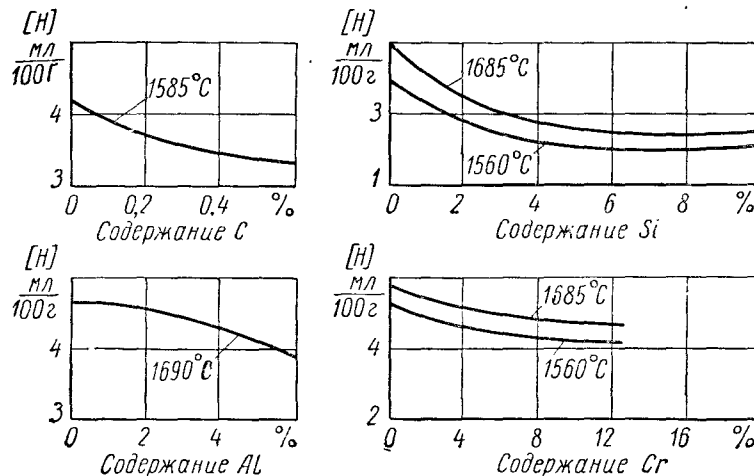
16. Содержание свободно выделяющегося водорода в металле шва, выполненного различными методами (малоуглеродистая сталь) [22], [23]

Метод сварки	Водород, выделенный из металла шва глицириновым методом при 45—50° С в течение 48—72 час. в мл/100 Г
Дуговая сварка:	
Электроды ЦМ-7	5,24
То же; в покрытие введено 3% ферросилиция	11,75
Электроды ЦУ-1; покрытие имеет влажность 0,1%	2,15
То же; покрытие имеет влажность 4,25%	6,17
Кислородно-ацетиленовая сварка	5,00
Дуговая сварка в углекислом газе	0,04
То же, в осушенном углекислом газе	0,00

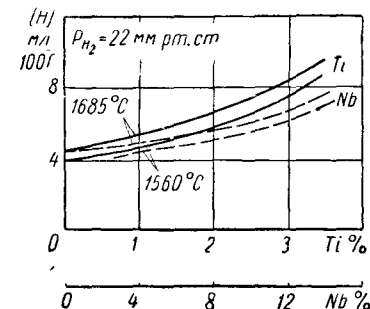


Фиг. 19. Влияние условий и времени хранения электродов 48H-1 на содержание водорода в наплавленном металле. Кружки — температура прокали 380° С, выдержка 6 час., крестик — 460° С, выдержка 3 часа. Сплошные линии — относительная влажность воздуха 85—95 % и температура +10° С, пунктирные линии — относительная влажность воздуха 45—55 % и температура + (18—20)° С [27].

Влияние легирующих элементов на растворимость водорода в железе. Легирующие элементы в железных сплавах оказывают различное влияние на растворимость водорода в металле, углерод, кремний, алюминий, хром снижают (фиг. 20), а титан и ниобий увеличивают ее (фиг. 21).



Фиг. 20. Влияние содержания углерода, кремния, алюминия и хрома на растворимость водорода в жидком железе при парциальном давлении в газовой фазе 22 мм рт. ст. [21].



Фиг. 21. Влияние титана и ниобия на растворимость водорода в жидком железе при парциальном давлении в газовой фазе 22 мм рт. ст. [21].

Влияние водорода на металл шва и сварное соединение

Растворение водорода в сварочной ванне и неполное выделение его в процессе кристаллизации и дальнейшего охлаждения металла шва может привести к целому ряду дефектов, важнейшими из которых являются следующие:

а) Образование пор в металле шва. При охлаждении жидкого металла шва, в особенности в период кристаллизации (тыльная часть сварочной ванны), последний оказывается перенасыщенным водородом, что приводит к его выделению по реакции



Так как молекулярный водород нерастворим в металле, его выделение из кристаллизующегося металла может явиться одним из основных факторов, обуславливающих возникновение и развитие пор в металле шва.

б) Образование микротрещин в металле шва и зоне сплавления. Процесс выделения водорода [реакция (31)] не прекращается и по окончании кристалли-

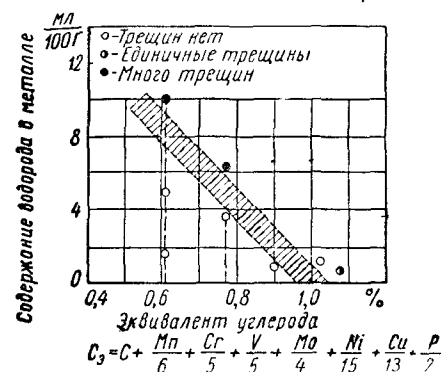
зации металла. Даже при комнатной температуре он протекает с ощутимой скоростью. Вместе с тем процесс растворения происходит чрезвычайно медленно и получает сколько-нибудь заметное развитие только при нагреве металла до 250—300° С и выше. Поэтому при комнатной температуре из перенасыщенного водородом металла происходит выделение его не только во внешнюю среду, но в значительной степени в микроскопические и субмикроскопические полости (поры), всегда имеющиеся в твердом металле. Это приводит к повышению в них давления, создаваемого молекулярным водородом. Уровень давления молекулярного водорода ограничивается величиной K [уравнение (28)]. Учитывая, что растворимость водорода при 20° С и $p_{H_2} = 1 \text{ атм}$ составляет $\sim 10^{-3} \text{ см}^3/100 \text{ г}$ и принимая во внимание данные табл. 16, следует прийти к выводу, что при некоторых процессах сварки степень перенасыщения может в 100 раз превышать предельную растворимость водорода. При этих условиях, исходя из равенства (28), равновесное давление молекулярного водорода в полостях должно составлять $100^2 = 10\,000 \text{ атм}$. Замечено, что сварка малоуглеродистой стали электродами с влажным покрытием или применение недостаточно просушенных флюсов может привести к образованию небольших трещин-надрывов протяженностью до 0,3 мм и выше в том случае, когда наплавленный валик проходит температурный интервал 150—200° С с большой скоростью (например, при сварке без подогрева металла большой толщины на ограниченных режимах). Большинство этих надрывов ориентировано в направлении, перпендикулярном к поверхности свариваемых элементов. Указанные дефекты вызывают местные разрушения материала из-за чрезмерно высоких давлений молекулярного водорода в микропорах (микрополостях).

в) **Макротрещины в металле шва.** Вследствие достаточной пластичности металла шва на малоуглеродистых сталях микронадрывы, по-видимому, не могут развиваться в макротрещины (кроме случаев сварки толстостенных элементов, когда возникает объемно-напряженное состояние материала). Однако при сварке легированных перлитных сталей, претерпевающих мартенситное или bainитное превращения в околосшовной зоне, в сварных соединениях, содержащих в достаточно высоких концентрациях легирующие примеси, микронадрывы могут развиваться в макротрещины. Это обусловлено такими факторами, как, а) снижение температуры превращения $\gamma \rightarrow \alpha$, вызванное содержанием в металле шва легирующих элементов и водорода; б) относительно меньшее, вследствие этого выделение водорода в процессе охлаждения металла шва до температуры образования микротрещин, связанное с более высокой его растворимостью в γ -железе и соответственно более полным его выделением при температуре образования надрывов или при дальнейшем охлаждении; в) повышенная концентрация С, приводящая к возможному образованию мартенсита и возникновению структурных напряжений.

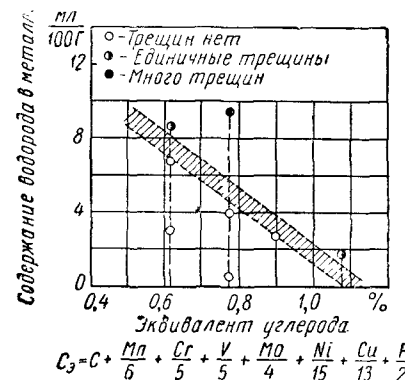
Влияние водорода на образование трещин в сварных соединениях из сталей, имеющих различное эквивалентное содержание углерода, приведено на фиг. 22 и 23 [28]. Как видно из этих фигур, возрастание эквивалента углерода в свариваемой стали значительно усиливает влияние водорода на склонность к образованию трещин.

г) **Образование холодных трещин в околосшовной зоне.** При дуговой сварке легированных сталей, воспринимающих закалку, в околосшовной зоне иногда наблюдается образование трещин, располагающихся примерно параллельно границе сплавления (фиг. 24). Это явление особенно часто наблюдается при сварке легированных сталей малоуглеродистыми электродами с покрытием, содержащим органические компоненты и поэтому выделяющим значительные количества водорода. Образование холодных трещин часто связывают с диффузией водорода из металла шва в околосшовную зону. В случае использования для сварки легированных сталей малоуглеродистых электродов, имеющих в покрытии водородосодержащие вещества, металл шва после завершения процесса кристаллизации может содержать значительные количества водорода (см. табл. 16). Превращение $\gamma \rightarrow \alpha$ в металле шва будет происходить в более ранние моменты времени, чем в околосшовной зоне (из-за меньшей степени легирования первого и соответственно меньшей устойчивости аустенита в нем).

Вследствие скачкообразного снижения растворимости водорода при превращении $\gamma \rightarrow \alpha$ создаются благоприятные условия для его диффузии в околосшовную зону, пока еще находящуюся в состоянии γ -твердого раствора. При дальнейшем распаде аустенита в околосшовной зоне водород концентрируется в остаточных его объемах и при завершении этого процесса «вытталкивается» в микропустоты, создавая значительные давления. Эти давления в сочетании со структурными и термическими напряжениями и вызывают образование холодных



Фиг. 22. Влияние содержания водорода в шве при сварке под флюсом на образование трещин при различном эквиваленте углерода в основном металле (проволока ЭИ-581, флюс АН-42) [28].

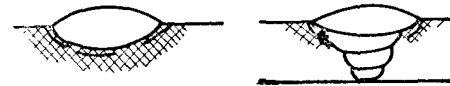


Фиг. 23. Влияние содержания водорода в шве при ручной сварке (электроды ЭИ-581) на образование трещин при различном эквиваленте углерода в основном металле [28].

трещин в околосшовной зоне. Следует, однако, сказать, что результаты недавних исследований [24] о распределении водорода в сварных соединениях не вполне подтверждают высказанную выше точку зрения.

д) **Образование «рыбьих глаз» (сварочных флокенов).** Особый дефект сварных швов, получивший название «рыбьи глаза» встречается на поверхности излома разрывных и загнутых образцов (разрушившихся по металлу шва). Эти дефекты выявляются в виде светлого диска небольшого диаметра с очень малой полостью в центральной его части. Светлый цвет излома в месте этих дефектов свидетельствует о наличии хрупкого разрушения связанного с наличием очень больших давлений молекулярного водорода в полости. «Рыбьи глаза» отличаются от микронадрывов тем, что они обнаруживаются только на изломах образцов, прошедших испытания в условиях относительно медленной пластической деформации. При испытаниях, вызывающих быструю пластическую деформацию (например, испытание на ударную вязкость), изломы образцов не сопровождаются образованием «рыбьих глаз». Наличие этих дефектов в изломе образцов обычно вызывает снижение пластических характеристик металла шва (относительное удлинение и относительное сужение).

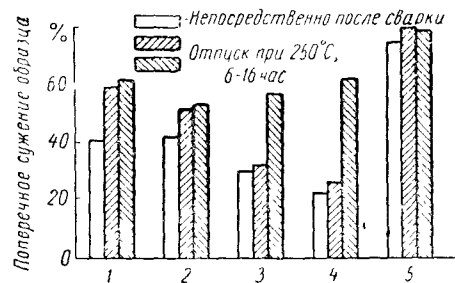
По современным воззрениям, при медленной деформации металла шва [25], содержащего в достаточном количестве водород, происходит усиленная его диффузия в относительно крупные полости из бесчисленных дислокаций, содержащих высокие концентрации водорода, а также из микропор, содержащих молекулярный водород при больших давлениях, чем относительно крупные полости (мелкие полости заполняются водородом быстрее, чем крупные). Эта диффузия становится возможной из-за локального повышения температуры металла вдоль



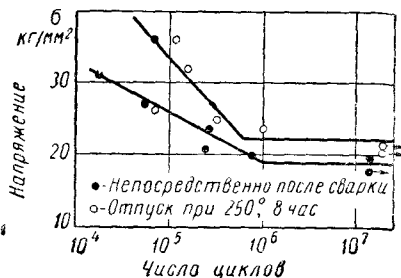
Фиг. 24. Образование околосшовных трещин (схема). Затренированные участки соответствуют структуре заварки.

плоскостей скольжения, по которым и происходит перемещение атомов водорода.

Сказанное относительно природы образования «рыбьих глаз» позволяет прийти к выводу о том, что удаление водорода из металла шва длительной выдержкой при комнатной температуре или более короткой выдержкой при 250–300° С позволяет ликвидировать склонность к образованию указанных дефектов



Фиг. 25. Влияние отпуска при 250° С на пластичность сварных швов: 1 и 2 — ильменитовые электроды, 3 — целлюлозные электроды; 4 — рутиловые электроды, 5 — электроды основного типа [23].



Фиг. 26. Влияние отпуска для удаления водорода (250° С, 8 час.) на усталостную прочность металла шва [23].

и соответственно повысить пластические свойства металла шва. Это подтверждается опытными данными, приведенными в табл. 17 и на фиг. 25. Такого рода термическая обработка оказывает благоприятное действие и на усталостную прочность металла шва (фиг. 26).

17. Влияние времени выдержки при комнатной температуре на пластичность металла шва (малоуглеродистая сталь) [23]

Время от момента окончания сварки до испытания в час.	Удлинение в %			
	Тип электрода			
	Ильменитовый	Целлюлозный	Рутиловый	Основной (низкоуглеродистый)
6	24,6	24,2	14,6	31,1
2160 (3 месяца)	29,7	27,8	25,0	34,4

е) Образование горячих (кристаллизационных) трещин при сварке аустенитных сталей. Горячие трещины в аустенитных швах могут быть вызваны водородом [60]. Так, при сварке тавровых образцов из стали Х23Н23М3Д3 (ЭП1-533) электродной проволокой, состав которой близок к составу основного металла, под флюсом АН-23 горячие трещины не наблюдались. Но после того как электродная проволока была посредством катодного травления искусственно наводорожена, в швах появились горячие трещины. Механизм воздействия водорода на процесс образования и развития горячих (кристаллизационных) трещин еще не изучен.

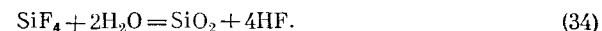
Ограничение концентрации водорода в сварочной ванне (металле шва)

Концентрация водорода в сварочной ванне (металле шва) может быть существенно ограничена связыванием водорода в химически прочные при высоких температурах соединения, нерастворимые в металле, например HF и OH, а также за счет некоторого окисления сварочной ванны.

Реакция образования HF. Газообразные фтористые соединения поступают в газовую фазу при дуговой сварке при плавлении флюса или покрытия. Одним из наиболее вероятных процессов такого рода является реакция [29], [30]:



Тетрафторид кремния улетучивается, переходя в газовую фазу, где он взаимодействует с атомарным водородом или парами воды по реакциям [19], [31]



Вероятность протекания этих реакций слева направо подтверждается большим значением констант их равновесия (табл. 18), которые были приближенно подсчитаны по стандартным таблицам термических констант.

18. Константы равновесия некоторых реакций образования HF и OH в газовой фазе [31]

Реакция	Величина K_p для температуры в °С		
	1727	2727	3727
$\text{SiF}_4 + 3\text{H} = \text{SiF} + 3\text{HF}$	2,36	182	1600
$\text{SiF}_4 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{SiO}_2 + 4\text{HF}$	16,2	$1,38 \cdot 10^5$	$1,48 \cdot 10^7$
$\text{CO}_2 + \text{H} = \text{CO} + \text{OH}$	51,5	117	177
$\text{O} + \text{H} = \text{OH}$	$8,97 \cdot 10^7$	5130	37,2

Реакция образования OH. Образование гидроксидов в газовой фазе может иметь место, в частности, в соответствии с реакциями



Вероятность протекания реакций (35) и (36) подтверждается данными табл. 18.

HF и OH являются достаточно прочными соединениями, диссоциирующими с отщеплением атомарного водорода в значительно меньшей степени, чем водяные пары и молекулярный водород. На фиг. 27 даны результаты подсчета в [32] парциального давления атомарного водорода вследствие диссоциации H_2 , H_2O , OH и HF. Как следует из графика, в широком диапазоне температур HF и OH диссоциированы меньше, нежели H_2 и H_2O . Это позволяет резко уменьшить количество водорода, абсорбируемого металлом, если водород в газовой фазе будет находиться в виде HF или OH (или то и другое вместе взятое).

Косвенное подтверждение указанных реакций можно найти в том, что добавка во флюсы-силикаты CaF_2 или CaCO_3 (мраморной крошки) резко снижает склонность к образованию пор при наличии ржавчины на свариваемых крошках (см. также табл. 15).

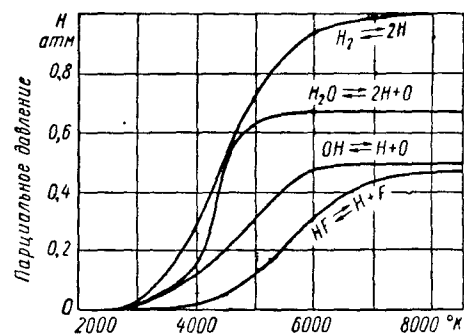
Наличие CaF_2 в основных покрытиях электродов благоприятно влияет на снижение содержания водорода в металле шва (фиг. 28).

Влияние окисленности сварочной ванны на содержание водорода в ней. Водород, присутствующий в жидкой ванне, взаимодействует с растворенным

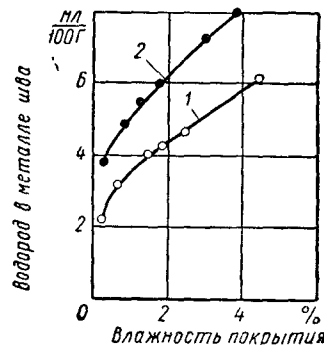
в ней кислородом (закисью железа). Это взаимодействие может быть выражено уравнениями



Кислород, находящийся в сварочной ванне в растворенном виде, ограничивает концентрацию в ней водорода. В интервале температур 1560—1685°С



Фиг. 27. Равновесное парциальное давление атомарного водорода, образующееся при термической диссоциации молекул H_2 , H_2O , OH , HF в зависимости от абсолютной температуры [32].



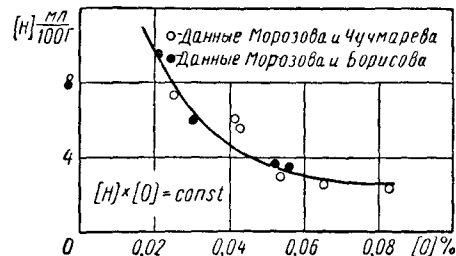
Фиг. 28. Содержание водорода в металле шва в зависимости от влажности покрытия 1 — электроды ЦУ-1 нормального состава; 2 — то же, но в покрытии отсутствует CaF_2 [22], [33].

растворимость водорода в железе связана с концентрацией в нем кислорода следующей зависимостью [21]:

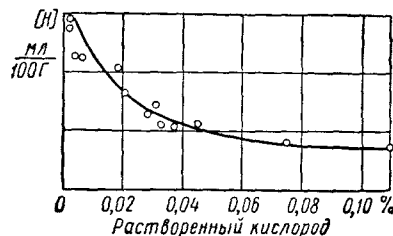
$$V_H = V_O \{1 - [20 \div 10] \% O\},$$

где V_H — растворимость водорода в присутствии кислорода в мл/100г; V_O — то же, в чистом железе; $\% O$ — процентное содержание кислорода в металле.

На фиг. 29 приведены экспериментальные данные о совместном растворении водорода и кислорода в железе [21]. Аналогичная зависимость для металла шва.



Фиг. 29. Совместная растворимость водорода и кислорода в жидком железе при $p_{H_2} = 22$ мм рт. ст. [21].



Фиг. 30. Зависимость содержания в металле шва водорода от концентрации в нем кислорода при сварке электродами ЦМ-7 [22], [33].

выполненного электродами ЦМ-7, показана на фиг. 30. Указанные зависимости объясняют некоторые явления, наблюдаемые в металлургии сварки. Так, при

сварке электродами, содержащими в покрытии органические компоненты, необходимо поддерживать некоторый минимальный уровень окисленности сварочной ванны во избежание насыщения ее большим количеством водорода. Известно также, что керамические флюсы для автоматической сварки, содержащие высшие окислы марганца (способные при нагреве отщеплять кислород), и карбонаты, меньше способствуют образованию водородных пор, вызванных ржавчиной, по сравнению с флюсами ОСЦ-45 и АНЗ48 [54, 51].

19. Содержание азота в металле шва, выполненном голый проволокой из малоуглеродистой стали [14]

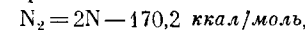
Диаметр электрода в мм	N в %
6	0,105
4	0,130
2	0,180
1	0,218

Азот в газовой фазе зоны сварки

Основным источником азота в газовой фазе зоны сварки является окружающая атмосфера. При сварке голый стальной электродной проволокой без применения защиты зоны сварки от атмосферного влияния концентрация азота в наплавленном металле может достигать заметных значений (табл. 19).

В зависимости от температуры азот, так же как и водород, может находиться в газовой фазе в различных состояниях: молекулярном, атомарном, ионизированном.

Диссоциация молекулярного азота



наблюдается только при достаточно высоких температурах. Температурная зависимость степени диссоциации молекулярного азота дана на фиг. 15, из которой следует, что диссоциация азота при одних и тех же температурах протекает менее полно, нежели диссоциация водорода.

Растворимость азота в железе. В зависимости от состояния, в котором находится азот в газовой фазе (молекулярное, атомарное), его растворимость определяется либо линейной зависимостью от парциального давления в газовой фазе (атомарный азот), либо пропорциональна квадратному корню из величины того же давления (молекулярный азот). Так, при постоянной температуре растворимость атомарного азота определяется в состоянии равновесия соотношением

$$[\% N] = K p_N,$$

а при наличии азота в газовой фазе в молекулярной форме его растворимость выражается уравнением

$$[\% N] = K \sqrt{p_{N_2}}. \quad (40)$$

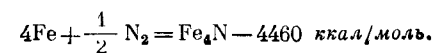
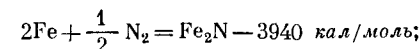
В указанных уравнениях p_N и p_{N_2} — парциальное давление соответственно атомарного и молекулярного азота в газовой фазе.

Зависимость (40) является косвенным указанием на то, что процессу растворения азота в металле предшествует диссоциация молекулярного азота на атомы.

Азот практически нерастворим в меди, никеле, золоте и серебре, химически не взаимодействующих с ним. Это позволяет предполагать, что азот растворяется в железе в виде химического соединения с ним или с его примесями.

Азот образует с железом химические соединения — нитриды Fe_2N (11,15% N) и Fe_4N (5,9% N). Некоторые исследователи считают возможным образование нитрида, близкого по составу к Fe_3N .

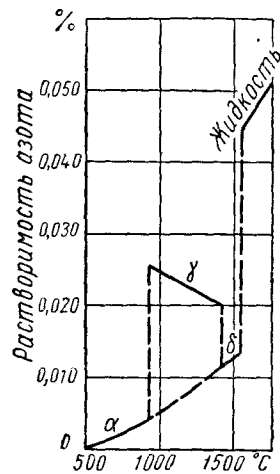
Теплота образования Fe_2N и Fe_4N соответственно равна [21], [34]



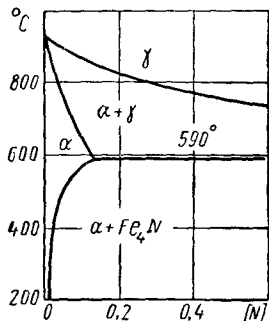
Нитрид Fe_3N начинает разлагаться в атмосфере чистого азота при температуре около 550°C . Дальнейшее повышение температуры вызывает диссоциацию нитрида Fe_3N . Диссоциация нитридов при высоких температурах происходит тем полнее, чем выше концентрация азота в металле. При относительно же небольших концентрациях азота в металле нитрид железа достаточно устойчив и при высоких температурах.

Растворимость азота в железе при его парциальном давлении $p_{\text{N}_2} = 1 \text{ атм}$ показана на фиг. 31. Изменение растворимости азота при расплавлении (кристаллизации) железа происходит скачкообразно.

Вместе с этим из диаграммы состояния железа — азот (фиг. 32) следует, что растворимость азота в твердом железе значительно превышает значения,



Фиг. 31. Растворимость в железе азота при его парциальном давлении $p_{\text{N}_2} = 1 \text{ атм}$.



Фиг. 32. Начальная область диаграммы состояния системы железо — азот [34].

приведенные на фиг. 31. Кривую предельной растворимости азота в железе на фиг. 31 нужно рассматривать как растворимость азота, находящегося в равновесии с нитридами железа.

Из табл. 19 следует, что концентрация азота в металле шва (малоуглеродистая сталь), выполненного голым электродом, заметно выше тех значений, которые отвечают предельной растворимости его при температуре плавления и парциальном давлении $p_{\text{N}_2} = 1 \text{ атм}$. Механизм растворения азота в жидком металле еще недостаточно изучен. При дуговой сварке поглощению азота весьма благоприятствует его частичная диссоциация в газовой фазе. Так, при переплавке железа электрической дугой в среде атомарного азота концентрация азота в металле может достигать значений 0,3—0,4% [34]. Вместе с этим замечено, что кислород, находясь в газовой фазе и соединяясь в зоне дуги в окисел NO по-видимому является проводником азота в металл. Так, по данным К. П. Воцакова [35] дуговая сварка на воздухе дала содержание азота в металле шва 0,128%, в то время как при прочих равных условиях сварка в атмосфере азота всего лишь 0,04%.

В табл. 20 приведены некоторые данные о содержании азота в металле шва (малоуглеродистая сталь) при сварке плавлением различными методами.

Влияние азота на свойства шва. Скачкообразное изменение растворимости газообразного азота в металле при его расплавлении (кристаллизации) указывает на то обстоятельство, что азот при сварке сталей может явиться одним из факторов, способствующих или обуславливающих появление и развитие пор в металле шва. Увеличение концентрации азота в малоуглеродистой стали оказывает существенное влияние на ее прочностные и пластические свойства

Содержание азота в металле шва при сварке малоуглеродистой стали различными методами

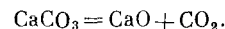
Метод сварки	Содержание азота в металле шва в %
Электродная проволока Св-08	0,002—0,003
Автоматическая дуговая сварка под стекловидным флюсом	0,002—0,003
То же, под пемзовидным флюсом	0,003—0,007
Сварка кислородно-ацетиленовым пламенем	0,015—0,020
Дуговая сварка электродами с качественными защитно-легирующими покрытиями	0,02—0,05
То же, с применением голых электродов	0,105—0,218

(фиг. 33). Кривая растворимости азота в α -железе, находящегося в равновесии с Fe_3N (фиг. 32), показывает, что азот может явиться одной из причин старения стали (металла шва). Действительно, если в твердом растворе α -железа (металл шва) в результате быстрого охлаждения будет зафиксирована концентрация азота, превышающая его растворимость при комнатной температуре, то металл будет склонен к старению вследствие выделения субмикроскопических частиц нитрида железа. Процесс старения металла сопровождается повышением его твердости и снижением пластичности и ударной вязкости. Вызванная азотом склонность металла шва к старению («азотное старение») выявляется при помощи закалки с нагревом до температуры $600\text{—}650^\circ\text{C}$ и дальнейшего вылеживания в течение 12 суток. В швах на малоуглеродистых сталях она заметно проявляется в том случае, когда концентрация азота превышает 0,04—0,05%.

Азот является аустенитообразующим элементом; поэтому для некоторых марок высоколегированных сталей аустенитного, аустенитно-ферритного и ферритного классов он может рассматриваться как ценная легирующая добавка.

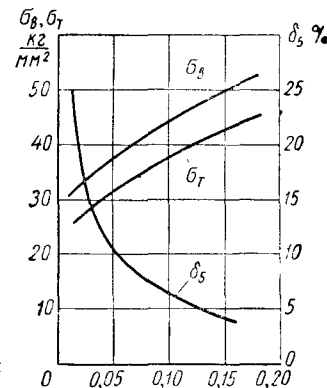
Взаимодействие углекислого газа с жидким металлом в зоне сварки

Углекислый газ (CO_2) может присутствовать в газовой фазе зоны сварки в заметных концентрациях. За последние годы, на основании работ ЦНИИТМАШ [37], [38], углекислый газ стал все шире использоваться в качестве основной защитной среды при сварке углеродистых и легированных сталей плавящимся электродом. Высокая концентрация углекислого газа наблюдается в газовой фазе при сварке электродами с покрытием, построенным на основе мрамора (CaCO_3) и плавикового шпата. При нагреве и плавлении такого рода покрытия наблюдается диссоциация карбоната кальция



Упругость диссоциации CaCO_3 может быть приближенно описана уравнением [15]

$$\lg p_{\text{CO}_2} = -\frac{9300}{T} + 7,85.$$



Фиг. 33. Влияние азота на механические свойства малоуглеродистой стали [36].

Пользуясь последним уравнением, можно определить, что в атмосфере с парциальным давлением $p_{\text{CO}_2} = 1 \text{ ата}$ температура начала разложения CaCO_3 составит 910°C , а в атмосфере воздуха (парциальное давление $p_{\text{CO}_2} \approx 0,0003 \text{ ата}$) диссоциация начнется при температуре примерно 510°C .

При соответствующей концентрации углекислый газ является активным окислительным агентом по отношению к жидкому железу. Взаимодействие жидкого железа с углекислым газом может быть выражено уравнением



Температурная зависимость константы равновесия реакции (41)

$$K_{(41)} = \frac{p_{\text{CO}_2}}{p_{\text{CO}} [\text{FeO}]} \quad (42)$$

в соответствии с данными работы [39] имеет следующий вид:

$$\lg K_{(41)} = \frac{11576}{T} - 6,855. \quad (43)$$

На основании уравнений (42) и (43) в табл. 21 даны равновесные отношения $\text{CO}_2 : \text{CO}$ в газовой фазе в зависимости от содержания закиси железа (кислорода) в жидком железе. Следует отметить, что данные табл. 21, относящиеся к температурам выше 1800°C , носят приближенный характер, так как получены путем экстраполяции уравнения (43) на температуры выше тех, для которых это уравнение справедливо ($1550-1800^\circ \text{C}$).

21. Равновесные отношения $\text{CO}_2 : \text{CO}$ в зависимости от содержания FeO в жидком железе

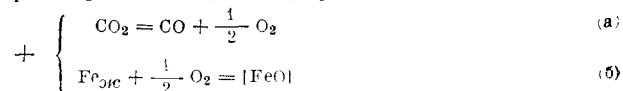
Содержание в %		Температура в $^\circ \text{C}$				
FeO	O	1540	1600	1800	2000	2300
0,01	0,0022	0,00328	0,00167	0,00053	0,00017	0,00004
0,02	0,0044	0,00656	0,00334	0,00106	0,00034	0,00008
0,05	0,0111	0,01640	0,00835	0,00265	0,00051	0,00021
0,10	0,0222	0,03280	0,01670	0,00530	0,00170	0,00043
0,20	0,0444	0,06560	0,03340	0,01060	0,00340	0,00086
0,50	0,1110	0,16400	0,08350	0,02650	0,00510	0,00210
1,00	0,2220	—	—	0,05300	0,01700	0,00430
2,00	0,4440	—	—	—	0,03340	0,00860
3,00	0,6660	—	—	—	—	0,01290

Данные табл. 21 указывают на то, что CO_2 является весьма активным окислителем железа, так как равновесные отношения $\text{CO}_2 : \text{CO}$ в газовой фазе при всех температурах имеют очень небольшую величину.

Окислительная роль углекислого газа подтверждается также возможностью его диссоциации по уравнению¹



¹ Реакцию (41) можно рассматривать как сумму двух реакций.



Зависимость константы равновесия реакции (44) от температуры описывается уравнением [40]

$$\lg K_{(44)} = \lg \frac{p_{\text{CO}}^2 p_{\text{O}_2}}{p_{\text{CO}_2}^2} = -\frac{29072}{T} + 8,81. \quad (45)$$

Если принять суммарное давление смеси газов, полученной в результате диссоциации чистого углекислого газа, равным 1 ата , то

$$p_{\text{CO}_2} + p_{\text{CO}} + p_{\text{O}_2} = 1. \quad (46)$$

Учитывая, что в процессе диссоциации двух молекул CO_2 образуется две молекулы CO и одна молекула O_2 , получим

$$p_{\text{CO}} = 2p_{\text{O}_2}. \quad (47)$$

Решая уравнения (45)–(47) совместно, можно для заданной температуры рассчитать состав газовой фазы, первоначально (при комнатной температуре) состоявшей из чистого углекислого газа (табл. 22). На фиг. 34 результаты аналогичных расчетов приведены в виде графика.

Из данных табл. 22 следует, что парциальное давление кислорода, получающегося в результате диссоциации углекислого газа в температурном интервале, отвечающем жидкому металлу в зоне сварки, значительно превышает (порядок 10^3-10^4) упругость диссоциации закиси железа, насыщающей жидкий металл.

Использование CO_2 как защитной среды при сварке сталей

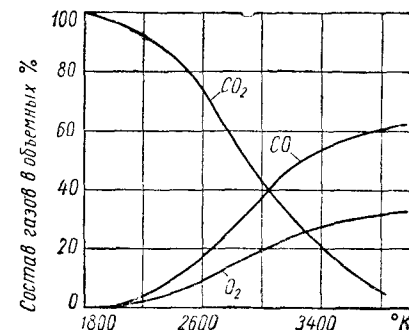
Приведенные данные подтверждают активную роль CO_2 как окислительного агента по отношению к расплавленному железу. Поэтому использование углекислого газа в качестве защитной среды при дуговой сварке в сочетании с обычной малоуглеродистой проволокой типа Св-08, изготовленной из кипящей стали, приводит к заметному окислению сварочной ванны. В результате в кристаллизующейся ее части получит в большей или меньшей степени развитие реакция (22).

Окись углерода, будучи нерастворимой в металле и выделяясь из кристаллизующегося металла, приводит к появлению и развитию пор в металле шва.

С окислительным действием CO_2 в процессе сварки сталей, как впервые было показано работами ЦНИИТМАШа, можно бороться двумя способами: подбором надлежащего состава электродной проволоки и применением защитно-легирующего флюса (покрытия).

Применение электродной проволоки, легированной кремнием и марганцем, обеспечивает надлежащую концентрацию этих элементов в шве ($0,3-0,4\% \text{ Si}$ и $0,5-1,1\% \text{ Mn}$). Достаточно высокая концентрация кремния в сварочной ванне способствует торможению реакции (22) в кристаллизующейся части сварочной ванны и получению плотного шва. Уже при содержании $0,1-0,2\%$ кремния и углерода в металле, находящемся при температуре 1540°C , упругость диссоциации SiO_2 значительно ниже упругости диссоциации CO , т. е. при этих условиях кремний имеет средство к кислороду большее, чем углерод. Поэтому в процессе кристаллизации раскисление металла идет за счет реакции (23), а реакция (22) тормозится.

Достаточно же высокое отношение $[\text{Mn}] : [\text{Si}]$ в жидком металле приводит к совместному раскислению кристаллизующегося шва кремнием и марганцем.



Фиг. 34. Состав равновесной газовой смеси, являющейся результатом диссоциации CO_2 , в зависимости от температуры [38].

22. Состав газовой фазы, полученной в результате диссоциации чистого углекислого газа

Температура в °К		1800	2000	2200	2500	3000	3500	4000
Состав газовой фазы в объемных %	CO ₂	99,34	97,73	93,94	81,40	44,26	16,69	5,92
	CO	0,44	1,51	4,04	12,60	37,16	55,54	62,72
	O ₂	0,22	0,76	2,02	6,30	18,58	27,77	31,36
Парциальное давление P _{O₂} кислорода		2,2 · 10 ⁻³	7,6 · 10 ⁻³	2,02 · 10 ⁻²	6,3 · 10 ⁻²	18,58 · 10 ⁻²	27,77 · 10 ⁻²	31,36 · 10 ⁻²
Упругость диссоциации FeO		3,81 · 10 ⁻⁹	1,08 · 10 ⁻⁷	1,35 · 10 ⁻⁶	5,3 · 10 ⁻⁵	—	—	—

23. Свойства многослойного металла шва, выполненного на малоуглеродистой стали кремнемарганцовистыми электродными проволоками в CO₂ [41]

Марка проволоки	Предел прочности в кг/мм ²	Ширин текучести в кг/мм ²	Относительное удлинение в %	Ударная вязкость в кДж/см ² при температуре		Количество окисных включений в % к весу шва
				+20° C	-40° C	
Св-08ГСА	48,6—50,5	29,7—32,6	25,0—28,3	11,4—15,7	1,4—7,9	0,014
Св-08Г2С	51,4—52,3	32,9—36,2	23,3—26,0	11,6—14,1	2,7—6,0	0,009

что обуславливает получение продуктов раскисления с относительно невысокой точкой плавления (фиг. 35). Поэтому образующиеся силикатные включения легко коагулируют и всплывают на поверхность шва, снижая общее содержание кислорода в нем. Это дает возможность получить металл шва с высокими прочностными и пластическими свойствами (табл. 23).

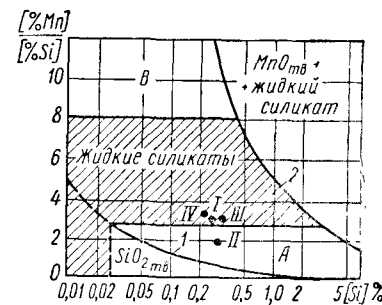
Низкое содержание суммарного кислорода в металле шва, несмотря на резко окислительный характер газовой фазы, достигается, кроме того, следующими условиями:

а) наличие элементов-раскислителей (кремний, марганец, углерод) в жидком металле ограничивает концентрацию кислорода в нем (см. стр. 65—67);

б) окисление кремния и марганца в зоне плавления приводит к образованию пленки шлаков (табл. 24), частично защищающих жидкий металл от взаимодействия с газовой фазой;

в) высокое содержание марганца в проволоке и жидком металле вызывает активное испарение этого элемента: пары марганца, вступая во взаимодействие с кислородом газовой фазы, снижают парциальное давление последнего.

Из табл. 24 следует, что использование проволоки с повышенным содержанием марганца приводит к некоторому обескислованию сварочной ванны. Наряду



Фиг. 35. Области твердых и жидких продуктов раскисления марганцем и кремнием при 1600°С. Кривая 1 — граница твердого кремнезема, кривая 2 — граница твердых растворов на основе оксидов марганца; А и В — герметизированные частицы продуктов раскисления в жидко-твердом состоянии [18]; I—IV — композиции швов при сварке малоуглеродистой стали проволоками Св-08ГСА и Св-08Г2СА (см. табл. 25).

24. Составы шлаков, образующихся при сварке кремнемарганцовистыми проволоками в углекислом газе [42]

Электродная проволока	Содержание в шлаке в %					Ориентировочная точка плавления шлака в °С
	FeO	MnO	SiO ₂	S	I	
Св-10ГС	13,6	34,9	48,9	—	—	Около 1200
Св-08ГС	10,6	38,7	48,2	0,016	Нет	
Св-08Г2СА	8,5	47,6	41,9	0,050		

25. Химический состав отливок швов, выполненных в углекислом газе кремнемарганцовистыми проволоками на малоуглеродистой стали [41]

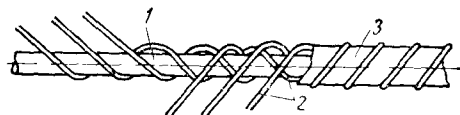
Марка проволоки по ГОСТу 2246-60	Марка свариваемой стали по ГОСТу 980-50	№ композиции шва по Фиг. 35	Содержание в %			
			C	Mn	Si	Окисных включений
Св-08ГСА	МСт. 3	I	0,13	0,78	0,29	0,014
		II	0,14	0,82	0,47	
		III	0,12	0,85	0,31	
Св-08Г2СА		IV	0,14	0,72	0,23	0,009

с невысокой концентрацией суммарного кислорода в металле шва сварка под защитой углекислого газа обеспечивает очень низкое содержание азота и водорода в шве. Малая концентрация водорода в металле шва объясняется небольшим парциальным давлением его в газовой фазе и реакцией (35) взаимодействия с CO_2 . Это обстоятельство служит дополнительным объяснением малой склонности швов, выполненных под защитой CO_2 , к появлению пор и относительно малой чувствительности этого процесса к поверхностной ржавчине.

При сварке в углекислом газе вместо кремнемарганцовистой электродной проволоки можно применять проволоку из малоуглеродистой стали (типа Св-08, ГОСТ 2246-54) в сочетании со шлакообразующим и легирующим наполнением (флюсом) или покрытием, — например порошковую проволоку с сердцевинной, выполненной шлакообразующими и легирующими компонентами; наружная



Фиг. 36. Поперечное сечение электродной проволоки с порошковым флюсом во внутренней полости для сварки в CO_2 .



Фиг. 37. Электродная проволока для сварки в углекислом газе: 1 — электродная проволока; 2 — оплетка из проволоки малого диаметра; 3 — покрытие (обмазка)

оболочка такой проволоки свертывается из ленты, изготовленной из малоуглеродистой стали.

По данным ЦНИИТМАШа применение в качестве наполнителя шихты, состоящей из ферросилиция, ферромарганца и окиси титана, дает возможность при автоматической дуговой сварке получить сварные швы с высокими прочностными и пластическими свойствами (табл. 26).

26. Механические свойства швов, выполненных в углекислом газе порошковой проволокой со шлакообразующим (TiO_2) и легирующим (Si, Mn) наполнением

предел прочности в кг/мм^2	Предел текучести в кг/мм^2	Относительное удлинение в %	Относительное сужение в %	Ударная вязкость в кг/см^2
58,5—59,8	41,2—44,2	20,3—23,0	54,0—55,0	12,4—13,1

Примечание Химический состав шва: 0,12% C; 0,5% Si; 1,12% Mn; 0,017% S; 0,033% P

За рубежом для этой же цели применяются порошковые проволоки специального профиля (фиг. 36) или проволоки с сетчатой металлической оплеткой в ячейки которой запрессовывается обмазка «рутилового» типа (фиг. 37).

При дуговой сварке сталей в среде CO_2 электродной проволокой с невысоким содержанием углерода наблюдается некоторое повышение его содержания в металле шва.

Механизм повышения концентрации углерода в металле шва при сварке сталей в CO_2 еще не вполне ясен. Одной из возможных схем протекания этого процесса является следующая.

В результате реакции (41) взаимодействия жидкого металла с CO_2 , а также диссоциации последнего по реакции (44), газовая фаза обогащается CO. Известно, что железо оказывает каталитическое действие на протекание реакции распада CO



27. Соотношение содержания углерода в электродной проволоке и металле шва [43] при сварке в CO_2 и аргоне с 5% O_2

Содержание углерода в проволоке в %	Содержание углерода в шве в %	
	Сварка в CO_2	Сварка в смеси аргон — кислород
0,05 0,06	0,09	0,05 0,06
0,09 0,11	0,12 0,13	0,10
0,12	0,12	0,11

Продуктом этой реакции является сажастый углерод. Температурный интервал протекания реакции (48) $300—900^\circ\text{C}$, а наибольшая скорость распада CO наблюдается при температуре $500—600^\circ\text{C}$ [13]. Струя CO_2 , прошедшая зону дуги и обогащенная CO, соприкасаясь затем с относительно холодными участками металла впереди дуги, дает отложение сажастого углерода, который затем усваивается сварочной ванной.

Однако отмеченное явление при сварке малоуглеродистых и легированных сталей перлитного класса не приводит к сколько-нибудь существенным отрицательным последствиям.

В настоящее время в лабораторных и производственных условиях освоена сварка в углекислом газе достаточно широкой номенклатуры сталей — низколегированных повышенной прочности (НХ-2, СХЛ-4 14ХГСА), термически обрабатываемых типа 30ХГСА, теплоустойчивых (15ХМА и 20ХМФА), стали мартенситного класса 2Х-13 и некоторых марок сталей аустенитного класса. Кроме того, показана возможность проведения наплавочных работ под защитой CO_2 в сочетании с порошковой проволокой, обеспечивающей состав наплавленного металла типа Р18, Р9, 3Х2В8 и Х12ВФ (табл. 28).

28. Состав порошковой электродной проволоки для наплавки высоколегированных сталей под защитой CO_2 [44]

Марка наплавленной стали	Химический состав проволоки в %						
	C	Si	Mn	Cr	W	V	Ti
Р18	1,25—1,35	0,5—0,6	0,4	4,5—4,8	19,0—21,0	1,3—1,5	1,3—1,5
Р9	1,40—1,50				9,0—11,0	2,5—2,8	
3Х2В8	0,8—0,9		0,8—1,2	2,9—3,2		0,3—0,4	
Х12ВФ	2,5—3,0		0,4	16,5—19,5	1,0—1,5	0,9—1,1	

Взаимодействие водяного пара с жидким металлом в зоне сварки

Водяной пар может достигать значительных концентраций в газовой фазе зоны сварки. Источниками его могут являться: влага покрытия и флюса, конституционная влага ржавчины на поверхности свариваемых кромок, а также некоторые реакции, протекающие в покрытиях и газовой фазе.

Водяной пар при высокой температуре может диссоциировать по следующим реакциям:



В соответствии с термодинамическими расчетами, приведенными в работе [32], при температурах газовой фазы ниже 4500° К наиболее вероятна диссоциация по уравнению (49), выше этой температуры — по уравнению (52). Большую степень вероятности имеет и реакция (50).

Диссоциация водяного пара в газовой фазе зоны сварки способствует повышению содержания в сварочной ванне водорода и кислорода.

В результате взаимодействия водяного пара с жидким железом возможна следующая реакция:



Константа равновесия реакции (53) выражается уравнением

$$\lg K_{(53)} = \lg \frac{\text{H}_2\text{O}}{\text{H}_2 [\text{FeO}]} = \frac{10200}{T} - 5,5. \quad (54)$$

В табл. 29, согласно уравнению (54), приведены значения равновесных отношений концентраций водяного пара и водорода в газовой фазе для различных содержаний закиси железа (кислорода) в металлической ванне.

29. Значения отношения $\frac{\text{H}_2\text{O}}{\text{H}_2}$ в газовой фазе, находящейся в равновесии с железом, содержащим кислород [39]

Содержание в %		Температура в °С					
FeO	O	1540	1600	1800	2000	2200	2300
0,01	0,0022	0,0135	0,0085	0,0026	0,0008	0,0004	0,0003
0,05	0,0111	0,0675	0,0426	0,0131	0,0038	0,0021	0,0015
0,10	0,0222	0,1350	0,0852	0,0262	0,0076	0,0042	0,0029
0,50	0,1110	0,6750	0,4260	0,1310	0,0380	0,0210	0,0145
1,00	0,2220	—	0,8520	0,2620	0,0760	0,0420	0,0290
2,00	0,4440	—	—	0,5240	0,1520	0,0840	0,0580
3,00	0,6660	—	—	—	0,2280	0,1260	0,0870

Данные табл. 29 указывают на то, что по отношению к жидкому железу водяной пар при температурах сварки может явиться активным окислителем. Водород, являющийся продуктом реакции (53), будет частично растворяться в металле. При этом наличие элементов-раскислителей в сварочной ванне, снижающих концентрацию закиси железа (кислорода) в металле, будет способствовать более полному усвоению водорода. К этому же заключению приводит рассмотрение реакций (49), (31), а также реакции



Суммируя реакции (49), (31) и (55), получим результирующую реакцию (38), выражения константы равновесия которой

$$K_{(38)} = \frac{[\% \text{H}]^2 [\% \text{O}]}{P_{\text{H}_2\text{O}}}$$

следует, что:

- а) введение водяных паров в зону сварки может привести к повышению концентрации водорода и кислорода в металле;
- б) при данном парциальном давлении водяного пара в газовой фазе имеется тенденция к установлению определенного соотношения концентраций водорода и кислорода, растворенных в металле, определяемого произведением $[\% \text{H}]^2 [\% \text{O}]$;
- в) меньшему содержанию кислорода в металле отвечает более высокое содержание водорода и наоборот (фиг. 29 и 30).

Имея в виду вредные последствия повышенной концентрации водорода в металле, необходимо при повышении степени раскисленности металла шва одновременно принимать меры к ограничению влажности покрытия и флюса, а также водородосодержащих (органических) добавок в них.

Взаимодействие жидкого металла в зоне сварки с газовыми смесями

При дуговой сварке качественными электродами с защитно-легирующими покрытиями, под гранулированными флюсами, а также газовым пламенем, газовая фаза, контактирующая с жидким металлом, состоит из смеси CO_2 , CO , H_2O , H_2 , O_2 , N_2 ; продуктов их диссоциации (O , H , N , OH) и паров металла и шлака.

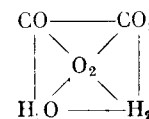
Определение полного состава газовой фазы в зоне сварки при температурах сварочного процесса представляет значительные экспериментальные и теоретические затруднения. В настоящее время с большей или меньшей степенью точности определен состав газов, выделяющихся при сварке углеродистых сталей качественными электродами и под флюсом, охлажденных до комнатной температуры (см. табл. 15).

Если пренебречь диссоциацией молекулярного водорода и кислорода, наличием гидроксидов, а также паров металла и шлака в газовой фазе, то можно по аналитическим данным, пользуясь методикой, изложенной в работе [45], приблизительно оценить окислительную (или восстановительную) роль газовой фазы по отношению к металлической ванне путем сопоставления парциального давления кислорода и устойчивости диссоциации закиси железа, растворенной в металле. Это можно показать на примере газов, выделяющихся при сварке электродом ЦМ-7, ЦУ-1 и ЦУ-1Г. По данным Л. В. Сухова и К. В. Любавского (ЦНИИТМАШ) газы, выделяющиеся при сварке этими электродами, имеют при температуре 20° С состав, приведенный в табл. 15.

Газы указанного состава будут при высоких температурах диссоциировать и взаимодействовать по обратимым реакциям (49) и (44а), а также по реакции



В результате реакций (49) и (44а) появится свободный кислород, равновесная концентрация которого для обеих реакций должна быть одинаковой. Кислород может реагировать с углеводородами (C_nH_m). Однако этим последним обстоятельством пренебрегаем, что даст несколько завышенное значение расчетного парциального давления кислорода в газовой фазе. Равновесное сосуществование H_2O , CO , CO_2 , H_2 и O_2 может быть изображено схемой



Допуская возможность достижения термодинамического равновесия в обозначенных объемах газовой фазы зоны сварки и учитывая, что общее равновесие сопровождается равновесием элементарных (частных) реакций, можно подсчитать равновесный состав газовой фазы, отвечающий температуре жидкого металла в зоне сварки.

Приближенная температурная зависимость констант равновесия реакций (49), (44а) и (56) может быть описана уравнениями

$$\lg K_{(49)} = \lg \frac{P_{H_2} P_{O_2}^{0,5}}{P_{H_2O}} = -\frac{13154}{T} + 3,045; \quad (57)$$

$$\lg K_{(44a)} = \lg \frac{P_{CO} P_{O_2}^{0,5}}{P_{CO_2}} = -\frac{14548}{T} + 4,404; \quad (58)$$

$$\lg K_{(56)} = \lg \frac{P_{H_2O} P_{CO}}{P_{CO_2} P_{H_2}} = -\frac{1394}{T} + 1,359. \quad (59)$$

Реакция (56) при повышении температуры стремится протекать слева направо. Так как эта реакция не сопровождается изменением числа молекул, то, обозначив через x изменение парциального давления каждой составляющей реакции, константу ее равновесия можно написать в следующем виде:

$$K_{(56)} = \frac{(P_{CO} + x)(P_{H_2O} + x)}{(P_{CO_2} - x)(P_{H_2} - x)}$$

где P_{CO} , P_{H_2O} , P_{CO_2} , P_{H_2} — исходные парциальные давления, отвечающие температуре 20° С.

Подставляя в уравнение (59) значение $K_{(56)}$, соответствующее интересующей нас температуре, можно определить величину x , а следовательно, и расчетный состав газов по CO , H_2O , CO_2 и H_2 . Для подсчета равновесной концентрации кислорода можно воспользоваться уравнениями (44а) и (58) или (49) и (57). Для заданной температуры равновесные парциальные давления кислорода будут равны:

$$P_{O_2} = K_{(44a)}^2 \frac{P_{CO_2}^2}{P_{CO}^2}; \quad (60)$$

$$P_{O_2} = K_{(49)}^2 \frac{P_{H_2O}^2}{P_{H_2}^2}. \quad (61)$$

Парциальные давления кислорода * в газовой фазе, полученные по уравнениям (60) или (61), в сопоставлении с упругостью диссоциации закиси железа, растворенной в металле и рассчитанной по общему содержанию кислорода в металле шва по формуле (13) **, для различных температур приведены в табл. 30.

Из табл. 30 следует, что газы, выделяющиеся при сварке электродами ЦМ-7, носят восстановительный характер по отношению к сварочной ванне при температурах, близких к точке кристаллизации, а при максимальных температурах жидкого металла в зоне плавления газовая фаза является окислительной. Газы, выделяющиеся при плавлении электродов ЦУ-1 и ЦУ-1Г,

* Расчеты произведены Л. В. Суховым.
** Содержание суммарного кислорода для металла шва, выполненного электродами ЦМ-7, принято равным 0,10 %, а для металла, выполненного электродами ЦУ-1 и ЦУ-1Г, 0,02 %.

30. Равновесные парциальные давления кислорода в газовой фазе P_{O_2} в сопоставлении с упругостью диссоциации закиси железа P'_{O_2} , растворенной в металле и подсчитанной по суммарному содержанию кислорода в металле шва

Температура в °K	Электроды ЦМ-7		Электроды ЦУ-1Г		Электроды ЦУ-1	
	P_{O_2}	P'_{O_2}	P_{O_2}	P'_{O_2}	P_{O_2}	P'_{O_2}
1800	$8,74 \cdot 10^{-11}$	$1,36 \cdot 10^{-9}$	$1,04 \cdot 10^{-10}$	$5,48 \cdot 10^{-11}$	$7,44 \cdot 10^{-9}$	$5,48 \cdot 10^{-11}$
2000	$2,79 \cdot 10^{-9}$	$8,41 \cdot 10^{-9}$	$4,13 \cdot 10^{-7}$	$3,40 \cdot 10^{-10}$	$2,88 \cdot 10^{-7}$	$3,40 \cdot 10^{-10}$
2500	$1,38 \cdot 10^{-8}$	$2,11 \cdot 10^{-7}$	$3,12 \cdot 10^{-4}$	$8,52 \cdot 10^{-9}$	$2,117 \cdot 10^{-4}$	$8,52 \cdot 10^{-9}$
3000	$8,48 \cdot 10^{-5}$	$1,84 \cdot 10^{-6}$	$2,59 \cdot 10^{-2}$	$7,44 \cdot 10^{-8}$	$1,698 \cdot 10^{-2}$	$7,44 \cdot 10^{-8}$

при всех возможных температурах жидкого металла в зоне сварки носят окислительный характер.

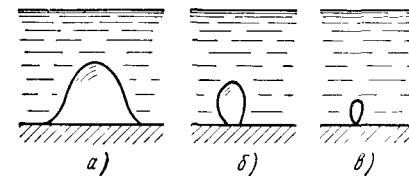
Аналогичные расчеты могут быть проведены и для газовой фазы применительно к сварке кислородно-ацетиленовым или кислородно-водородным пламенем

Образование пор в металле шва

Поры в металле шва являются одним из основных дефектов, тесно связанных с взаимодействием жидкого металла в зоне сварки с газовой фазой или с окислением его шлаками и поверхностными окислами, а также с выделением газов из соседних со швом участков основного металла (например, при сварке кипящих сталей). Если в период кристаллизации сварочной ванны имеются условия для интенсивного газовыделения в затвердевающем металле шва, то в нем могут возникнуть поры. Пузырьки газов, выделяемые кристаллизующимся металлом (кроме газов, выделяемых поверхностью ванны), как правило, должны возникать на поверхности раздела жидкой и твердой фаз (см. ниже) и оставаться связанными с этой поверхностью до тех пор, пока не вырастут настолько чтобы оторваться и всплыть на поверхность металлической ванны.

При этом размер отрывающихся пузырьков газа в значительной степени зависит от смачиваемости твердой поверхности (фиг. 38). Образование пузырька значительно облегчается, если на границе раздела в твердой фазе имеется полость, заполненная газом. Если скорость выделения образующихся пузырьков меньше скорости продвижения фронта кристаллизации металла шва, то пузырьки могут быть задержаны растущими кристаллами, в результате чего возникают поры. Сказанное подтверждается известными из практики наблюдениями, показывающими, что увеличение скорости сварки, при прочих равных условиях, приводит к более четко выраженной склонности металла шва к образованию пор.

Причинами интенсивного газовыделения кристаллизующимся металлом является пересыщение маточного раствора кислородом, водородом и азотом.



Фиг. 38. Формы пузырьков газа, выделяющегося из жидкости на твердой поверхности в зависимости от ее смачиваемости: а — не смачивается, б — слабо смачивается, в — хорошо смачивается.

В предыдущих параграфах указывалось, что жидкий металл растворяет значительно более высокие концентрации кислорода, водорода и азота, чем твердая фаза; при этом растворимость этих элементов в жидком железе, определяемая окислительными условиями и составом газовой фазы, растет с повышением температуры. Если в результате взаимодействия с газовой фазой, состоящей из CO , CO_2 , H_2 , H_2O , N_2 , O_2 и продуктов их диссоциации, сварочная ванна, содержащая углерод, поглотила в зоне максимальных температур кислород, водород или азот в количествах, заметно превышающих их растворимость в твердом железе при точке плавления, то кристаллизующаяся твердая фаза будет иметь значительно меньшую концентрацию этих элементов, а остающийся маточный раствор окажется пересыщенным ими. В результате этого в междендритных пространствах могут развиваться реакции (22), (31), (38), (39), а также реакция



Продукты этих реакций нерастворимы в металле, поэтому они могут вызывать образование газовых пузырьков, которые будут расти за счет диффузии элементов из окружающих слоев металла.

Возникновение газового пузыря в металле возможно, если давление $P_{\text{газ}}$ выделяющегося газа способно преодолеть внешние силы (давление), препятствующие его выделению $P_{\text{вн.д}}$, т. е. при следующем условии:

$$P_{\text{газ}} \geq P_{\text{вн.д}}, \quad (63)$$

где

$$P_{\text{газ}} = P_{\text{CO}} + P_{\text{H}_2} + P_{\text{N}_2} + P_{\text{H}_2\text{O}} + \dots$$

$$P_{\text{вн.д}} = P_{\text{атм}} + P_{\text{мет}} + P_{\text{шл}} + P_{\text{пов.нат}} = P_{\text{атм}} + h_1 \gamma_1 + h_2 \gamma_2 + \frac{2\sigma}{r}.$$

Здесь h_1 — высота столба металла; γ_1 — удельный вес металла; h_2 — высота слоя шлака; γ_2 — удельный вес шлака.

При обычных условиях сварки (сварка плавлением металла средних и малых толщин) величинами $P_{\text{мет}}$ и $P_{\text{шл}}$ можно пренебречь. Тогда уравнение (63) приобретает вид

$$P_{\text{газ}} \geq P_{\text{атм}} + \frac{2\sigma}{r}. \quad (64)$$

Из уравнения (64) следует, что в период зарождения пузыря, когда размеры его малы, необходимая величина $P_{\text{газ}}$ зависит, в основном, от поверхностного натяжения σ на границе раздела металл-газ. Если условие, определяемое уравнением (64), не выполняется (правая часть уравнения больше левой), то газовый пузырь образоваться не может.

Подсчет показывает, что для стали с поверхностным натяжением 1350 дн/см для уравновешивания сил давления поверхностной пленки пузыря радиусом $5 \cdot 10^{-5} \text{ м}$ требуется давление газа около 550 ат .

Зарождение газового пузырька в «прозрачном» сплошном жидком металле мало вероятно, так как для этого требуется разделить атомы, т. е. преодолеть силы металлической связи. К этому нужно добавить, что образование зародыша газового пузыря возможно и том случае, если его радиус превышает некоторую критическую величину [46].

Вероятность же образования устойчивых зародышей газового пузыря может быть определена следующим соотношением [16]:

$$I = C e^{\frac{-4\pi r_{\text{кр}} \sigma}{3kT}},$$

где I — число зародышей, возникающих в единицу времени; $r_{\text{кр}}$ — критический радиус зародыша; σ — поверхностное натяжение; k — постоянная Больцмана ($k = 1,38 \cdot 10^{-16}$); T — абсолютная температура.

В соответствии с расчетами [47] экспонента $e^{\frac{-4\pi r_{\text{кр}} \sigma}{3kT}}$ составляет ничтожно малую величину порядка $10^{-16,2 \cdot 10^{22}}$. Отсюда следует, что зарождение пузыря в гомогенной жидкости мало вероятно.

В условиях кристаллизации сварочной ванны всегда имеются готовые поверхности раздела фаз (растущие кристаллы, шлаковые включения), на которых зарождение пузырьков значительно облегчено [22]. Это объясняется следующими обстоятельствами:

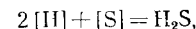
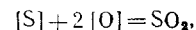
а) кислород, углерод и водород, как поверхностно-активные элементы, адсорбируются на готовых поверхностях раздела; это приводит к резкому локальному повышению концентрации их, способствует протеканию реакций (22), (31), (38), (39) и (62) и облегчает получение зародышей критических размеров;

б) при наличии адсорбции работа образования зародышевого пузыря уменьшается;

в) наконец, реальные зародыши газовых пузырей в условиях сварочной ванны имеют овальную форму, отличную от сферической, и при критическом радиусе кривизны имеют меньший объем, чем сферические зародыши; поэтому образование их при прочих равных условиях более вероятно.

Некоторые электроды, например ЦМ-7 и ОММ-5, имеющие в покрытии органические компоненты, весьма чувствительны к содержанию серы в сварочной ванне с точки зрения образования пор в металле. В то же время электроды типа УОНИ-13/45, ЦУ-1, ЦУ-1Г и др. покрытия которых построены на основе мрамора и плавленого шпата и не содержат органических компонентов, практически не чувствительны в этом отношении к наличию серы.

Образование пор в связи с повышенной концентрацией серы трудно объяснить реакциями



так как равновесные парциальные давления p_{SO_2} и $p_{\text{H}_2\text{S}}$ для этих реакций исчезающе малы. Поэтому появление пор при сварке электродами ЦМ-7, ОММ-5 и других аналогичных марок в случае наличия повышенной концентрации серы может быть связано, по-видимому, с двумя обстоятельствами:

а) каталитическим действием серы (хорошо известным);

б) более высокой концентрацией водорода и кислорода в сварочной ванне (металле шва) при сварке электродами ЦМ-7 по сравнению с электродами УОНИ-13/45.

Если сварочная ванна содержит в достаточных концентрациях углерод, кислород, водород (или азот) и одновременно серу, практически нерастворимую в твердой фазе, то последняя в процессе затвердевания жидкого металла будет обогащать его слои, прилегающие к растущим кристаллам. Указанное явление создает условия для адсорбции серы на растущих кристаллах, причем прилегающие к растущим кристаллам слои жидкого металла могут оказаться одновременно обогащенными H , C , O , N . В этих условиях вероятно проявление каталитического действия серы, активизирующей протекание реакций (22), (31), (38), (39) и (62), вправо.

Для уменьшения склонности к пористости металла шва могут быть рекомендованы такие меры, как ограничение концентрации азота, водорода и водяного пара в газовой фазе и торможение реакции (22) в период кристаллизации сварочной ванны, а при неизбежно высоких концентрациях водорода и водяного пара в газовой фазе — некоторое окисление сварочной ванны.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СВАРОЧНОЙ ВАННЫ С ФЛЮСАМИ-ШЛАКАМИ

Металлургическая роль и общая классификация флюсов-шлаков

Современные флюсы для автоматической и полуавтоматической сварки сталей, в зависимости от метода их производства, подразделяются на плавляемые и керамические.

Плавляемые флюсы представляют собой искусственно приготовленные силикаты с добавкой фтористых солей. Подготовленная шихта сплавляется в пламенной или электрической печи и затем гранулируется. При сварке легированных сталей находят применение флюсы, практически не содержащие кремнезема и построенные, в основном, на фтористых солях (CaF_2 , NaF и др.) с добавкой прочных оксидов (CaO , MgO , Al_2O_3).

Керамические флюсы производятся в виде крупки, получаемой смешением шихты соответствующего состава (со связующим или без него) с последующей грануляцией и прокаткой (спеканием) при соответствующих температурах [54].

При автоматической и полуавтоматической дуговой сварке сталей флюсы выполняют следующие металлургические функции:

а) физически защищают жидкий металл в зоне сварки от атмосферного влияния;

б) химически взаимодействуют с жидким металлом;

в) легируют сварочную ванну.

Функция (а) осуществляется при сварке любой марки стали; функция (б) является необходимой только при сварке малоуглеродистых и некоторых низколегированных сталей, функция (в) осуществляется в некоторых случаях при сварке высоколегированных сталей или наплавочных работах за счет введения в шихту керамического флюса металлических (легирующих) порошков.

Физическая защита жидкого металла в зоне сварки. Степень изолирующего (защитного) действия флюса зависит от его физического состояния (стекловидное или пемзовидное вещество) и грануляции (табл. 31). Присутствие во флюсах пылевидной фракции делает их практически газонепроницаемыми; такие флюсы обладают наилучшими изолирующими свойствами, хотя и несколько затрудняют формирование шва.

31. Влияние физического состояния флюса на концентрацию азота в металле шва (сварка малоуглеродистой стали [5])

Флюс	Насынный (объемный) вес в кг/дм^3	Содержание азота в металле шва %
Стекловидный	1,3	0,0025
Стекловидный с содержанием пемзы	0,95	0,0120
Пемзовидный	0,75	0,0380

Химическое взаимодействие с жидким металлом. Химическое взаимодействие флюсов с ванной жидкого металла может рассматриваться как с позиций молекулярной теории шлаков, так и ионной теории их строения. В соответствии с молекулярной теорией жидкие флюсы-шлаки представляют собой растворы электроцентрированных молекул. Однако некоторые данные с достоверностью показывают, что флюсы-шлаки в расплавленном состоянии имеют ионное строение, являясь электролитически диссоциированными системами. Щелочные и щелочно-земельные металлы, марганец, железо и некоторые другие элементы содержатся во флюсах-шлаках в виде положительных ионов (катионов):

K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Mn^{3+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} и др. Остальные элементы, содержащиеся в шлаках, образуют отрицательные ионы (анионы): F^- , S^{2-} , O^{2-} , P^{3-} , $\text{Al}_2\text{O}_4^{2-}$, AlO_2^- , SiO_4^{4-} , $\text{Si}_3\text{O}_9^{6-}$ и др. В расплавленных флюсах-шлаках ионы могут свободно перемещаться, что обуславливает их достаточно высокую электропроводность. Это свойство расплавленных флюсов-шлаков использовано при электрошлаковом процессе сварки, где расплавленный флюс-шлак разогревается проходящим через него сварочным током.

Несмотря на полную природу флюсов-шлаков, дальнейшее изложение, в основном, базируется на молекулярной теории, учитывая, что большинство металлургических и термодинамических данных о взаимодействии флюсов-шлаков с металлом построено на базе этой теории.

В зависимости от состава сварочной ванны и флюса последний либо вступает в химическое взаимодействие с металлом, либо остается пассивным. Если флюс не содержит легирующих металлических добавок, то исходная концентрация элемента $[\text{Me}]$ в сварочной ванне в соответствии с уравнением (9) выразится следующим образом:

$$[\text{Me}]_u = a [\text{Me}]_a + b [\text{Me}]_b,$$

где a и b — соответственно доли основного металла и электродной проволоки в образовании ванны; $[\text{Me}]_a$ и $[\text{Me}]_b$ — содержание элемента Me в основном металле и проволоке.

Конечная (аналитическая) концентрация элемента в металле шва $[\text{Me}]_u$ может иметь следующие значения:

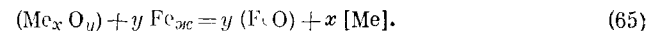
$$[\text{Me}]_u < [\text{Me}]_a;$$

$$[\text{Me}]_u > [\text{Me}]_a;$$

$$[\text{Me}]_u = [\text{Me}]_a.$$

В последнем случае флюс пассивен по рассматриваемому элементу. В общем случае флюс может быть пассивен по одному или нескольким элементам и активен — по другим.

При наличии шлаков, содержащих относительно непрочные оксиды, в высокотемпературной части сварочной ванны на границе раздела фаз шлак — металл возможно частичное восстановление этих оксидов и переход восстановленных элементов в сварочную ванну. Так применительно к сварке сталей возможна реакция:



Если концентрация оксида Me_xO_y во флюсе велика, а закись железа низка, то в зоне сварки могут иметь место такие температурные и концентрационные условия, при которых упругость диссоциации FeO окажется меньше упругости диссоциации Me_xO_y . Тогда реакция (65) будет протекать слева направо. Упругости диссоциации свободных оксидов при температурах сварки (см. фиг. 7, табл. 6) располагаются в порядке убывания следующим образом:



Поэтому можно ожидать, что при прочих равных условиях легче будет восстанавливаться из флюса фосфор, труднее — хром и марганец, еще труднее — кремний, затем титан и т. д.

Из реакций типа (65) большой практический интерес представляют реакции кремния и марганца (кремне- и марганцевовосстановительные процессы).

Легирование сварочной ванны. При сварке легированных сталей и при выполнении наплавочных работ часто возникает необходимость введения того или иного элемента в сварочную ванну. В таких случаях применяют керамические флюсы, содержащие те или иные металлические порошкообразные элементы.

Реакция кремния при сварке углеродистой стали под флюсами-силикатами

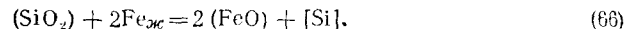
Флюсы-силикаты могут носить основной или кислотный характер в зависимости от отношения содержания в них суммы молярных концентраций основных окислов к сумме кислотных¹, т. е. от величины

$$B = \frac{\Sigma (RO)}{(\text{SiO}_2) + (\text{TiO}_2)},$$

где $\Sigma (RO)$ — сумма молярных концентраций основных окислов; (SiO_2) и (TiO_2) — соответственно молярные концентрации кремнекислоты и двуокиси титана.

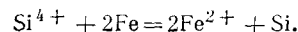
При $B > 1$ флюс носит основной характер, при $B < 1$ — кислотный. Основные флюсы² применяются преимущественно при сварке легированных сталей, когда кремневосстановительный процесс влечет за собой вредные последствия. Для наиболее распространенной группы промышленных плавильных флюсов, применяемых для сварки углеродистых и низколегированных сталей, величина B близка к единице.

При достаточно высокой концентрации кремнекислоты во флюсе, низкой концентрации в нем закиси железа и низком содержании кремния в сварочной ванне на границе раздела фаз шлак — металл в наиболее горячей части сварочной ванны будет развиваться реакция [53], [58]:



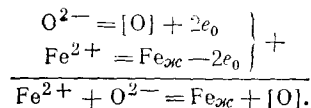
Закись железа, являющаяся продуктом реакции (66), преимущественно переходит в шлак, а частично — в металл. Таким образом, в результате реакции (66) металл обогащается кремнием и кислородом одновременно.

С точки зрения ионной теории шлаков процессы восстановления кремния и окисления железа нужно рассматривать как процессы обмена зарядами атомов и ионов элементов, находящихся в металле и флюсе; поэтому уравнение (66) может быть написано в следующей форме [48]:



Повышение кислорода в металле в результате реакции (66) с точки зрения ионной теории объясняется следующим образом. Ион кислорода O^{2-} не может перейти в металл без сопровождающего его катиона, обладающего равным по абсолютной величине положительным зарядом, так как без этого условия нарушится электронейтральность реагирующих фаз (металл — шлак). Таким сопровождающим катионом и является Fe^{2+} .

Переход закиси железа (кислорода) в металл ванны можно представить в следующем виде:



Термодинамическая вероятность протекания реакции (66) вправо может быть подтверждена следующим образом. Константа равновесия реакции (66)

$$K_{(66)} = \frac{(\text{FeO})^2 [\text{Si}]}{(\text{SiO}_2)} \quad (67)$$

или

$$K'_{(66)} = \frac{[\text{O}]^2 [\text{Si}]}{(\text{SiO}_2)}$$

¹ Иногда вместо молярных дробей применяют весовые проценты.

² Иногда их называют низкокремнистыми.

растет с повышением температуры. При наличии кислого флюса (высокая концентрация SiO_2), обладающего низкой концентрацией FeO , константа равновесия реакции (66) может быть переписана следующим образом:

$$K'_{(66)} = [\text{O}]^2 [\text{Si}].$$

Температурная зависимость этой константы имеет вид [16]

$$\lg K'_{(66)} = -\frac{26050}{T} + 9,5.$$

Если принять, что сваривается кипящая малоуглеродистая сталь с исходными концентрациями $[\text{Si}]_u = 0,03\%$ и $[\text{O}]_u = 0,02\%$, то из сопоставления величин $K'_{(66)}$, отвечающих различным температурам, и произведения исходных концентраций $[\text{O}]_u^2 [\text{Si}]_u$ (табл. 32) следует, что при температурах 1800°C и выше первая величина значительно превосходит вторую, т. е. реакция (66) должна протекать в правую сторону. При этом сварочная ванна будет обогащаться кремнием и кислородом одновременно. Если предположить, что концентрация кремния в наиболее разогретой части жидкой ванны достигла значения $[\text{Si}] = 0,3\%$ и кислорода $[\text{O}] = 0,2\%$, то реальное произведение концентраций достигнет $[\text{O}]^2 [\text{Si}] = 1,2 \cdot 10^{-5}$, что примерно отвечает константе равновесия при температуре 2000°C . При дальнейшем спаде температуры сосуществующие концентрации кремния и кислорода окажутся выше равновесных, начнется окисление кремния преимущественно за счет кислорода, растворенного в жидком металле. Однако конечная концентрация кремния в шве будет выше исходной, так как для полного окисления этого элемента не хватает кислорода в металле (относительно большая часть закиси железа переходит в шлак), а вследствие достаточно большой скорости процесса охлаждения и кристаллизации металла равновесие в системе шлак — металл не достигается.

32. Сопоставление величины $K'_{(66)}$ и произведения $[\text{O}]_u^2 [\text{Si}]_u$ при сварке кипящей малоуглеродистой стали под кислым флюсом

$T^\circ\text{C}$	$T^\circ\text{K}$	$K'_{(66)}$	$[\text{O}]_u^2 [\text{Si}]_u$
1540	1813	$1,39 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$
1800	2073	$8,31 \cdot 10^{-4}$	
2000	2273	$1,10 \cdot 10^{-2}$	
2200	2473	$9,77 \cdot 10^{-2}$	
2300	2573	$2,35 \cdot 10^{-1}$	

Некоторая часть кислорода, являющегося продуктом реакции (66), затрачивается на окисление углерода, растворенного в металле, что усиливает его дефицит. Некоторое окисление кремния возможно за счет закиси железа шлака. Это подтверждается тем обстоятельством, что очень тонкий поверхностный слой металла шва, прилегающий к шлаку, имеет пониженную концентрацию кремния и марганца [48] (табл. 33).

Сопоставление исходной концентрации кремния в сварочной ванне $[\text{Si}]_u$ с содержанием его в шве позволяет судить о наличии процессов восстановления (или окисления) кремния. Из выражения константы равновесия реакции кремния (67) следует, что повышение кислотности флюса должно привести к более

33. Содержание кремния и марганца в металле шва на различной глубине от поверхности (Флюс АН-345) [48]

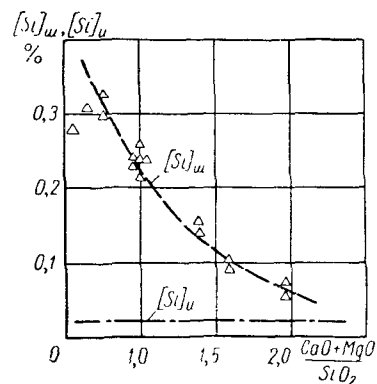
Глубина слоя в мм	Содержание в %		Глубина слоя в мм	Содержание в %	
	Mn	Si		Mn	Si
0,003	0,36	0,08	0,020	0,76	0,26
0,006	0,56	0,17	0,050		0,31
0,010	0,61	0,20	0,100		0,33
0,015	0,72	0,23	1,000	0,77	0,34

34. Сопоставление расчетного прироста закиси железа в шлаке $\Delta(\text{FeO})_p$ с аналитически определенным значением $\Delta(\text{FeO})_a$ при сварке малоуглеродистой стали под кислым безмарганцовистым флюсом [5]

$[\text{Mn}]_u$	$[\text{Si}]_u$	$[\text{Mn}]_{ш}$	$[\text{Si}]_{ш}$	$\Delta[\text{Mn}]$	$\Delta[\text{Si}]$	ψ	$\Delta(\text{FeO})_p$	$\Delta(\text{FeO})_a$
0,52	0,02	0,38	0,27	-0,14	+0,25	1,73	1,90	1,80
0,97		0,60	0,30	-0,37	+0,28	1,88	1,79	1,67
1,39		0,95	0,33	-0,44	+0,30	2,06	1,78	1,45
1,67		1,21		-0,46		2,52	2,34	
2,18		1,60		-0,58		2,50	1,70	
2,70		1,82		-0,88		1,95	1,56	

Примечание. Состав флюса: 47,7% SiO_2 ; 0,6% FeO ; 29,0% CaO ; 7,9% MgO ; 6,3% Al_2O_3 ; 8,6% CaF_2 .

высокому содержанию в сварочной ванне кремния, восстановленного из флюса. На фиг. 39 приведены результаты обработки опытных данных, полученных при сварке малоуглеродистой кипящей стали малоуглеродистой проволокой под безмарганцовистыми низкожелезистыми флюсами различной кислотности [5].

**Фиг. 39. Содержание кремния в металле шва в зависимости от кислотности флюса (сварка кипящей малоуглеродистой стали под безмарганцовистыми флюсами малоуглеродистой проволокой) [5].**

Одним из доказательств протекания реакции восстановления кремния за счет железа сварочной ванны является заметное возрастание закиси железа в шлаке по сравнению с исходным составом флюса. Если в процессе сварки восстанавливается кремния $\Delta[\text{Si}]$ % и марганца $\Delta[\text{Mn}]$ %, то в конечном составе шлака должен наблюдаться стехиометрически подсчитанный прирост закиси железа $\Delta(\text{FeO})_p$, определяемый уравнением [5]:

$$\Delta(\text{FeO})_p = (\pm 1,3\Delta[\text{Mn}] + 5,1\Delta[\text{Si}]) \psi, \quad (68)$$

где ψ — отношение веса металла шва к весу шлака.

В уравнении (68) знак перед $\Delta[\text{Mn}]$ ставится в зависимости от того, наблю-

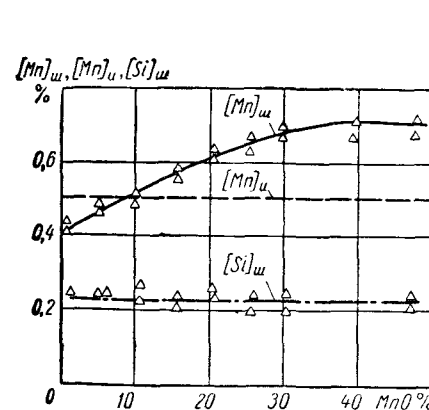
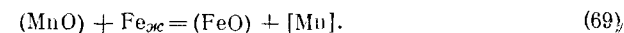
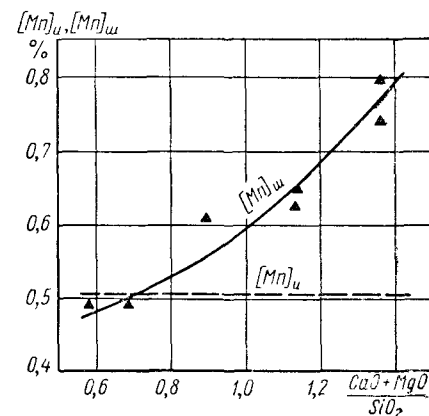
дается ли окисление марганца (—) или его восстановление (+). В табл. 34 дано сопоставление расчетного прироста закиси железа в шлаке $\Delta(\text{FeO})_p$ с аналитически определенным значением $\Delta(\text{FeO})_a$, подтверждающее достаточно точное совпадение этих величин.

Реакция кремния имеет весьма важное значение при сварке малоуглеродистых, в особенности кипящих (содержащих следы кремния), сталей обычной малоуглеродистой проволокой Св-08. При содержании в жидком металле восстановленного кремния не ниже 0,2% удается подавить в кристаллизующейся части ванны реакцию (22) и получить плотный шов. Обычно это достигается, когда состав флюса приближается к бисиликату — $\Sigma(\text{RO})\text{SiO}_2$.

К отрицательным последствиям кремневосстановительного процесса следует отнести засорение шва дисперсными силикатными включениями эндогенного характера.

Реакция марганца при сварке углеродистой стали под флюсами-силикатами

При достаточно высокой концентрации закиси марганца и одновременно низкой концентрации закиси железа во флюсе на границе раздела фаз шлак — металл может протекать реакция восстановления (окисления) марганца [5], [58]*

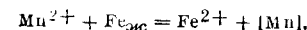
**Фиг. 40. Содержание марганца в металле шва в зависимости от концентрации (MnO) во флюсах постоянной кислотности [5].****Фиг. 41. Влияние основности флюсов, имеющих примерно постоянную концентрацию (MnO) , равную 12—15%, на содержание марганца в металле шва (сварка кипящей стали малоуглеродистой электродной проволокой) [5].**

Температурная зависимость константы равновесия этой реакции $K_{(69)} = \frac{(\text{FeO})[\text{Mn}]}{(\text{MnO})}$ имеет следующий вид [16].

$$\lg K_{(69)} = -\frac{6600}{T} + 3,16. \quad (70)$$

Рост константы равновесия $K_{(69)}$ вместе с повышением температуры подтверждает термодинамическую вероятность развития в зоне сварки, при соот-

* С точки зрения ионной теории шлаков реакция (69) может быть написана так:



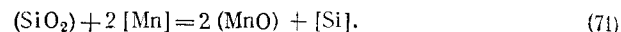
ветствующих концентрационных условиях, реакции (69) в правую сторону. Из выражения константы равновесия реакции марганца следует, что восстановлению его способствует достаточно высокая концентрация MnO во флюсе, повышение основности флюса (при прочих равных условиях это приводит к повышению концентрации свободной закиси марганца в нем) и низкое содержание окислов железа во флюсе.

На фиг. 40 приведены результаты обработки экспериментальных данных, полученных при сварке малоуглеродистой кипящей стали малоуглеродистой проволокой под различными флюсами, состав которых примерно отвечает общей формуле $\Sigma(RO)SiO_2$ [где $\Sigma(RO)$ — сумма CaO и MnO] с добавлением 9% CaF_2 [5].

Из рассмотрения фиг. 40 следует, что при малых концентрациях MnO во флюсе имеет место окисление марганца, а при достаточно высоких — его восстановление. При содержании MnO около 10% флюс пассивен по марганцу.

Окисление марганца при малой концентрации MnO во флюсе-силикате можно описать двумя параллельными реакциями (66) и (69).

Умножая уравнение (69) на 2 и вычитая его из уравнения (66), получим суммарную реакцию

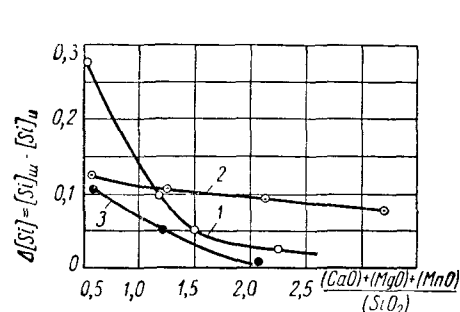


Влияние основности флюса (при приблизительно постоянном содержании в нем MnO) на реакцию марганца показано на фиг. 41.

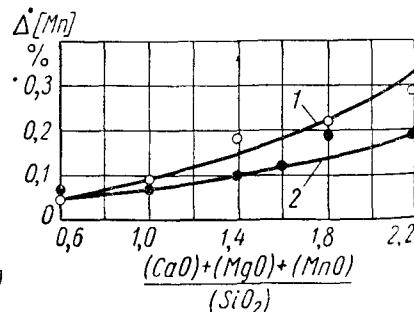
Восстановление марганца из флюса приводит к повышению концентрации закиси железа в системе металл — шлак и, следовательно, к некоторому окислению жидкого металла в зоне плавления.

Реакции кремния и марганца при электрошлаковой сварке

При электрошлаковой сварке могут протекать реакции кремния и марганца, possessing такой же характер, как и при сварке под флюсом (фиг. 42 и 43). Однако вследствие возможного значительного обогащения шлака закисью железа при этом методе сварки процессы восстановления кремния, а также восстановления



Фиг. 42. Восстановление кремния при дуговой и электрошлаковой сварке в зависимости от рода тока и основности флюса (сварка малоуглеродистой проволокой): 1 — дуговой процесс; 2 — электрошлаковая сварка постоянным током обратной полярности; 3 — электрошлаковая сварка переменным током [61], [62].



Фиг. 43. Восстановление марганца при дуговой и электрошлаковой сварке в зависимости от основности флюса (сварка малоуглеродистой проволокой): 1 — дуговая сварка; 2 — электрошлаковая сварка постоянным током обратной полярности [61].

(окисления) марганца будут существенно зависеть от указанного фактора. На фиг. 44 показано изменение окисления марганца и восстановления кремния из флюса АН-8 по длине слитка при электрошлаковой переплавке (наплавка в кокиль) проволоки Св15Г (0,8—1,1% Mn) и Св10Г2 (1,5—1,0% Mn). В табл. 35 дано сопоставление состава флюса и конечного состава шлака.

Изменение состава флюса при электрошлаковой переплавке проволоки Св15Г в медный кокиль [63]

Проба	Состав в %						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	CaF ₂	FeO
Флюс АН-8	34,5	10,1	7,27	7,63	24,63	14,02	2,39
Шлак после переплавки и получения слитка длиной 115 мм	30,84	11,58	9,6	6,42	24,2	9,64	7,60

Примечание. Режим сварки: ток 400—420 а; напряжение 46—48 в; глубина шлаковой ванны 45—50 мм; вылет (сухой) 80 мм.

Из данных табл. 35 можно сделать заключение о значительном возрастании FeO в шлаке за счет восстановления кремния. Таким образом, фиг. 44 иллюстрирует влияние постепенного накопления в шлаке закиси железа на уменьшение интенсивности восстановления кремния и усиление угара (окисления) марганца. Окисление марганца в этом случае объясняется высокой исходной концентрацией этого элемента в зоне плавления, а также недостаточно высоким уровнем содержания закиси марганца во флюсе.

Совместное протекание реакций кремния и марганца при сварке углеродистой стали под флюсами-силикатами

Реакции кремния и марганца при сварке под марганцовистыми флюсами-силикатами взаимно связаны и описываются уравнениями (66), (69) и (71). Константа равновесия реакции (71) имеет вид

$$K_{(71)} = \frac{(MnO)^2 [Si]}{(SiO_2) [Mn]^2}.$$

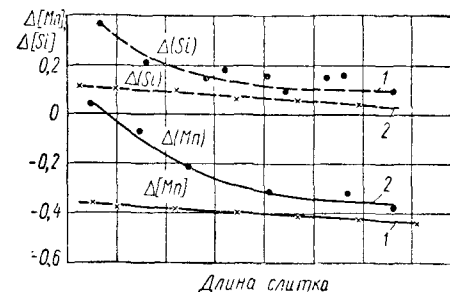
Учитывая, что реакция (71) относительно мало сказывается на концентрации MnO и SiO_2 в шлаке, можно приближенно принять, что имеется тенденция к установлению в жидком металле соотношения между концентрацией кремния и марганца, описываемого зависимостью

$$[Si] = a [Mn]^2, \quad (72)$$

где a — коэффициент, определяемый составом флюса (шлака).

Для марганцовистых флюсов-силикатов из зависимости (72) вытекает следующее: при неизменной исходной концентрации кремния в сварочной ванне повышение исходного содержания марганца в ней сначала приводит к затуханию процесса восстановления Mn , а затем — к последующему его окислению (фиг. 45). Повышение исходной концентрации кремния в сварочной ванне должно интенсифицировать восстановление марганца или приводить к более полному его усвоению сварочной ванной. Сказанное подтверждается сопоставлением фиг. 45 и 46.

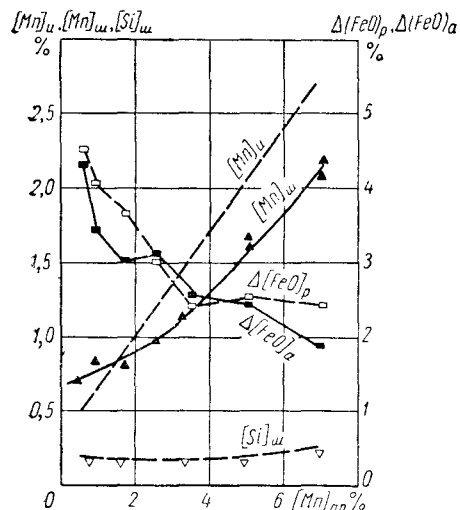
Опыты, обобщенные на фиг. 45 и 46, проводились с легированием сварочной ванны ферромарганцем, вводимым в разделку шва. Марганец ферромарганца



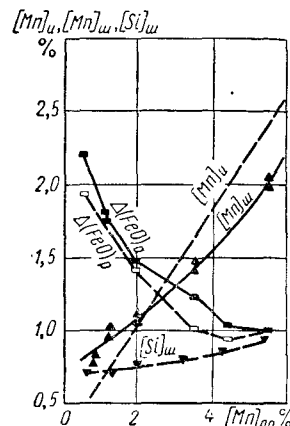
Фиг. 44. Изменение содержания марганца и кремния в металле, наплавленном под флюсом АН-8 в медный кокиль (длина слитка не менее 100 мм). Кривые (1) — проволока Св-10Г2 (0,8—1,1); кривые (2) — проволока Св-15Г (1,5 — 1,9 мм) [63].

условно относился к весу электродной проволоки. На фиг. 45 и 46 дополнительно нанесены величины $\Delta(\text{FeO})_p$, подсчитанные по уравнению (68), и $\Delta(\text{FeO})_a$, определенные анализом (стр. 98).

Сварка под безмарганцовистым кислым флюсом (или флюсом с низким содержанием марганца) приводит к окислению марганца по реакции (71). При достаточно широком диапазоне концентраций марганца в металле (вплоть до



Фиг. 45. Зависимость величин $[\text{Mn}]_{\text{ш}}$, $[\text{Si}]_{\text{ш}}$ и $\Delta(\text{FeO})_p$ от условного содержания марганца в электродной проволоке при сварке под высокомарганцовистым флюсом. Исходная концентрация кремния $[\text{Si}]_{\text{ш}} = 0,02\%$ [64].



Фиг. 46. Зависимость величин $[\text{Mn}]_{\text{ш}}$, $[\text{Si}]_{\text{ш}}$ и $\Delta(\text{FeO})_p$ от условного содержания марганца в электродной проволоке при сварке под высокомарганцовистым флюсом. Исходная концентрация кремния $[\text{Si}]_{\text{ш}} = 0,65 \div 0,75\%$ [64].

2%) для одного и того же безмарганцовистого флюса-силиката содержание в шве $[\text{Mn}]_{\text{ш}}$, как показывают опытные данные [5], приблизительно выражается линейной функцией от исходной концентрации $[\text{Mn}]_{\text{ш}}$ в сварочной ванне (фиг. 47):

$$[\text{Mn}]_{\text{ш}} = \eta [\text{Mn}]_{\text{ш}},$$

где η — коэффициент усвоения, зависящий от основности флюса (табл. 36)

36. Коэффициент усвоения марганца при сварке под безмарганцовистыми флюсами-силикатами [5]

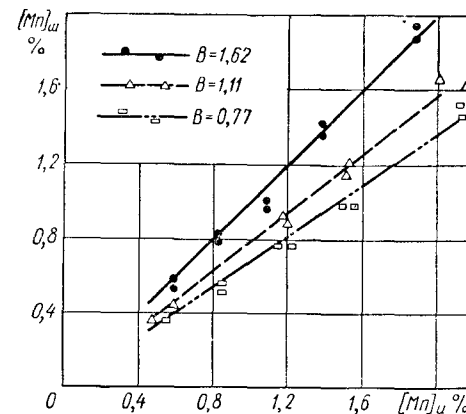
№ флюса	$B = \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2}$	Среднее значение коэффициента усвоения η_{Mn}
I	1,60	0,96
II	1,10	0,78
III	0,77	0,70

К сказанному следует добавить, что интенсивность развития реакций кремния и марганца при сварке под флюсами-силикатами в некоторой степени

определяется напряжением на дуге (длиной дуги). Большему напряжению на дуге отвечает и относительно большее количество расплавленного флюса-шлака, приходящееся на единицу веса жидкого металла, что усиливает взаимодействие между флюсом-шлаком и металлической ванной. При понижении же напряжения на дуге отмечается обратная тенденция.

Реакция углерода при сварке углеродистой стали под флюсом

В зависимости от степени химической активности флюса по отношению к ванне жидкого металла наблюдается более или менее значительное окисление углерода в сварочной ванне. Если используются активные флюсы, приводящие к развитию кремне- и марганцевосстановительных процессов и, следовательно, к повышению концентрации закиси железа в системе флюс (шлак) — металл, то наблюдается заметное окисление углерода. Применение основных безмарганцовистых пассивных флюсов может привести к практическому совпадению исходной концентрации углерода в сварочной ванне и аналитического содержания его в шве (табл. 37).



Фиг. 47. Усвоение марганца сварочной ванной под безмарганцовистыми флюсами в зависимости от их основности [5].

37. Сопоставление исходной концентрации углерода в сварочной ванне с его содержанием в шве при сварке углеродистой стали под пассивным и активным флюсами [5]

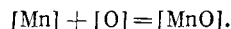
Флюс	Содержание окислов железа в %		Исходная концентрация углерода $[\text{C}]_{\text{ш}}$ в %	Содержание углерода в шве $[\text{C}]_{\text{ш}}$ в %	Углерод $\Delta[\text{C}]$ в %	Коэффициент усвоения углерода η_{C}
	Флюс	Шлак				
Основной безмарганцовистый с основностью $B = 1,61$	1,29	1,44 1,30	0,16	0,15	—0,01	0,94
				0,17	+0,01	1,06
Высокомарганцовистый ОСЦ-45	0,98	5,68	0,13 0,14	0,10	—0,03	0,77
				0,09	—0,04	0,69
				0,11	—0,03	0,78

Окисление углерода в зоне плавления по реакции (22) происходит наиболее интенсивно в процессе образования и переноса капель (высокотемпературный участок сварочной ванны); это приводит к снижению концентрации кислорода в жидком металле, т. е. к его раскислению.

Если реакция окисления углерода продолжается в кристаллизующейся части сварочной ванны, в металле шва возможно образование пор. Достаточно высокая концентрация кремния в сварочной ванне (0,10% и выше), являющаяся следствием либо кремневосстановительного процесса, либо применения электродной проволоки, содержащей кремний, приводит к подавлению указанной реакции и к получению плотного шва.

Раскисление сварочной ванны кремнием и марганцем при сварке углеродистой стали под активными флюсами

При сварке под активными флюсами-силикатами имеет место не только восстановление кремния (или кремния и марганца одновременно), но и окисление жидкого металла в зоне плавления. Кремне- и марганцевосстановительные (или окислительные) процессы наиболее активно протекают в высокотемпературной части сварочной ванны. При дальнейшем охлаждении жидкого металла (тыльная часть сварочной ванны) начинается взаимодействие растворенных в нем кремния и марганца с кислородом по реакции (23), а также реакции



Реакции окисления марганца и кремния протекают практически одновременно и приводят к образованию внутри металла силикатных частиц, которые осваивают некоторое количество закисы железа. Эти частицы имеют очень небольшие размеры и вследствие большой скорости кристаллизации металла не успевают полностью удалиться из ванны, частично застревая в металле шва в виде микроскопических (дисперсных) и субмикроскопических шлаковых включений, повышая таким образом суммарное содержание кислорода в металле шва.

В табл. 38 дано сопоставление состава флюса, шлака и включений в металле шва. Данные таблицы подтверждают эндогенный характер включений, хотя не исключена возможность и застревания частиц (капель) флюса в металле шва.

38. Состав силикатных включений при сварке малоуглеродистой стали проволокой Св08 под высокомарганцовистым флюсом ОСП-45

Проба	Состав в %						
	SiO ₂	MnO	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	FeO	CaF ₂
Флюс	42,4	45,0	1,9	0,50	1,5	0,61	8,16
Шлак	38,5	43,0	1,7	0,45	1,3	4,70	6,00
Силикатные включения . . .	74,4	11,2	2,43	—	1,6	10,80	—
	68,5	10,5	1,46	Следы	1,5	15,70	Нет

Силикатные включения заметно влияют на пластические свойства и ударную вязкость металла шва (см. фиг. 14). Возможными путями снижения степени засоренности металла шва силикатными включениями являются:

а) повышение закисы марганца во флюсах и соответственно активизация восстановления марганца; повышение концентрации марганца в сварочной ванне при этом приводит к образованию включений более богатых MnO и поэтому более легкоплавких (фиг. 35), а следовательно, относительно легко коагулирующихся и удаляющихся из металла;

б) снижение вязкости флюса за счет присадки в его состав CaF₂; чем ниже вязкость флюса — шлака, тем относительно полнее происходит растворение в нем FeO, тем менее окислен металл, тем менее затрачивается кремния на образование включений. Вместе с этим флюсы малой вязкости поглощают включения из металла шва (сварочной ванны).

Реакция серы при сварке углеродистой стали под флюсом

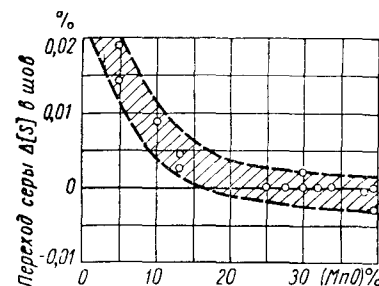
Как правило, в сварочных флюсах содержится некоторое количество серы (до 0,15%), попадающей в них из шихтовых материалов. Сера является одной из наиболее вредных примесей в сварочной ванне (металле шва). В зависимости

от концентрационных условий (состав флюса, состав сварочной ванны) сера может переходить из флюса в металл шва (ванны) или наоборот. Реакцию взаимодействия флюса и металла можно написать в общем виде:

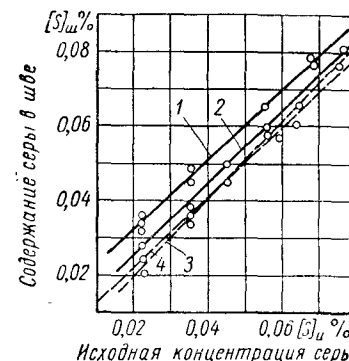
$$(S) = [S],$$

где (S) — содержание серы во флюсе; [S] — содержание серы в металле.

Наиболее благоприятны условия для перехода серы из флюса в сварочную ванну (металл шва), когда сера во флюсе находится в виде сульфида железа — FeS, хорошо растворимого в жидком железе. В высокомарганцовистых флюсах, по всей вероятности, большая часть серы связана в сульфид марганца (MnS),



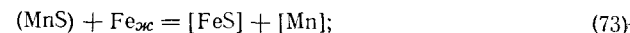
Фиг. 48. Прирост серы в шве Δ[S] в зависимости от содержания (MnO) во флюсе, содержащем 43—50% SiO₂ [48]; [S]_ш = 0,025 ± 0,04%.



Фиг. 49. Переход серы из высокомарганцовистого флюса-силиката (ОСП-45) в сварочную ванну при различной ее исходной концентрации в металле и переменном содержании во флюсе: 1 — содержание серы во флюсе 0,28%; 2 — то же, 0,18%; 3 — то же, 0,07%; 4 — исходная концентрация серы в металле [49].

плохо растворимый в железе. На фиг. 48 показана зависимость прироста серы в металле шва ΔS от содержания MnO во флюсе. Однако при содержании серы в высокомарганцовистом флюсе выше 0,10% также наблюдается некоторый переход этого элемента в сварочную ванну и тем больший, чем ниже исходная его концентрация в металле (фиг. 49). При низкой концентрации серы во флюсе и относительно высокой в сварочной ванне может наблюдаться обратный переход серы из металла в шлак.

В сварочной ванне можно также ожидать развития реакций



При тех содержаниях серы и марганца, какие имеют место в электродных проволоках и малоуглеродистых сталях, можно считать, что подавляющее количество серы в них связано в сульфид марганца. При расплавлении металла в сварочной ванне вследствие сдвига равновесия реакция (73) стремится протекать вправо (табл. 39), (см. стр. 106).

Константу равновесия реакции (74) можно приближенно подсчитать по уравнению [50]

$$\lg K_{74} = \lg \frac{[FeS] (MnO)}{[FeO] (MnS)} = \frac{9982}{T} - 2,928. \quad (75)$$

В выражение (75) MnS и MnO входят в виде молярных долей в шлаковой фазе, а FeS и FeO — в виде весовых концентраций в железном растворе. Результаты подсчета по уравнению (75) приведены в табл. 40, из которой следует, что

39. Равновесное содержание FeS [%] в металле по отношению к общему количеству сернистых соединений (по данным Э. В. Брицке и А. Ф. Капустинского)

Температура в °C	Содержание марганца в металле в %				
	0,10	0,25	0,50	1,00	2,00
1600	97,8	93,8	88,1	78,8	64,9
1500	96,2	91,2	83,7	72,1	56,3
900	34,1	17,2	9,3	4,9	2,5

при наличии окислительных условий и малой концентрации MnO во флюсе (шлаке) реакция (74) при температурах жидкой стали имеет тенденцию к протеканию в правую сторону (образование сульфида железа—FeS).

40. Значения константы K_{74} [5]

Температура в °C	$K_{74} = \frac{[FeS] (MnO)}{[FeO] (MnS)}$	$\frac{1}{K_{74}}$
1527	409	0,00244
1600	241	0,00415
1800	79,5	0,0126
2000	28,9	0,0346
2200	12,9	0,0775

Рассматривая реакции (73) и (74) совместно, можно сделать следующий вывод:

- а) превращению MnS в FeS в сварочной ванне способствуют окислительные условия и малая концентрация марганца в металле;
- б) превращение MnS в FeS тормозится высокой концентрацией марганца в металле и MnO в шлаке (табл. 41).

41. Влияние состава флюса на содержание марганца и состав сульфидной фазы в металле шва [5], [50]

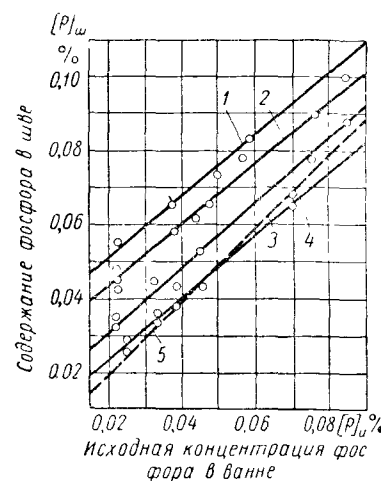
№ флюса	Состав флюса в %							Содержание марганца в %		Состав сульфидной фазы в %		Критическое содержание серы в шве $S_{кр}$ в %
	SiO ₂	MnO	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	FeO	CaF ₂	[Mn] _ш	[Mn] _ж	FeS	MnS	
I	47	—	28,5	8,1	6,9	0,6	8,8	0,5	0,35	87,0	13,0	0,020
II	—	—	—	—	—	—	—	1,3 *	0,90	32,0	68,0	0,050
III	44,0	16,0	19,1	14	1,4	1,4	6,0	0,50	0,50	51,0	49,0	0,030
IV	42,4	45,0	1,8	1,0	1,6	0,6	8,2		0,70	3,0	97,0	0,068

* Сварка проволокой с содержанием Mn около 2,5%.

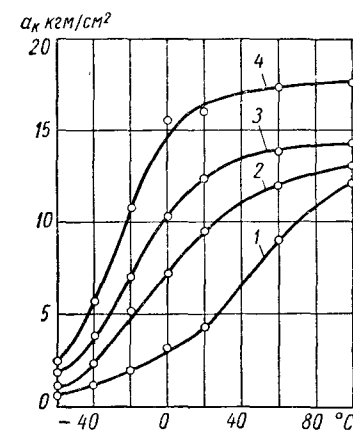
В табл. 41 приведено критическое содержание серы в металле шва, выше которого наблюдается образование горячих трещин (сварка жестких тавров). Таким образом, склонность к горячим трещинам, вызываемая серой, тесно связана с составом сульфидной фазы. Наиболее неблагоприятной формой содержания серы в металле шва является FeS. Сульфид железа выделяется из маточного раствора в период кристаллизации, образуя в междендритных пространствах автектику FeS—Fe с температурой плавления около 940° C. MnS, обладающий малой растворимостью в жидкой стали, образует в ней обособленную фазу глобулярной формы. Этим объясняется относительно малая склонность швов, содержащих высокую концентрацию марганца, к горячим трещинам, особенно если они выполнены под высокомарганцовистыми флюсами.

Реакция фосфора при сварке углеродистой стали под флюсом

Реакция фосфора имеет большое значение при сварке под высокомарганцовистыми флюсами-силикатами. Марганцевая руда, являющаяся основной составляющей шихты указанных флюсов, содержит 0,2—0,22% фосфора, а

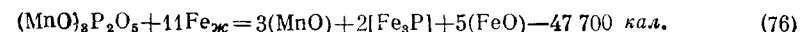


Фиг. 50. Переход фосфора из флюса в металл шва при различной концентрации его во флюсе и переменной средней исходной концентрации в сварочной ванне: 1 — содержание фосфора во флюсе 0,18%; 2 — то же, 0,14%; 3 — то же, 0,06%; 4 — то же, 0,03%; 5 — исходная концентрация фосфора в металле [49].



Фиг. 51. Ударная вязкость металла шва в зависимости от содержания в нем фосфора: 1 — C = 0,16%; S = 0,046%; P = 0,068%; 2 — C = 0,16%; S = 0,048%; P = 0,055%; 3 — C = 0,16%; S = 0,046%; P = 0,045%; 4 — C = 0,10%; S = 0,03%; P = 0,03% [49].

иногда и несколько выше. Можно предполагать, что в высокомарганцовистых флюсах-силикатах фосфор, в основном, связан в (MnO)₃. P₂O₅ и переход фосфора из флюса в металлическую ванну может быть выражен реакцией [49]



Константа равновесия реакции (76) имеет вид

$$K_{76} = \frac{(MnO)^3 [P]^2 (FeO)^5}{[(MnO)_3 P_2O_5]}. \quad (77)$$

44. Влияние замены СаО на МпО во флюсах практически постоянной кислотности на восприимчивость сварочной ванны к ржавчине [5]

№ флюса	Состав флюса в %					$\frac{\text{СаО} + \text{МпО}}{\text{SiO}_2}$	Критическое содержание ржавчины в г на 100 мм шва
	SiO ₂	СаО	МпО	FeO	CaF ₂		
I	46,5	43,5	—	0,5	9,2	0,95	0,10
II	44,2	24,2	21,6		8,2	1,04	0,25
III	42,7	2,6	45,4	1,1		1,12	0,50

Примечание. Режим сварки: ток 600—650 а; напряжение на дуге 35—37 в; скорость сварки 32 м/час.

Частичная замена закиси марганца на Al₂O₃ или MgO во флюсе [см. реакцию (32)] существенно не изменяет восприимчивости сварочной ванны к ржавчине.

Ранее указывалось, что окислительный характер газовой фазы приводит к связыванию водорода в гидроксил, а некоторая окисленность жидкого металла — к ограничению растворимости водорода в нем. Этим, по-видимому, объясняется тот факт, что керамические флюсы, содержащие карбонаты или высшие окислы марганца (Mn₂O₄), менее восприимчивы к ржавчине, чем лучшие плавные флюсы ОСЦ-45 и АН-348. К таким флюсам, в частности, относится флюс КВС-19 [51].

Рациональные композиции флюсов для сварки малоуглеродистой стали

На основании изложенного выше для сварки малоуглеродистых, в особенности кипящих, сталей наиболее целесообразным является применение высокомарганцовистых флюсов (35—45% МпО), приближающихся по своему составу к бисиликатам и содержащих добавку флюорита (СаF₂). Использование среднемарганцовистых флюсов (15—20% МпО) в целях получения швов, не склонных к образованию горячих трещин, требует применения электродной проволоки с повышенным содержанием марганца, например Св1Г (0,8—1,1% Мп). Флюсы-силикаты, не содержащие закиси марганца, могут употребляться только в сочетании со специальной марганцовистой проволокой, содержащей 2,0—3,0% Мп. Высокомарганцовистые флюсы-силикаты (ОСЦ-45, АН-348, ФЦ-9 и др.) в сочетании с обычной малоуглеродистой проволокой (Св08, ГОСТ 2246-54) обеспечивают образование швов с высокими прочностными и пластическими свойствами (табл. 45).

45. Состав и свойства швов, выполненных проволокой Св-08 под высокомарганцовистым флюсом ОСЦ-45 на малоуглеродистой стали

Химический состав шва в %						Механические свойства шва				
С	Si	Mn	S	P	[O]	σ_{θ} в кг/мм ²	σ_T в кг/мм ²	δ_5 в %	ψ в %	$a_{нв}$ в кг/мм ²
0,13	0,18	0,65	0,021	0,030	0,03	43,5	26,5	31,0	68,0	12,2
0,15	0,20	0,66	0,025	0,031	0,04	45,5	27,7	32,0	69,8	12,8

Высокомарганцовистые флюсы-силикаты, содержащие добавки СаF₂, являются весьма технологичными и с точки зрения относительно малой восприимчивости сварочной ванны к наличию ржавчины на поверхности свариваемых кромок.

Флюсы должны иметь невысокую вязкость при температурах жидкого металла и достаточно резкое ее нарастание при охлаждении. Это необходимо для хорошего формирования шва и облегчения процесса растворения закиси железа, являющегося следствием как кремне- и марганцевосстановительных процессов, так и поверхностных окислов на свариваемых кроках. Вязкость флюса может регулироваться при данном его составе добавками флюорита (СаF₂). Типичные кривые вязкости некоторых флюсов даны на фиг. 52.

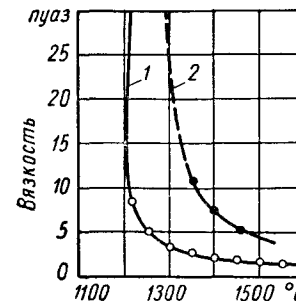
Керамические флюсы типа КВС-19 [51], построенные на той же основе, что и высокомарганцовистые флюсы (смесь марганцевой руды, кварцевого песка и плавикового шпата с добавкой ферросилиция, алюминиевой пудры и жидкого стекла), и прокатанные при температуре 650—680° С, с точки зрения малой восприимчивости к ржавчине имеют преимущества перед плавными флюсами. Это объясняется тем обстоятельством, что марганец в керамических флюсах находится в степени окисления более высокой, чем МпО (Mn₂O₃, Mn₂O₄). Окись марганца (Mn₂O₃) и закись-окись марганца (Mn₃O₄) в зоне сварки диссоциируют, повышая содержание кислорода в газовой фазе, а также закиси железа в жидком шлаке. Это приводит к ограничению поглощения водорода сварочной ванной.

Флюсы для сварки легированных сталей

Некоторые марки низколегированных сталей (НЛ-2, СХЛ-4 и др.) могут свариваться под высокомарганцовистыми флюсами-силикатами ОСЦ-45, ФЦ-9, АН-348, и др. Использование этих флюсов для сварки среднелегированных высокопрочных сталей перлитного класса, упрочняемых термической обработкой (25ХГСА, 30ХГСА, 30ХГСА и др.), и в особенности высоколегированных сталей ферритного и аустенитного классов, приводит к недостаточно удовлетворительным или отрицательным результатам. Выгорание хрома и значительная засоренность ванны окисными включениями могут вызвать пониженную ударную вязкость металла шва или появление горячих трещин.

Окислы таких элементов как медь, никель, кобальт при всех температурах жидкой стали в зоне сварки имеют большую упругость диссоциации, чем закись железа (см. фиг. 9 и табл. 6). Поэтому они не вступают в реакцию с кислородом, растворенным в сварочной ванне, и практически полностью усваиваются швом. Вольфрам и молибден имеют сродство к кислороду почти такое же, как железо, и не могут рассматриваться как элементы-раскислители. Углерод, кремний, марганец, хром, ванадий, титан и алюминий при соответствующих условиях (концентрация и температура) вступают во взаимодействие с кислородом, растворенным в железе, и образуют соответствующие окислы.

Однако с повышением температуры сродство элементов-раскислителей к кислороду уменьшается. Даже такие активные раскислители как кремний, титан и алюминий могут в высокотемпературной области сварочной ванны сосуществовать с кислородом и в заметных концентрациях (см. табл. 13). Поэтому, если имеются окислительные условия, то при спаде температур (жидкая часть сварочной ванны) из-за сдвига равновесия в сторону меньших значений сосуществующих концентраций кислорода и элемента-раскислителя происходит их взаимодействие, которое может быть описано реакцией



Фиг. 52. Температурные зависимости вязкости флюсов ОСЦ-45 (1) и ФЦ-4 (2). Флюс ФЦ-4 обладает лучшей формирующей способностью по сравнению с флюсом ОСЦ-45 при сварке мощными дугами [71].

Продуктом реакции (71) являются окисные эндогенные включения сложного состава в металле шва.

При использовании активных флюсов-силикатов, в особенности богатых закисью марганца, окислительные условия возникают вследствие развития кремне- и марганцевосстановительных процессов. Эти процессы при сварке углеродистой кипящей стали в особенности являются необходимыми, так как позволяют получить достаточно высокую концентрацию кремния и марганца в сварочной ванне, обуславливающую высокое качество шва (отсутствие пор, горячих трещин и т. п.).

Большинство легированных конструкционных сталей, а также высоколегированных специальных сталей ферритного, полугеритного и аустенитного классов являются металлургически законченными продуктами, поэтому основная задача при их сварке сводится к защите сварочной ванны от атмосферного влияния.

В целях получения шва, свободного от горячих трещин, при сварке некоторых марок легированных сталей концентрацию углерода в ванне следует поддерживать на уровне, не превышающем 0,25%, что можно частично осуществить, применяя электродную проволоку с ограниченным содержанием углерода.

В табл. 46 приведены результаты сварки стали 30ХГСНА проволокой 15ХГСНА (0,11% С) под четырьмя флюсами: АН-348А (высокомарганцовистый), АН-26, ФЦЛ-2 и безокислительным керамическим флюсом ФЦК-М (спечен из фтористых и хлористых солей с добавкой Al_2O_3).

46. Изменение содержания углерода, марганца и кремния и общее содержание кислорода в металле шва при сварке стали 30ХГСНА под различными флюсами (электродная проволока 15ХГСНА) [53]

Марка флюса	Содержание во флюсе в %	Основной флюс $\Sigma (KO) SiO_2$	Изменение содержания углерода, кремния и марганца			Общее содержание кислорода в шве в %	Предел прочности шва в кг/мм ² *	Ударная вязкость шва в кг/м. см ² *
			$\Delta [C]$	$\Delta [Mn]$	$\Delta [Si]$			
АН-348А	37,5	1,19	-0,08	+0,26	+0,18	0,103	112,4	4,6
АН-26	4,3	1,01	-0,03	+0,02	+0,28	0,027	112,9	6,2
ФЦЛ-2	0,2	1,37	-0,02	-0,01	+0,12	0,023	116,3	6,3
ФЦК-М	—	—	-0,01	+0,01	-0,01	0,0166	112,9	9,9

* После закалки и отпуска.

В табл. 47 дано сопоставление составов флюсов различной активности и шлаковой корки, полученной при сварке стали X18Н9Т проволокой Св0Х18Н9. В той же таблице приведено изменение исходных концентраций основных элементов сварочной ванны, а также содержание кислорода и шлаковых (окисных) включений в металле шва.

Из рассмотрения данных табл. 46 и 47 следует, что снижение химической активности флюса приводит к меньшей общей концентрации кислорода (окисных включений) в металле шва. Возможность же реакции восстановления кремния и марганца за счет железа даже для такой высоколегированной стали как X18Н9Т подтверждается возрастанием закиси железа (FeO) в шлаке по сравнению с исходным составом флюса, а также кремния и марганца в шве по сравнению с их исходной концентрацией в ванне (см. табл. 46). Эндогенный характер включений, получаемых при этом в металле шва, подтверждается сопоставлением их состава с составом флюса (см. табл. 47, флюс IV).

Наличие окислительных условий при сварке под активными флюсами приводит к малому усвоению таких легкоокисляющихся элементов, как титан

47. Состав флюсов и шлаковой корки при сварке стали X18Н9Т и сопоставляющие изменения в составе сварочной ванны [53]

Элемент	Химический состав в %							Изменение содержания в процессе сварки в %						Общее содержание кислорода в металле шва	Общее содержание окисных включений в металле шва	
	NiO ₂	Ni ₂ O ₃	MnO	FeO	% Ca	MgO	Cr ₂ O ₃	Δ [C]	Δ [Si]	Δ [Mn]	Δ [Cr]	Δ [Ti]	Δ [S]			
I	Флюс	Шлак	13,0	10,8	—	0,33	35,6	18,2	Нет	+0,03	—0,09	—0,12	—0,17	—0,008	0,025	0,044
	Флюс	Шлак	27,2	14,9	нет	0,33	27,8	19,2	Нет	+0,17	—	—0,73	—0,18	—0,007	0,042	0,085
III	Флюс	Шлак	47,1	5,9	нет	0,34	27,5	7,3	Нет	+0,45	—0,17	—1,32	—	—	0,119	0,140
	Флюс	Шлак	41,2	41,2	0,82	1,32	27,0	8,0	2,2	—	—	—	—0,20	+0,001	—	0,150
IV	Флюс	Шлак	46,5	2,5	38,1	1,33	3,4	1,95	Нет	+0,65	+0,77	—1,75	—	—	Очень много	—
	Флюс	Шлак	41,8	2,4	35,0	3,42	5,3	2,30	7,10	—0,05	—	—	—	—	—	—
IV	Неметаллические включения в металле шва	27,4	13,1	4,5	10,8	TiO ₂	25,81	17,5	17,5	—	—	—	—	—	—	—
	Неметаллические включения в металле шва	21,3	19,1	7,0	9,7	24,20	24,20	14,1	14,1	—	—	—	—	—	—	—

50. Состав базокислительных флюсов для сварки легированных сталей

Марка флюса	Метод изготовления	Состав в %					
		CaF ₂	NaF	KCl	Al ₂ O ₃	Силикат натрия (сухой остаток)	SiO ₂ не более
АНФ-5	Плавление	75—85	15—25	—	—	—	2,0
ФЦК	Спекание при 750° С	77	5	8	10	—	2,0
ФЦК-С	Спекание при 400° С	74,5	4,8	7,7	9,6	3,4	3,0

51. Результаты газового анализа швов, выполненных на стали типа 18-8 под флюсами АН-26, АНФ-5 и ФЦК [59]

Марка флюса	Содержание в шве в %		
	кислорода	азота	водорода
АН-26	0,0608	0,0472	0,000843
	0,0630	0,0492	0,001030
АНФ-5	0,0163	0,0370	0,000204
	0,0166	0,0377	0,000207
ФЦК	0,0105	0,0421	0,000188
	0,0115	0,0404	0,000180

52. Соотношение содержания серы в электродной проволоке типа 18-8 и в наплавленном металле при наплавке под флюсами АНФ-5 и ФЦК [59], [65]

Марка флюса, вид сварки	Содержание серы в %		Изменение содержания серы в процессе наплавления в %
	Электродная проволока	Наплавленный металл	
АНФ-5	0,018	0,010	—0,08
ФЦК; дуговая. .	0,019	0,009	—0,010

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА В ЗОНЕ ПЛАВЛЕНИЯ С ЭЛЕКТРОДНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

Защитное и легирующее действие электродных покрытий

При дуговой сварке металлов широко используются электроды с защитными легирующими покрытиями, которые обеспечивают высокие прочностные и пластические свойства металла шва. Такие покрытия защищают сварочную ванну от влияния атмосферного кислорода и азота и выполняют роль раскислителя. Они способны также выполнять функции легирования шва, если в их составе

имеются соответствующие порошкообразные металлические добавки, и оказывать на сварочную дугу стабилизирующее действие.

Покрытия могут строиться либо на основе шлаковой защиты¹, либо комбинационной газо-шлаковой защиты. Достаточно толстый слой покрытия, образующего в процессе плавления электрода плаки с требуемыми физическими свойствами (см. ниже), способствует существенному предохранению сварочной ванны от кислорода и азота воздуха. Нагрев и плавление электродного покрытия дугой происходит со стороны его внутренних слоев (фиг. 54), что приводит к возникновению «втулочки» на конце плавящегося электрода. В результате образующиеся здесь газы, а также пары металла и шлака, создают направленный поток, омывающий сварочную ванну. Это приводит к существенному снижению парциального давления кислорода и азота в зоне дуги. Кроме того, отрывающиеся от конца электрода и переходящие через дуговой промежуток капли жидкого металла в значительной части покрыты пленкой шлака, а стекающие с конца электрода шлаки образуют на поверхности сварочной ванны (вне зоны пятна дуги) изолирующий слой. Все это вместе взятое создает защитное действие шлакообразующего покрытия.

Получающиеся при плавлении покрытия шлаки могут вступать в активное взаимодействие с жидким металлом. Возникновение и течение развития взаимодействия определяются составом шлаков и металлической ванны. При соответствующих концентрационных условиях вероятность такого рода взаимодействия обеспечивается перемещиванием и тесным контактом металлической и шлаковой фаз.

Защитное действие покрытия в значительной степени связано с его количеством на поверхности электрода. Количество покрытия может быть оценено толщиной его слоя:

$$\delta = \frac{D - d}{2},$$

где D — диаметр электрода в мм с покрытием; d — диаметр электродного стержня в мм.

Более точно количество покрытия на электроде характеризуется коэффициентом веса [68]:

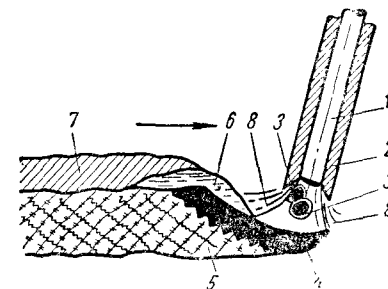
$$K_g = \frac{G_n}{G_c} 100\%,$$

где G_n — вес покрытия на единицу длины покрытой части электрода в г/см; G_c — вес единицы длины электродной проволоки в г/см.

Обозначая через l_1 общую длину электрода в см, через l_2 длину его открытой части и через G , общий вес электрода, можно коэффициент веса покрытия выразить следующим уравнением [68], [72]:

$$K_g = \frac{G_a - G \cdot l_1}{G_c l_2} 100\%.$$

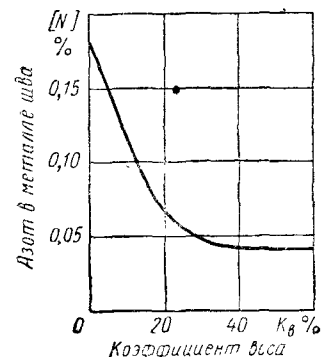
¹ Термин «шлаковая защита» означает лишь, что основную роль в защите жидкого металла выполняет шлаковая фаза, так как и при этом типе защиты, даже при отсутствии в покрытии газообразующих компонентов, выделяется некоторое количество паров и газов (пары металла и шлака, газы, выделяющиеся из металла).



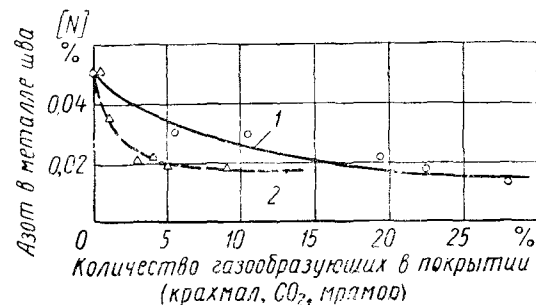
Фиг. 54. Схема процесса сварки электродом с защитным покрытием (продольный разрез сварочной ванны): 1 — электродный стержень; 2 — покрытие; 3 — капли, летящие через дуговой промежуток; 4 — ванна жидкого металла; 5 — затвердевший металл шва; 6 — жидкий шлак; 7 — затвердевший шлак; 8 — газовая защита; стрелкой указано направление сварки.

Защитное действие покрытия можно оценить по содержанию азота в металле шва. На фиг. 55 схематически показана зависимость концентрации азота в металле шва от коэффициента веса (толщины слоя) шлакообразующего покрытия. Из рассмотрения фиг. 55 следует, что увеличение коэффициента веса покрытия выше некоторого уровня не приводит к дальнейшему существенному повышению его защитного действия. Кроме того, применение электродов с чрезмерно большим коэффициентом веса влечет за собой снижение их технологических свойств¹. Поэтому за счет одного только шлакообразующего покрытия обычно не удается получить содержание азота в металле шва меньше чем 0,04—0,05%.

Существенное улучшение защитного действия покрытия достигается введением в его состав газообразующих компонентов (органические вещества, карбонаты), способных в процессе плавления электрода выделять значительные коли-



Фиг. 55. Влияние коэффициента веса шлакообразующего покрытия на содержание азота в металле шва.



Фиг. 56. Влияние количества газообразующих в покрытиях типа ЦМ-7 и ЦУ-1 на содержание азота в металле шва. 1 — покрытие типа ЦУ-1, коэффициент веса 35%, газообразующее — карбонат кальция; 2 — покрытие типа ЦМ-7, коэффициент веса 40%, газообразующее — крахмал (кривые построены по данным Л. В. Сухова и К. В. Любавского).

чества газов. На фиг. 56 показано содержание азота в шве для двух типов покрытий — ЦМ-7 и ЦУ-1 — в зависимости от содержания в них газообразующих веществ (при постоянном коэффициенте веса покрытий). Из фиг. 56 следует, что комбинированная шлаковая и газовая защита дает возможность получить содержание азота в металле шва, почти отвечающее концентрации его в электро-стали.

Таким образом, для надлежащей защиты сварочной ванны от атмосферного влияния целесообразно иметь в составе покрытия как шлакообразующие, так и газообразующие компоненты. Кроме того, в покрытие вводятся раскисляющие и легирующие вещества (последние — в случае необходимости), а также поизирующие (стабилизирующие) и связующие компоненты.

К шлакообразующим компонентам относятся гематит, гранит, мрамор, плавиковый шпат, кварцевый песок, каолин, марганцевая руда, двуокись титана, полевой шпат, ильменит и др.; к газообразующим — крахмал, декстрин, целлюлоза, мрамор; к понижающим — поташ, полевой шпат, гранит; к раскисляющим — ферросилиций, ферромарганец, ферротитан, алюминий; к легирующим — различные ферросплавы и металлические порошки; к связующим — жидкое стекло.

Как видно из приведенного перечня, некоторые компоненты могут выполнять несколько функций одновременно.

Для выбора рецептуры покрытия большое значение имеют состав и свойства образующихся при его плавлении шлаков (их вязкость и интервал отвердевания).

¹ Верхний предел коэффициента веса определяется составом и назначением покрытия

Активность шлаков при взаимодействии с металлом в значительной степени зависит от их вязкости. Только легкоподвижные шлаки с малой вязкостью и относительно невысокой температурой плавления могут растворять (и связывать) образующиеся в металле окислы. Такие шлаки всплывают на поверхность шва и почти не препятствуют выделению газов из кристаллизирующейся части сварочной ванны.

В процессе формирования шва, в особенности при сварке в вертикальном и потолочном положениях, большую роль играет температурная зависимость вязкости или температурный интервал отвердевания шлаков (фиг. 57 сравнить с фиг. 52).

Общая классификация защитных покрытий стальных электродов для дуговой сварки

Большую часть современных промышленных защитных покрытий электродов для дуговой сварки сталей по их металлургическому действию можно разбить на следующие основные группы:

1. Покрытия рудно-кислого типа, в состав которых входят, в основном, окислы марганца, железа, кремния (иногда с добавками TiO_2). Газовая защита создается органическими компонентами, разлагающимися в процессе плавления электрода. В качестве раскислителя в покрытие вводится ферромарганец. Покрытия этого типа имеют электроды ОММ-5, ЦМ-7, МЭЗ-04.

2. Покрытия фтористо-кальциевого типа, не содержащие окислов железа и марганца. Их основой является карбонат кальция (мрамор) и плавиковый шпат (флюорит). Газовая защита создается диссоциацией карбоната кальция в процессе нагрева и плавления покрытия. В качестве раскислителей покрытие может содержать ферросилиций, ферромарганец, ферротитан, алюминий. Для легирования металла шва в покрытие могут вводиться металлические порошки. Типичными представителями электродов с такого рода покрытием являются УОНИ-13/45, ЦУ-1, ЦЛ-9, ЦТ-7 и др.

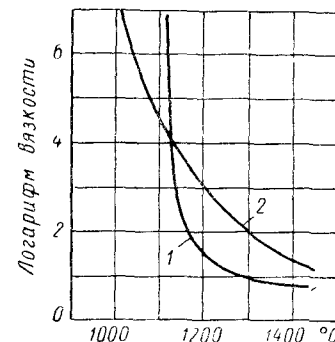
3. Покрытия рутилового типа, построенные, в основном, на рутиле (TiO_2) с добавками полевого шпата, магнетита и других шлакообразующих компонентов. Покрытия этого типа практически не содержат окислов железа. Для создания газовой защиты в покрытие вводятся органические вещества (целлюлоза, декстрин) и карбонаты, а для раскисления — ферромарганец. В целях повышения коэффициента наплавки в покрытие этого типа часто вводится порошкообразное железо.

Типичным представителем электродов с покрытием этой группы является электрод ЦМ-9.

4. Покрытия газозащитного типа, построенные преимущественно на органических газообразующих компонентах.

Металлургические процессы при сварке электродами с покрытиями первой группы

Металлургические процессы при сварке электродами первой группы рассматриваются на примере электродов ЦМ-7. Состав покрытия этих электродов: 33% гематита; 32% гранита; 30% ферромарганца (Mn-1 или Mn-2); 5% крахмала (или целлюлозы). В замес вводится до 25—30% жидкого стекла. Коэффициент веса покрытия находится в пределах 38—42%. Электродный стержень изготовляется из проволоки марок Св-08А и Св-08 (ГОСТ 2246-60).



Фиг. 57. Кривые вязкости сварочных шлаков (схема): 1 — температурная зависимость вязкости, благоприятная для сварки в вертикальном и потолочном положениях; 2 — температурная зависимость вязкости, неблагоприятная для сварки в вертикальном и потолочном положениях [67].

В табл. 53—55 даны составы металла шва (в сопоставлении с составом электродной проволоки), сварочных шлаков и газовой фазы, образующихся при сварке электродами ЦМ-7.

53. Химический состав металла шва при сварке электродами ЦМ-7 в сопоставлении с составом электродной проволоки Св-08

Наименование пробы	Состав в %							
	C	Si	Mn	S	P	Кислород		N
						общий O	в виде FeO	
Проволока Св-08 . .	0,08	Следы	0,53	0,029	0,024	0,020	—	0,004
Металл шва	0,085	0,07	0,77	0,013	0,047	0,101	0,0271	0,02

54. Химический состав шлаков, образующихся при сварке малоуглеродистой стали электродами ЦМ-7 (в весовых процентах)

CaO	SiO ₂	MnO	FeO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	S	P	Основность Σ RO/SiO ₂
1,62	37,2	29,82	15,88	3,01	3,04	4,00	0,016	Следы	1,37

Из сопоставления состава шва и электродной проволоки (табл. 53) следует, что покрытие ЦМ-7 осуществляет достаточно полную защиту зоны сварки от атмосферного влияния (содержание азота около 0,02%). Вместе с тем в процессе сварки имеет место заметное окисление жидкого металла (общее содержание кислорода возрастает примерно в 5 раз). Кроме того, наблюдается восстановление кремния из покрытия, а также некоторый переход марганца и фосфора в металл шва.

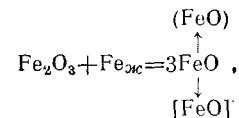
Возможность окисления жидкого металла газами состава, приведенного в табл. 55, освещена ранее (табл. 30). Газы, выделяющиеся при сварке электродами ЦМ-7, с учетом изменения их состава при высоких температурах, несут

55. Состав газов, выделяющихся из покрытия при сварке электродами ЦМ-7 (в объемных процентах)

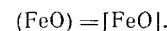
CO ₂	CO	H ₂	H ₂ O	C _n H _m
3,34	49,8	39,0	5,44	3,82

восстановительный характер по отношению к сварочной ванне при температурах, близких к точке кристаллизации железа, и окислительный — при максимальных температурах жидкого металла. Поэтому при сварке электродами ЦМ-7 газовая фаза не имеет существенного значения в окислении жидкого металла. Основными окислительными агентами в данном случае являются гематит покрытия (Fe₂O₃), а также шлаки, содержащие до 20% окислов железа (FeO + Fe₂O₃) и контактирующие с жидким металлом с момента образования капли на конце электрода до момента затвердевания металла в тыльной части ванны. Окисление жидкого металла может быть представлено следующей схемой. Ге-

матит покрытия в процессе расплавления взаимодействует с железом по реакции (18)



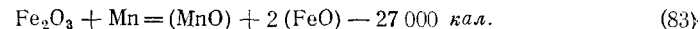
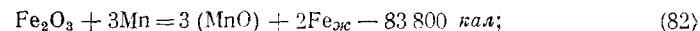
приводящей к обогащению жидкого металла кислородом (закисью железа). Закись железа шлака, находящегося в тесном контакте с жидким металлом, может непосредственно переходить в металл:



Действительно, между концентрацией закиси железа в шлаках электродов типа ЦМ-7 и содержанием растворенного кислорода в металле шва имеется прямая зависимость (фиг. 58).

Значительная окислительная роль гематита показана в работе А. А. Ерохина [80]. Коэффициенты перехода углерода, марганца, кремния и хрома при сварке электродами из проволоки Св-18ХГСА с гематитовым покрытием оказались меньше, чем при сварке голыми электродами из той же проволоки. Таким образом, гематитовое покрытие (при соответствующем значении коэффициента веса) является более активным окислителем жидкого металла в зоне сварки, чем кислород воздуха.

Сопоставление ссв шва покрытия, не имеющего в исходном составе окислов марганца, состава шлаков, содержащих около 30% MnO, и металла шва (табл. 53 и 54) показывает, что подавляющая часть марганца ферромарганца, введенного в покрытие, окисляется и частично теряется на испарение. Наиболее вероятными реакциями окисления этого элемента является [66] реакция (69), а также:

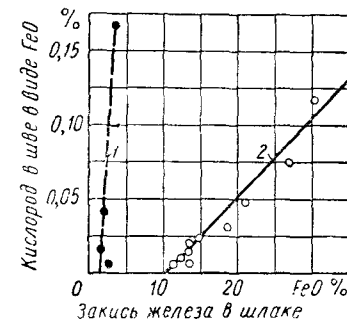
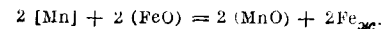
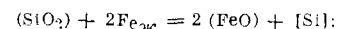


Тепло, выделяющееся при протекании реакций (82) и (83), по приближенным расчетам [22] составляет около 12% всего тепла, затрачиваемого на нагрев и плавление стержня электрода, что, по-видимому, и обеспечивает, наряду с восстановлением железа по реакции (82), высокий коэффициент наплавки при сварке этими электродами (10—11 г/а-ч). Незначительная часть марганца ферромарганца непосредственно переходит в металл шва, несколько повышая в нем концентрацию этого элемента.

Вопрос образования пор до настоящего времени не может считаться вполне ясным. По данным работы [22] образование пор при сварке электродами рассматриваемой группы может быть объяснено следующим образом.

Реакция (69) не получает значительного развития из-за высокой концентрации окислов железа в шлаке и ограниченного содержания кремниекислоты в них *. Тем не менее ее протекание приводит к восстановлению

* Реакцию (69) можно представить протекающей в две стадии:



Фиг. 58. Зависимость между содержанием закиси железа в шлаках и содержанием кислорода в металле шва (в виде FeO): 1 — сварка электродами типа ЦМ-7; 2 — сварка электродами типа ЦМ-7 [33].

56. Влияние отношения гематита и ферромарганца в покрытиях типа ЦМ-7 на состав и плотность металла шва [22]

Покрытие	Отношение веса гематита к весу ферромарганца в покрытии	Состав шва в %				Состав шлака в %				Произведе- ние $[C] \cdot [O] \cdot 10^{-4}$	Равновесное значение $[C] \cdot [O] \cdot 10^{-4}$ при 1540° С	Плотность шва
		C	Si	Mn	Кисло- род в виде FeO	SiO ₂	MnO	FeO	Fe ₂ O ₃			
ЦМ-7	4,1	0,085	0,07	0,77	0,0271	37,2	29,82	15,88	3,01	23,03	24,1	Плотный металл
ЦМ-7-1	4,6	0,062	Следы	0,31	0,0743	34,2	21,1	27,4	3,35	46,1	24,1	Поры
ЦМ-7-2	2,0	0,052	Следы	0,18	0,1113	32,2	17,95	31,10	4,81	57,9	24,1	Поры

57. Влияние дополнительного раскисления при сварке электродами типа ЦМ-7 на состав и плотность металла шва [22]

Покры- тие	Дополнитель- ный раскислитель и его количество в покрытии в %	Состав шва в %				[H] мл 100 г	Состав шлака в %				Произведе- ние $[C] \cdot [O] \cdot 10^{-4}$	Разновесное значение $[C] \cdot [O] \cdot 10^{-4}$ при 1540° С	Сплон- ность шва	Плот- ный металл	Поры
		C	Si	Mn	Кисло- род в виде FeO		SiO ₂	MnO	FeO	Fe ₂ O ₃					
ЦМ-7	—	0,085	0,07	0,77	0,0271	5,24	37,2	29,82	15,88	3,01	23,03	24,1	Плот- ный металл		
ЦМ-7У	Графит 3	0,11	0,19	1,08	0,0054	6,46	37,08	29,5	14,13	2,0	5,94	24,1	Плот- ный металл		
ЦМ-7К	Ферросили- ций 3	0,10	0,10	0,78	0,0058	11,75	42,04	26,09	12,62	1,02	5,80	24,1	Плот- ный металл		
ЦМ-7А	Алюминий 3	0,10	0,18	1,05	0,0047	11,10	37,12	28,80	11,60	1,10	4,70	24,1	Плот- ный металл		

до 0,1% кремния, что, в свою очередь, приводит к торможению реакции окисления углерода в кристаллизующейся части сварочной ванны и, следовательно, способствует получению плотных швов (см. кривые упругости диссоциации CO и SiO₂ на фиг. 9). Повышение окислительной способности покрытия путем увеличения отношения гематита к ферромарганцу приводит к затуханию реакции восстановления кремния и возникновению пор в шве, вызванных выделением окиси углерода (табл. 56). По данным табл. 56 повышение окислительной способности покрытия (шлака) вызывает резкое возрастание содержания кислорода (заиси железа) в шве что приводит к существенному превышению произведения $[C] \cdot [O]$ в металле шва над равновесным его значением при температурах, близких к точке кристаллизации железа (1540° С). Это обстоятельство наряду с практическим отсутствием кремния в металле активизирует реакцию образования CO в кристаллизующейся части ванны и, следовательно, благоприятствует образованию пор в металле шва.

Заметная концентрация кислорода в металле шва, выполненного электродами ЦМ-7, является с точки зрения свойств металла шва отрицательным фактором. Однако более полное раскисление шлака и металла (введением в состав покрытия углерода, кремния, алюминия) приводит к более интенсивному поглощению высокотемпературной частью сварочной ванны водорода из газовой фазы и, как следствие, к развитию пор, вызванных обратным его выделением из кристаллизующегося металла (табл. 57). При этом вследствие более полного раскисления производится $[C] \cdot [O]$ становится значительно ниже равновесного, что указывает на торможение реакции окисления углерода.

Определенный уровень окисленности сварочной ванны при указанном типе покрытия является, таким образом, положительным фактором с точки зрения получения плотных швов. По этой же причине электроды типа ЦМ-7 мало восприимчивы к ржавчине, вызывающей дополнительное возрастание концентрации водорода и водяного пара в газовой фазе зоны сварки.

В табл. 58 отражено распределение серы между металлом шва и шлаками при сварке электродами ЦМ-7. Указанные данные получены при введении в покрытие различных количеств сернистого железа. Они показывают, что сварочные шлаки могут связать весьма ограниченное количество серы. Поэтому в целях получения швов с малым содержанием серы необходимо применять электродное сырье, достаточно чистое по этому элементу.

58. Распределение серы между металлами и шлаками при сварке электродами ЦМ-7 и ЦУ-1 [22]

Электроды	Содержание серы в %				
	В металле шва [S]	В шлаке [S]	В металле шва [S]	В шлаке [S]	В металле шва [S]
ЦМ-7	0,028	0,071	0,115	0,145	0,020
ЦУ-1	0,021	0,047	0,091	0,100	0,027

59. Механические характеристики металла шва, выполненного электродами ЦМ-7

Положение при сварке	σ_s в кг/мм ²	σ_T в кг/мм ²	δ_5 в %	ψ в %	Ударная вязкость α_H в кг/см ²		
					Исходное состояние	Наклеп (10%) и отпуск 250° С	Завалка 650° С и вылежи- вание 10 суток
Нижнее . . .	—	39,0	28,0	65,0	10,6	3,6	11,5
Вертикальное . . .	48,0	34,0	21,0	49,0	9,6	—	9,6
Потолочное . . .	—	37,0	27,0	59,0	10,4	—	14,1

Несмотря на неполное раскисление сварочной ванны и заметный уровень суммарного содержания кислорода (окисных включений) в металле шва, электроды типа ЦМ-7 (а также другие марки электродов, относящиеся к этому же типу) обеспечивают высокие прочностные и вполне удовлетворительные пластические свойства металла шва (табл. 59) (см. стр. 123).

Металлургические процессы при сварке электродами с покрытиями второй группы

Металлургические процессы при сварке электродами с покрытием второй группы рассматриваются на примере электродов ЦУ-1. Состав покрытия этих электродов: 47% мрамора, 25% плавленого шпата; 8% каолина; 8% ферромарганца (МН-1); 7% ферросилиция; 1% алюминия; 4% двуокиси титана. В замаз вводится до 35% жидкого стекла. Коэффициент веса покрытия находится в пределах 28—32%. Электродные стержни изготавливаются из проволок марок Св-08А или Св-08 (ГОСТ 2246-60).

В табл. 60—62 даны составы металла шва, сварочных шлаков и газовой фазы, образующихся при сварке электродами ЦУ-1.

60. Химический состав металла шва при сварке электродами ЦУ-1 в сопоставлении с составом электродной проволоки

Наименование пробы	Состав в %							
	C	Si	Mn	S	P	Кислород		N
						общий O	в виде FeO	
Проволока Св-08А	0,08	Следы	0,53	0,029	0,024	0,02	—	0,004
Металл шва	0,10	0,42	1,21	0,019	0,025			0,018

61. Химический состав шлаков, образующихся при сварке малоуглеродистой стали электродами ЦУ-1 (в весовых процентах)

CaO	SiO ₂	MnO	FeO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	CaF ₂	S	P	Основности Σ (RO) ₂ /SiO ₂
43,5	26,4	4,34	2,00	Нет	3,07	10,13	2,60	9,50	0,015	0,015	1,78

62. Состав газов, выделяющихся из покрытия при сварке электродами ЦУ-1 (в объемных процентах)

CO ₂	CO	H ₂	H ₂ O	C _n H _m
22,5	56,2	6,26	12,01	1,98

Покрытие второй группы, создавая надежную защиту металла от атмосферного влияния (концентрация азота в шве 0,018%), вместе с тем легировуют шов кремнием (до 0,4%) и марганцем (до 1,2%) вследствие перехода их из ферросилиция и ферромарганца покрытия в сварочную ванну (табл. 60).

В табл. 60 отражено также благоприятное соотношение марганца и кремния, соответствующее высоким прочностным свойствам шва и способствующее более полной его раскисленности.

Из табл. 62 следует, что значительная часть углекислого газа, являющегося продуктом диссоциации карбоната кальция покрытия (стр. 81), восстанавливается до СО. Реакция восстановления CO₂ в СО имеют следующий вид:



Реакции (84)—(86) уже при 700° С протекают слева направо практически необратимо [15]. Заметная концентрация водяных паров и водорода в газовой фазе объясняется наличием каолина (Al₂O₃, 2SiO₂, 2H₂O) в покрытии и остатков влаги силиката натрия. Газовая фаза приведенного в табл. 62 состава (с учетом изменения ее состава при высоких температурах) носит окислительный характер по отношению к жидкому металлу во всем температурном интервале его существования в сварочной ванне (см. табл. 30).

Вместе с тем шлаки, образующиеся при плавлении покрытий второй группы, вследствие низкой концентрации окислов железа в них не могут играть сколько-нибудь существенной роли в окислении жидкого металла.

Таким образом, основным окислительным агентом при сварке электродами ЦУ-1 является газовая фаза. Несмотря на это, концентрация кислорода в металле шва практически остается на уровне содержания его в электродной проволоке.

Это может быть объяснено следующими обстоятельствами:

а) контакт газа с металлом несколько ограничивается шлаковым покровом ванны и пленкой шлаков на поверхности капель, переходящих через дуговой промежуток;

б) в жидком металле сварочной ванны содержится достаточно большое количество элементов-раскислителей (кремния до 0,4%), ограничивающих поглощение кислорода металлом;

в) основным элементом-раскислителем в сварочной ванне является кремний, а продуктом раскисления жидкого металла — силикатные включения. Шлаки же, образующиеся при плавлении электродов ЦУ-1, имеют высокую концентрацию СаО и поэтому относительно легко поглощают и связывают по реакции (26) образующиеся включения (17).

Достаточная степень раскисления металла шва при сварке электродами типа ЦУ-1 наряду с высоким содержанием марганца в сварочной ванне приводит к торможению реакций (73) и (74). Поэтому сульфидная фаза имеет более высокое относительное содержание сульфида марганца.

В табл. 63 сопоставлены сульфидные фазы в металле шва при сварке малоуглеродистой стали электродами ОММ-5 (первого типа) и УОНИ-13/55 (второго типа).

Малое содержание окисидных включений в металле шва в сочетании с благоприятным составом сульфидных фаз при сварке электродами второго типа обуславливает высокие пластические свойства шва и хорошую сопротивляемость образованию горячих трещин (табл. 64).

63. Состав сульфидной фазы при сварке электродами ОММ-5 и УОНИ-13/55

Марка электрода	Состав металла шва в %					Содержание сульфидов в %	
	C	Mn	Si	S	[O]	MnS	FeS
ОММ-5	0,08	0,89	0,09	0,022	0,052	0,018	0,041
УОНИ-13/55	0,10	0,90	0,30	0,021	0,020	0,038	0,019

64. Механические характеристики металла швов, выполненных электродами ЦУ-1 и УОНН-13/55 (средние данные)

Марка электрода	σ_b кг/мм ²	σ_T кг/мм ²	σ_s в %	ψ в %	Ударная вязкость α_k в кг/см ²		
					Исходное состояние	Наклеп 10% и отпуск при 250 °С	Закалка 650 °С и выдерживание 10 суток
ЦУ-1	53,0	37,8	29,8	72,9	26,5	12,8	32,3
УОНН-13/55 . .	52,5	42,0	28,0	70,0	28,0	—	—

Данные о распределении серы между металлом шва (сварочной ванной) и шлаками при сварке электродами ЦУ-1, приведенные в табл. 58, диктуют необходимость поддерживать высокую степень чистоты исходных шихтовых материалов покрытия.

Несмотря на благоприятные прочностные свойства металла швов, выполненных электродами второго типа, последние с технологической точки зрения уступают электродам первого типа, так как: а) из-за фтористых соединений в покрытии (CaF_2) требуют питания дуги постоянным током; сварка переменным током, возможна при дополнительном введении в состав покрытия компонентов, содержащих элементы с малым потенциалом окисления (калий, натрий); б) чувствительны к влаге, ржавчине и окислению на поверхности свариваемых кромок (с точки зрения возможного развития пор).

Относительно большая чувствительность электродов второго типа к окислению объясняется недостаточной способностью шлаков, образующихся при их плавлении, связывать закись железа (см. фиг. 58). Наличие окислы на поверхности свариваемых кромок приводит к увеличению содержания закиси железа в системе плак — металл и к неполному усвоению кремния и марганца сварочной ванной. При недостаточной концентрации кремния в кристаллизующейся части ванны в металле шва могут возникнуть поры, вызванные взаимодействием кислорода и углерода, растворенных в металле (образование СО) (табл. 65). При превышении равновесного значения $[\text{C}] \cdot [\text{O}]$ в швах наблюдается перх, содержание водорода в металле шва при этом оказывается низким.

Большая восприимчивость сварочной ванны к влаге и ржавчине при сварке этими электродами может быть объяснена высокой степенью ее раскисления. Хорошо раскисленная ванна при прочих равных условиях способна абсорбировать водород в значительно большем количестве, чем окисленная (см. фиг. 30). С этой точки зрения содержание CaF_2 в покрытии играет положительную роль (см. фиг. 28).

Покрытия второго типа вследствие высокой раскисляющей способности получили широкое применение при сварке ответственных изделий из конструкционных сталей перлитного, аустенитного и ферритного классов, а также углеродистых сталей перлитного класса. Содержание соответствующих раскислителей в покрытиях этого типа (ферромарганец, ферросилиций, алюминий и др.) и легирующих добавок определяется составом свариваемых сталей и электрических стержней.

Металлургические процессы при сварке электродами с покрытиями третьей группы

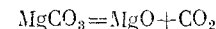
В качестве представителя покрытий третьей (рутиловой) группы рассмотрим электрод ЦМ-9. Электрод имеет покрытие следующего состава: 1% TiO_2 , рутила, 5% магнезита; 30% полевого шпата; 15% ферромарганца, 25% декстрина.

В замес вводится до 30% жидкого стекла. Коэффициент веса покрытия находится в пределах 30—34%. Электродный стержень изготавливается из малоуглеродистой проволоки марки Св-08 или Св-08А (ГОСТ 2246-60).

Для повышения производительности сварки (увеличения коэффициента наплавки) и улучшения технологических свойств электродов в состав покрытия может быть введен железный порошок в количестве до 50% сухого замеса шихты покрытия.

В табл. 66 и 67 приведены данные о составе металла шва и сварочных шлаков при сварке электродами ЦМ-9.

Газовая защита в покрытии ЦМ-9 осуществляется за счет разложения и окисления декстрина, а также магнетита (MgCO_3), диссоциация которого



в условиях атмосферного давления протекает при температуре 520—550 °С. Так как количество выделяющегося углекислого газа равно примерно 50% от веса магнетита (MgCO_3), суммарное количество газообразующих в покрытии ЦМ-9 составляет около 5%. Этим создается (см. фиг. 56) достаточно хорошая защита зоны сварки от атмосферного влияния (содержание азота в металле шва находится на уровне 0,02%). Создание газовой защиты как за счет CO_2 , так и декстрина ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$) приводит, по-видимому, к меньшей концентрации водорода в газовой фазе по сравнению с покрытием первого типа¹, что позволяет поддерживать содержание кремния в металле шва на уровне 0,15—0,35%.

Подávляющая часть ферромарганца покрытия окисляется и частично теряется на испарение. Некоторая часть марганца усваивается сварочной ванной.

Реакции окисления марганца (69), (71) и (84) приведены выше.

Реакция (84), протекающая при температурах выше 700 °С, практически необратимо приводит к снижению содержания CO_2 в газовой фазе. Реакция (71) наряду с реакцией (66) является источником повышения концентрации кремния в металле шва по сравнению с его исходной концентрацией (табл. 66 и 67). Протекающие реак-

65. Граничные концентрации элементов-раскислителей в металле шва на содержание кислорода в нем (в виде FeO) и образующие пор, вызванных окисью углерода [22]

Марка электродов	Химический состав шва в %				Химический состав шлага в %						[H] мл/100 г [C]·[O]·10 ⁻⁴	Сплотность шва	
	C	Si	Mn	Ниско- род в шве FeO	CaO	SiO ₂	MnO	FeO	Fe ₂ O ₃	CaF ₂			
УН-1	0,08	0,28	1,21	0,006	43,5	26,4	4,34	2,00	Нет	9,50	2,45	4,40	Плотный металл Поры Много пор
УН-1-1	0,076	0,20	1,00	0,016	40,09	25,08	3,64	1,21	4,86	15,24	2,62	12,16	
УН-1-2	0,070	0,14	0,52	0,039	40,25	22,42	3,43	1,98	1,68	16,67	1,99	27,30	
УН-1-3	0,056	0,02	0,025	0,168	40,10	17,40	4,50	3,78	12,28	14,28	0,80	94,08	

Примечание. Растворное значение [C]·[O]·10⁻⁴ при 1540 °С составляет 24,1.

1. В этом случае. Равновесное значение $[\text{C}] \cdot [\text{O}] \cdot 10^{-4}$ при 1540 °С составляет 24,1.

Образующиеся при этом газы (CO, CO₂) способствуют образованию пор.

66. Химический состав металла шва при сварке электродами ЦМ-9 в сопоставлении с составом электродной проволоки [69]

Наименование пробы	Состав в %							
	C	Si	Mn	S	P	Кислород		N
						Общий O	В виде FeO	
Проволока Св-08	0,1	0,03	0,35— —0,60	0,04	0,04	0,02	—	0,004
Металл шва . .	0,12	0,15— —0,35	0,45— —0,75	0,05	0,05	0,109	0,034	0,02

67. Химический состав шлаков, образующихся при сварке малоуглеродистой стали электродами ЦМ-9 (в весовых процентах)

SiO ₂	TiO ₂	ZiO ₂	MnO	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	FeO	K ₂ O + Na ₂ O	$\frac{\Sigma (RO)}{SiO_2 + TiO_2}$
27,2	43,2	0,70	14,7	5,2	2,2	0,3	3,7	3,0	0,34

ций (71) и (66) способствует значительная кислотность шлаков (коэффициент основности около 0,34) образующихся при плавлении электродов ЦМ-9. Кислый характер шлаков способствует активному протеканию реакции (66) и, как следствие, ведет к образованию в металле шва силикатных включений, вследствие чего суммарное содержание кислорода в металле шва достигает того же уровня, что и при использовании электродов первой группы (около 0,1%).

Однако электроды с покрытием третьей группы обладают по сравнению с электродами первой группы некоторыми преимуществами, к числу которых относятся:

- а) высокая технологичность при сварке; получение плавных и гладких очертаний шва;
- б) возможность введения в состав покрытия железных порошков для повышения коэффициента наплавки;
- в) значительно меньшая тепличность по сравнению с электродами ЦМ-7, в зоне дыхания сварщика общее содержание аэрозолей меньше в 2 раза, марганцевых соединений — в 3 раза.

Прочностные свойства швов, выполненных электродами ЦМ-9, характеризуются данными, приведенными в табл. 68.

68. Прочностные и пластические свойства швов, выполненных электродами ЦМ-9 (средние данные) [68]

Положение при сварке	σ_b в кг/мм ²	σ_T в кг/мм ²	δ_5 в %	ψ в %	Ударная вязкость α_k в кГм/см ²		
					Исходное состояние	Закалка 110° С и отпуск 250° С	Закалка 600° С и отпуск 150° С
Горизонтальное . . .	52,8	43,8	23,9	63,1	11,5	4,6	11,2
Вертикальное . . .	56,9	44,6	21,1	62,1	10,2	—	—
Потолочное . . .	47,2	35,1	24,7	67,5	14,3	—	—

Металлургические процессы при сварке электродами с покрытиями четвертой группы

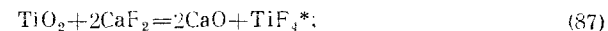
Четвертый тип покрытия не имеет широкого применения, за исключением сварки металла малых толщин (электроды ОМА-2). Рецелтура покрытия электродов ОМА-2 [70]: 46,8% муки пищевой; 36,5% титанового концентрата ($FeO \cdot TiO_2$); 3,5% марганцевистой руды (MnO_2); 2% селитры калиевой; 6% ферромарганца; 5,2% ферросилиция [70]. В замес вводится жидкое стекло до 35% от веса сухой массы. Коэффициент веса покрытия 10%.

Состав металла шва в сопоставлении с составом электродной проволоки приведен в табл. 69.

69. Состав металла шва при сварке электродами ОМА-1 [70]

Наименование пробы	Состав в %				
	C	Mn	Si	S	P
Проволока Св-08 . . .	0,10	0,35—0,60	0,03	0,04	0,04
Металл шва	—	0,24	0,11	—	—

Покрытия этого типа имеют в своем составе до 50% органических компонентов (пищевая мука, целлюлоза); поэтому при плавлении электрода создается хорошая газовая защита, что позволяет допустить относительно малое значение коэффициента веса покрытия. Выделяющиеся при этом газы содержат большое количество водорода. Для предупреждения поглощения жидким металлом значительного количества водорода шлакообразующая часть покрытия должна оказывать окислительное действие на сварочную ванну. С этой целью в покрытие электродов ОМА-2 вводится титановый концентрат ($FeO \cdot TiO_2$) и марганцевая руда (MnO_2). По-видимому, полезно также введение флюорита (CaF_2) в сочетании с SiO_2 или TiO_2 . Одновременное присутствие в покрытии CaF_2 и SiO_2 приводит к развитию реакции (32) и (33), а TiO_2 и CaF_2 [60] — реакции, аналогичные (32) и (33).



Реакции (32), (33), (87) и (88), по-видимому, могут явиться средством дополнительного ограничения поглощения водорода жидким металлом, так как фтористый водород в нем нерастворим.

70. Механические свойства сварного соединения из стали 30ХМА толщиной 2 мм, выполненного электродами ОМА-2 [70]

Термическая обработка	σ_b в кг/мм ²	Угол загиба Р град	Ударная вязкость α_k в кГм/см ²
	Исходное состояние	Исходное состояние	Исходное состояние
Исходное состояние	$\frac{67-87}{6}$	$\frac{47-99}{58}$	$\frac{11-19}{15}$
Закалка на прочность 120—140 кг/мм ²	$\frac{80-113}{59}$	$\frac{30-42}{38}$	$\frac{12-17}{15}$

* Тетрафторид титана имеет точку кипения 254° С.

Предупреждение пор, вызываемых реакцией образования окиси углерода, достигается введением в состав покрытия ферросилиция, чем обеспечивается содержание кремния в металле шва около 0,1%.

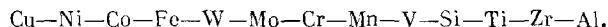
При сварке малоуглеродистой стали малых толщин электродами ОМА-2 предел прочности сварного соединения $\sigma_s = 40 \div 50 \text{ кг/мм}^2$ и угол загиба 180° . Данные о механических свойствах металла шва, выполненного электродами ОМА-2 на стали 30ХМА толщиной 2 мм, приведены в табл. 70 (см. стр. 123).

ЛЕГИРОВАНИЕ МЕТАЛЛА ШВА

Окисление элементов

При сварке плавлением большое значение имеет введение в сварочную ванну легирующих примесей для получения шва требуемой композиции и свойств. В большинстве случаев, даже при использовании пассивных (инертных) защитных сред, приходится считаться с некоторым окислением металла в зоне сварки связанным с несовершенством защиты сварочной ванны от атмосферного влияния. Кроме того, многие флюсы для сварки сталей, а также электродные покрытия, как уже указывалось выше, обладают окислительным действием.

Чем активнее окисляется легирующий элемент в зоне сварки, тем менее полно он усваивается сварочной ванной. Поэтому для оценки поведения того или иного элемента в сварочной ванне необходимо знать его сродство к кислороду, определяемое по значению упругости диссоциации его оксида (см. фиг. 7, 8, 10, 11 и табл. 6). При прочих равных условиях (концентрация, температура, состав шлаковой и газовой фаз) отдельные элементы, присутствующие в сварочной ванне, по возрастающему сродству к кислороду могут быть расположены в следующий ряд (до температуры 1600°C):



Таким образом, при сварке сталей элементы, находящиеся в этом ряду слева от железа, будут практически полностью усваиваться сварочной ванной. Следует, однако, заметить, что при введении этих элементов в покрытие или флюс возможна их потеря на окисление в процессе замеса или прокатки. Вольфрам и молибден, расположенные по соседству с железом справа, достаточно полно усваиваются сварочной ванной. Остальные элементы могут заметно окисляться в сварочной ванне и тем активнее, чем дальше они находятся вправо от железа. Поэтому при наличии окислительных условий трудно, например, легировать стальную сварочную ванну такими элементами, как алюминий и титан. Легко окисляющиеся элементы, с относительно малым значением упругости диссоциации их оксидов, достаточно полно усваиваются сварочной ванной только при предельно возможном снижении окислительных условий (сварка под защитой инертных газов или пассивных флюсов, сварка в вакууме).

При прочих равных условиях введение в сварочную ванну элемента с относительно большим сродством к кислороду предохраняет от активного окисления другие элементы, обладающие меньшим сродством к кислороду. Например, для более полного усвоения титана в зону сварки целесообразно вводить алюминий.

Испарение элементов в зоне плавления

Окисление — не единственный путь потерь элементов из сварочной ванны. В процессах сварки такими высокотемпературными источниками тепла как дуга в особенности при отсутствии шлакового покрова (открытая дуга), весьма значительные потери на испарение.

С повышением температуры упругость насыщенных паров всякого вещества растет. При достижении значения упругости, равного атмосферному давлению (760 мм рт. ст.), вещество кипит.

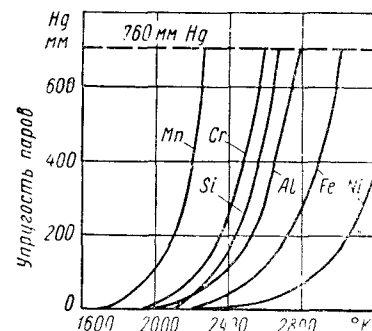
На фиг. 59 показана зависимость упругости паров некоторых металлов от температуры. Из рассмотренной фигуры следует, что при сварке стальной открытой дугой при достаточно высоких концентрациях в сварочной ванне значительно испаряется марганец, меньше — хром, алюминий, кремний и т. д.

Если рассматривать металл ванны, нагретой в высокотемпературной части до $2000 - 2300^\circ \text{C}$, как идеальный раствор, то упругость пара p_0 , состоящего из нескольких компонентов, можно выразить суммой [12]:

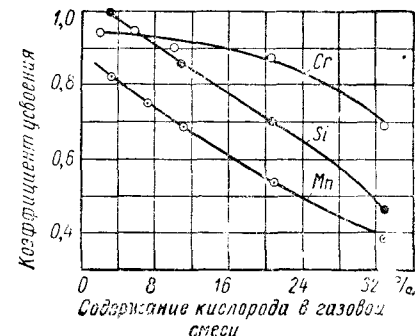
$$p_0 = p_1 y_1 + p_2 y_2 + \dots + p_i y_i,$$

где y_i — молярная доля компонента i ; p_i — упругость пара компонента i при данной температуре.

Расчеты по данному уравнению показывают [12], что пары стали, содержащей 1,04% Mn и 0,8% Si и нагретой до 2500°C , будут иметь в своем составе



Фиг. 59. Упругость паров металлов в зависимости от температуры [12].



Фиг. 60. Влияние концентрации кислорода в защитном газе, состоящем из смеси аргона и кислорода, на коэффициент усвоения марганца, хрома и кремния [38].

более 20% марганца. Это означает, что при сварке открытой дугой могут наблюдаться заметные потери марганца вследствие испарения [45].

Большое влияние на процессы испарения оказывают окислительные условия. Если образующиеся пары в газовой фазе окисляются, то процесс испарения протекает более интенсивно. Кривые на фиг. 60, относящиеся к сварке электродной проволокой состава 0,20% C; 1,2% Si; 0,95% Mn и 0,99% Cr в смесях аргона — кислород, подтверждает сказанное.

Пути легирования металла шва

Легирование за счет присадочной (электродной) проволоки — один из надежных методов с точки зрения получения стабильных результатов (постоянства состава шва) при сварке легированных сталей. При этом легирующие добавки могут либо содержаться в металле стержня присадочного материала, либо вводиться в виде порошка, находящегося в сердечнике проволоки трубчатого профиля (порошковая проволока). Последний способ нашел применение при автоматической наплавке под флюсом [73].

Легирование за счет проплавления основного металла, содержащего легирующие элементы. Этот путь легирования необходимо учитывать при сварке и наплавке специальных сталей и сплавов в тех случаях, когда режим сварки может быть обеспечен глубокое проплавление основного материала, например, при сварке под флюсом, при сварке толстых листов, в особенности без присадочного материала, и при наложении первого слоя многослойного шва и др. Этот путь легирования дает возможность при односторонней сварке некоторых высокопрочных (легированных) сталей (шпатель) получать достаточно высокие прочностные свойства металла шва при относительно малом углеродистых электродах (см. табл. 70).

Введение в покрытие электрода или во флюс легирующих металлических добавок — очень распространенный способ легирования при сварке качественными электродами. При дуговой сварке с использованием малоуглеро-

истой проволоки он позволяет получать шов из легированной стали или специальных износостойчивых либо инструментальных сплавов (наплавочные электроды). При автоматической сварке под флюсом введение легирующих добавок в керамический флюс должно сочетаться по возможности с неизменными параметрами режима сварки (в особенности с напряжением на дуге), чтобы поддерживать постоянное весовое соотношение расплавленного флюса и электродной проволоки.

Восстановление металлов из окислов (сварочных флюсов-шлаков). Это путь наиболее легко использовать для элементов, обладающих сродством к кислороду меньшим, чем железо (медь, никель), и ограниченно для таких элементов, как хром, кремний и марганец.

Указанный способ легирования имеет существенный недостаток, заключающийся в неизбежном окислении стальной сварочной ванны по реакции (65).

Возможно раскисление оксида и за счет какого-либо раскислителя, например окиси хрома или закиси меди за счет Mn, Si, Al.

Коэффициенты усвоения и приближенный расчет состава наплавленного металла при сварке электродами с защитно-легирующими покрытиями

В формуле (10) дано приближенное выражение суммарного коэффициента усвоения η_s элемента Me сварочной ванной (металлом шва), которое можно представить в следующем виде:

$$\eta_s = \frac{[Me]_{ш}}{a[Me]_f + b[Me]_b + c[Me]_c} \quad (89)$$

где $[Me]_{ш}$ — содержание элемента Me в шве в %, $[Me]_a$, $[Me]_b$, $[Me]_c$ — содержание того же элемента в основном металле, электродной (присадочной) проволоке и металлической добавке в покрытие или во флюс в %, a , b и c — соответственно доли участия основного металла, электродной проволоки и металлической добавки в покрытие или во флюс в образовании сварочной ванны, определяемые по уравнениям (6), (7) и (8).

При ручной сварке качественными электродами с наложением многослойных швов на материал большой толщины доля участия основного металла в образовании шва относительно невелика, поэтому переходом легирующей присадки из основного металла можно в первом приближении пренебречь.

Обозначим через $[Me]_n$ — концентрацию элемента Me в наплавленном электродном металле (без разбавления его основным материалом). Тогда из формулы (89) получим

$$\eta_s = \frac{[Me]_n}{b[Me]_b + c[Me]_c} \quad (90)$$

Учитывая, что $b + c = 1$ и что величина c значительно меньше b , выражение (90) можно написать в следующем виде [75]:

$$\eta_s = \frac{[Me]_n}{[Me]_f + K_s (Me) [Me]_c} \quad (91)$$

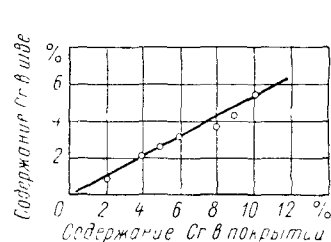
где $(Me)_c$ — весовая доля металлической добавки в покрытие; K_s — коэффициент веса покрытия.

Формулы (90) и (91) служат для определения суммарного коэффициента усвоения. При известном же значении η_s (см. ниже) и требуемой концентрации рассматриваемого элемента в наплавленном металле $[Me]_n$ можно приблизительно найти необходимую металлическую добавку в покрытие:

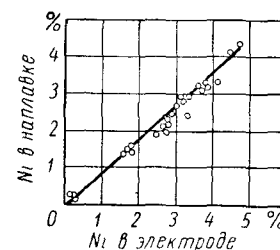
$$[Me]_c = \frac{[Me]_n - [Me]_b \eta_s}{K_s [Me]_c \eta_s} \quad (92)$$

где $(Me)_c$ — в весовых долях.

Для получения той же величины в процентах, данные, полученные по формуле (92), необходимо умножить на 100



Фиг. 61. Зависимость содержания хрома в металле шва от содержания металлического хрома в покрытии, построенная на базе мрамора и плавикового шпата [74].



Фиг. 62. Зависимость содержания никеля в наплавленном металле от содержания его в электроде (проволока Св18ХМА, покрытие из мрамора, плавикового шпата, ферромарганца, ферросилиция с присадками никеля и феррохрома) [75].

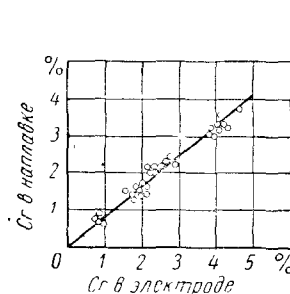
При известной величине $(Me)_c$ ожидаемую концентрацию элемента Me в наплавленном металле $[Me]_n$ можно определить из выражения:

$$[Me]_n = \eta_s \{ [Me]_b + K_s (Me)_c [Me]_c \} \quad (93)$$

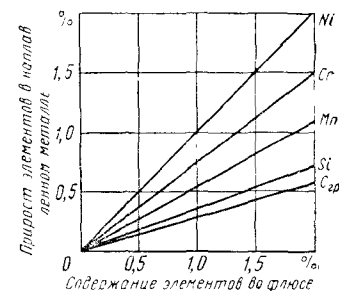
или

$$[Me]_n = \eta_s \{ b [Me]_b + c [Me]_c \} \quad (94)$$

Расчеты по формулам (92)–(94) для покрытий второй группы, построенных на плавиковом шпате и мраморе, облегчаются тем обстоятельством, что для широкого диапазона содержания элементов в проволоке и покрытии в первом



Фиг. 63. Зависимость содержания хрома в наплавленном металле от его содержания в электроде (проволока и покрытие — см. фиг. 62) [75].



Фиг. 64. Переход легирующих элементов из керамического флюса в наплавленный металл [54].

приближении наблюдается линейная зависимость между концентрацией элемента в электроде и наплавленном металле (металле шва). Аналогичные зависимости имеют место и для керамических флюсов (фиг. 61–64). Поэтому значения коэффициентов усвоения для покрытий второй группы, имеющих одну и ту же основу, могут быть приняты (в достаточно широком диапазоне концентраций вводимых легирующих добавок) постоянными.

В табл. 71 и 72 приведены значения коэффициентов усвоения некоторых элементов для покрытий второй группы, обычно применяемых для сварки легированных сталей.

71. Коэффициент усвоения легирующих элементов при сварке высоколегированных сталей электродами КТИ-5, ЦТ-7 и ЦТ-15 [77 и ЦНИИТМАШ]

Легирующий элемент	Марка электродной проволоки	Марка покрытия	Коэффициент усвоения		
			Суммарный η_s	Из проволоки η_b	Из покрытия η_c
Mn	СвХ18Н11МЭИ-689 СвХ18Н9Б	КТИ-5 ЦТ-7 ЦТ-15	—	0,75—0,80	0,60—0,65
			0,7	—	—
Cr	СвХ18Н11МЭИ-689 СвХ18Н9Б	КТИ-5 ЦТ-7 ЦТ-15	—	0,94—0,97	0,85—0,90
			0,9	—	—
Mo	СвХ18Н11МЭИ-689	КТИ-5 ЦТ-7	0,85	0,90—0,95	0,75—0,80
			—	—	—
V	СвХ18Н11МЭИ-689	КТИ-5 ЦТ-7	0,65	—	0,85 0,65—0,75
Nb	СвХ18Н9Б	ЦТ-15	0,6—0,7	—	—
Ni	СвХ18Н11М	КТИ-5	—	1,0	—

72. Суммарные коэффициенты усвоения при сварке низко- и среднелегированных сталей электродами с покрытием второго типа [33], [75], [78], [79]

Легирующий элемент	Марка проволоки	Марка покрытия	Общее содержание раскислителей в покрытии в %	Суммарный коэффициент усвоения в % η_s
Mn	Св-08	УОНИ-13 УОНИ-13, ЦЛ-20, ЦУ2ХМ	22 15—22	0,45—0,55 0,34—0,47
	Св-10Х5М	55У ЦЛ-17	19 17	0,6 0,49
Cr	Св-08	УОНИ-13, ЦЛ-20, ЦУ2ХМ	12—15	0,14—0,27
	Св-10Х5М	55У ЦЛ-17	19 17	0,20—0,25 0,38
Cr	Св-08	УОНИ-13, ЦЛ-20, ЦУ2ХМ	12—15	0,72—0,82
	Св-10Х5М Св-18ХМА	ЦЛ-17 НПАТ-3	17 15	0,90 0,89
V	Св-08 Св-10Х5М	УОНИ-13, ЦЛ-20 ЦЛ-17	12—12,5 17	0,59—0,64 0,57
Ni	Св-18ХМА	НПАТ-3	15	0,9
Nb	Св-18ХМА	НПАТ-3	15	0,8
Mo	Св-08	УОНИ-13, ЦЛ-20, ЦУ2ХМ	12—15	0,83—0,86
	Св-10Х5М Св-18ХМА	ЦЛ-17 НПАТ-3	17 15	0,87 0,90

Приближенный расчет состава шва при его легировании через флюс (при автоматической сварке) [81]

Легированные стали рекомендуется сваривать под пассивными флюсами. При сварке сталей перлитного класса наилучшим решением вопроса о легировании металла шва является использование соответствующей марки электродной проволоки, содержащей необходимые примеси. При сварке сталей аустенитного и аустенитно-ферритного классов (Х18Н9Т, Х18Н12М2Т и др.) даже при использовании электродных проволок близкого к основному материалу состава часто возникает необходимость дополнительного легирования шва аустенито- или ферритообразующими элементами в целях регулирования второй фазы (например, α -фазы) в его структуре для предупреждения горячих трещин, а также такими элементами как титан или ниобий для придания металлу шва устойчивости против межкристаллитной коррозии.

Автоматическая сварка под флюсом сопровождается значительным проплавлением основного металла, если она выполняется за один проход, и предыдущих слоев шва — при многопроходном ее выполнении (сварка металла значительной толщины).

Ниже приводится схема расчета композиции любого слоя многопроходного шва при сварке под пассивными флюсами типа ФЦК в ФЦКС*, содержащих те или иные легирующие добавки.

Для n -го слоя шва (включая первый) концентрация элемента Me может быть найдена из уравнения [81]

$$[Me]_{ш, n} = [Me]_a a_n \eta_a + [Me]_b b_n \eta_b + [Me]_{ш, n-1} d_{n-1} \eta_d + [Me]_c c \eta_c, \quad (95)$$

где $[Me]_{ш, n}$ — содержание элемента Me в n -ом слое шва в %;

$[Me]_a$, $[Me]_b$, $[Me]_{ш, n-1}$, $[Me]_c$ — содержание того же элемента в основном металле, проволоке, предыдущем слое шва и металлической добавке во флюс; a_n , b_n , d_{n-1} , c — доли участия основного металла, проволоки, предыдущего слоя шва и металлической добавки флюса в образовании ванны; η_a , η_b , η_d , η_c — коэффициенты усвоения элемента Me из основного металла, проволоки, предыдущего слоя и металлической добавки флюса.

Для пассивных флюсов коэффициенты усвоения η_a , η_b и η_d могут быть в первом приближении приняты равными единице (в особенности для таких элементов как Cr, Mn, Si, W, V, Mo). Тогда уравнение (95) принимает вид

$$[Me]_{ш, n} = [Me]_a a_n + [Me]_b b_n + [Me]_{ш, n-1} d_{n-1} + [Me]_c c \eta_c. \quad (96)$$

Последовательный расчет по уравнению (96) от слоя к слою дает для n -го слоя:

$$[Me]_{ш, n} = [Me]_a (a_n + a_{n-1} d_{n-1} + a_{n-2} d_{n-2} d_{n-1} + \dots) + [Me]_b (b_n + b_{n-1} d_{n-1} + b_{n-2} d_{n-2} d_{n-1} + \dots) + [Me]_c (c + c d_{n-1} + c d_{n-2} d_{n-1} + \dots) \eta_c.$$

В этом уравнении многочленные множители в скобках представляют собой обобщенные доли участия основного металла, электродной проволоки и металлической добавки во флюс для n -го слоя; обозначая их через

$$a_{o, n} = a_n + a_{n-1} d_{n-1} + a_{n-2} d_{n-2} d_{n-1} + \dots;$$

$$b_{o, n} = b_n + b_{n-1} d_{n-1} + b_{n-2} d_{n-2} d_{n-1} + \dots;$$

$$c_{o, n} = c + c d_{n-1} + c d_{n-2} d_{n-1} + \dots$$

* См. табл. 50.

73. Величины a_n , m_n и d_{n-1} при сварке многопроходного шва под флюсом

№ прохода (слоя)	a_n	m_n	d_{n-1}
1	0,65—0,70	0,30—0,35	0
2	0,15	0,35	0,50
3			
4			

и вводя эти обозначения в предыдущее уравнение, получим

$$[Me]_{ш, n} = [Me]_a a_{o, n} + [Me]_b b_{o, n} + [Me]_c c_{o, n} \eta_c. \quad (97)$$

Учитывая, что $a_n + b_n + d_{n-1} + c = 1$ и обозначая $b_n + c$ через m_n , будем иметь

$$a_n + m_n + d_{n-1} = 1.$$

Опытные данные показывают, что при сварке под флюсами ФЦК многопроходного шва при V- или U-образной разделке величины a_n , m_n и d_{n-1} начиная со второго слоя остаются практически постоянными (табл. 73).

В табл. 74 приведены расчетные значения обобщенных долей участия $a_{o, n}$; $b_{o, n}$; $c_{o, n}$ *. Пользуясь этой таблицей, по известному значению коэффициента усвоения η_c можно приблизительно рассчитать концентрацию элемента Me в любом слое.

Для подсчета необходимой легирующей добавки во флюс нужно знать функциональную зависимость

$$c = f(\% \text{ Me}),$$

где c — доля участия металлической добавки во флюс в образовании ванны; (% Me) — процентное (весовое) содержание этой добавки во флюсе.

Из опытов (фиг. 65) установлено, что эта зависимость носит линейный характер, и по усредненным данным для всех элементов, указанных на фиг. 65, может быть написана в следующем виде:

$$c = 0,00293 (\% \text{ Me}). \quad (98)$$

Фиг. 65. Зависимость доли участия металлической добавки во флюсе c от ее содержания во флюсе: сплошные кружки — металлический хром; крестики — ферротитан; кружки — ферромарганец; кружки с точкой — ферромolibден; квадратик — ферроникобий; треугольнички — ванадий.

Имея в виду, что прирост содержания элемента Me в металле шва за счет флюса составляет величину

$$\Delta [Me] = c \eta_c [Me]_c \quad (99)$$

* При $m_n = n + c$.

74. Расчетные значения обобщенных долей участия основного металла, электродной проволоки и металлической добавки во флюс в образовании сварочной ванны

№ слоя	$a_{o, n}$	$b_{o, n}$	$c_{o, n}$	№ слоя	$a_{o, n}$	$b_{o, n}$	$c_{o, n}$
$c = 0$				$c = 0,05$			
I	0,7	0,3	0	I	0,7	0,25	0,05
II	0,5	0,5	0	II	0,5	0,425	0,075
III	0,4	0,6	0	III	0,4	0,512	0,088
IV	0,35	0,65	0	IV	0,35	0,556	0,094
$c = 0,01$				$c = 0,06$			
I	0,7	0,29	0,01	I	0,7	0,24	0,06
II	0,5	0,485	0,015	II	0,5	0,41	0,09
III	0,4	0,583	0,017	III	0,4	0,495	0,105
IV	0,35	0,631	0,019	IV	0,35	0,537	0,113
$c = 0,02$				$c = 0,07$			
I	0,7	0,28	0,02	I	0,7	0,23	0,07
II	0,5	0,47	0,03	II	0,5	0,395	0,105
III	0,4	0,565	0,035	III	0,4	0,478	0,122
IV	0,35	0,613	0,037	IV	0,35	0,519	0,131
$c = 0,03$				$c = 0,08$			
I	0,7	0,27	0,03	I	0,7	0,22	0,08
II	0,5	0,455	0,045	II	0,5	0,38	0,12
III	0,4	0,547	0,053	III	0,4	0,46	0,14
IV	0,35	0,593	0,057	IV	0,35	0,50	0,15
$c = 0,04$				$c = 0,09$			
I	0,7	0,26	0,04	I	0,7	0,21	0,09
II	0,5	0,44	0,06	II	0,5	0,365	0,135
III	0,4	0,53	0,07	III	0,4	0,443	0,157
IV	0,35	0,575	0,075	IV	0,35	0,482	0,168

и комбинируя (98) и (99), получим

$$(\% \text{ Me}) = 341 \frac{\Delta [Me]}{\eta_c [Me]_c}. \quad (100)$$

Определив (% Me) по формуле (100), следует сделать проверочные расчеты по уравнениям (98) и (99).

В табл. 75 даны коэффициенты усвоения некоторых элементов из флюсов ФЦК и ФЦКС (составы флюсов см. табл. 50).

75. Коэффициенты перехода элементов из флюсов ФЦК и ФЦКС при автоматической сварке аустенитных сталей типа X18H9T и X18H12MT

Элемент	Коэффициент перехода из флюса η_c		Элемент	Коэффициент перехода из флюса η_c	
	Флюс ФЦК	Флюс ФЦКС		Флюс ФЦК	Флюс ФЦКС
Cr	0.60	0.90	Mo	0.50	0.70
Ni	0.70	0.80	Nb	0.60	0.90
Mn	0.40	0.50	Ti	0.25	0.40

ЛИТЕРАТУРА

- Алов А. А., Сварка — процесс взаимной кристаллизации. «Автогенное дело» № 12, 1936.
- Любавский К. В., Пашуванце Ф. И., Лазарев В. И., Торопов В. А., Сварка аустенитных сталей, предназначенных для работы при повышенных температурах, сб. «Новое в технологии сварки», Машгиз, 1955.
- Рыкалин Н. Н., Расчеты тепловых процессов при сварке, Машгиз, 1951.
- Рыкалин Н. Н., Любавский К. В., К вопросу о длине сварочной ванны, «Автогенное дело» № 12, 1946.
- Любавский К. В., Металлургия автоматической сварки малоуглеродистых сталей под флюсом, сб. «Вопросы теории сварочных процессов», Машгиз, 1948.
- Алов А. А., К вопросу о механизме кристаллизации металла шва при сварке плавлением, «Автогенное дело» № 9, 1949.
- Фруммин И. И., Походня И. К., Исследование средней температуры сварочной ванны, «Автоматическая сварка» № 4, 1953.
- Шумкин В. Н., К вопросу о порядке средней температуры стекающего шва металла, Труды ДВНЦ, вып. 26, Владивосток, 1940.
- Кульчицкий Л. О., Энергетический баланс дуги при зваривании металлами электродами, АН УССР, 1940.
- Ерохин А. А., О температуре капели расплавленного электродного металла, Известия АН СССР № 9, 1953.
- Хренов К. К., Электрическая сварочная дуга, Машгиз, 1949.
- Фролов В. В., Физико-химические процессы в сварочной дуге, Машгиз, 1954.
- Ростовцев С. Т., Теория металлургических процессов, Металлургия, 1956.
- Muir A. R., «British Welding Journal» 3, 1956.
- Ростовцев С. Т., Теория металлургических процессов, Металлургия, 1955.
- Трубин К. Г. и Ойкс Г. Н., Металлургия сталей, Металлургия, 1951.
- Алов А. А., Раскисление металла шва при дуговой сварке, «Автогенное дело» № 7, 1947.
- Самарин А. М., Физико-химические основы раскисления сталей, изд. АН СССР, М., 1956.
- Фруммин И. И., Кирдо И. В., Подгаецкий В. В., Образование пор в сварных швах и влияние состава флюса на склонность к порам, «Автогенное дело» № 10, 1949.
- Глизианенко Д. Л., Евсеев Г. Б., Газовая сварка и резка металлов, Машгиз, 1954.
- Морозов А. Н., Водород и азот в стали, Металлургия, 1950.
- Баженков В. В., О природе пор в швах при сварке конструкционных сталей качественными электродами, сб. «Исследования по технологии сварки», ЦНИИТМАШ, Машгиз, 1953.
- Sekiguchi H., Kobayashi T., Ando S., Behavior of Hydrogen in Steel Welding, IAW, Public Session, July, 1957.
- Макара А. М., Лакотский В. И., Жовницкий П. П., Исследование распределения водорода в сварных соединениях среднеуглеродистых сталей с аустенитными и ферритными швами, «Автоматическая сварка» № 11, 1958.
- Willigen P. C., The Influence of Hydrogen on the Properties of Welds, IAW, Public Session, July, 1957.
- Чуйко Н. М., Азот в твердой и жидкой стали, «Теория и практика металлургии» № 4, 1936.
- Козлов Р. А., Влияние условий сварки на содержание водорода в металле шва, «Сварочное производство» № 4, 1958.
- Козлов Р. А., Влияние водорода на образование холодных трещин при сварке среднеуглеродистой стали, «Сварочное производство» № 4, 1959.
- Любавский К. В., Флюсы для автоматической сварки, Труды ЦНИИТМАШ, Машгиз, 1945.
- Кирдо И. В., Подгаецкий В. В., О влиянии флюсов на пористость автоматического шва, Труды по автоматической сварке, сб. № 6, АН УССР, 1949.

- Подгаецкий В. В., Реакции в атмосфере дуги при сварке под флюсом, «Автоматическая сварка» № 1, 1953.
- Фруммин И. И., Предупреждение пор при сварке под флюсом, «Автоматическая сварка» № 6, 1956.
- Ирвинский Л. М., Баженков В. В., Электроды ЦНИИТМАШ для сварки сталей и наплавки.
- Сефериан Д., Образование нитридов железа и новая диаграмма равновесия системы железо — азот, ОНТИ — НКТИ, 1937.
- Волынов К. П., Пути насыщения шва кислородом и азотом в процессе сварки, «Автогенное дело» № 4, 1936.
- Чижевский Н. П., Журнал Русского металлургического общества, № 1, 1913.
- Любавский К. В., Новожилов Н. М., Сварка плавящимся электродом в атмосфере защитных газов, «Автогенное дело» № 1, 1953.
- Новожилов Н. М., Вопросы металлургической дуговой сварки в защитных газах, сб. «Новое в технологии сварки», Машгиз, 1955.
- Chipman J., Samarin A., Effect of Temperature upon Interaction of Gases With Liquid Steel, Metals Technology, January, 1937.
- Мартеновское производство, Металлургия, 1947.
- Новожилов Н. М., Соколова А. М., Исследование свойств швов, выполненных в углекислом газе при олеумизации Sv-08ГСА и Sv-08Г2СА, «Сварочное производство» № 5, 1959.
- Новожилов Н. М., Соколова А. М., Разработка электродных проволок для сварки малоуглеродистых и низколегированных сталей в углекислом газе, «Сварочное производство» № 7, 1958.
- Мазель А. Г., Механические свойства сварных соединений малоуглеродистых сталей при сварке плавящимся электродом и пути их улучшения, сб. «Вопросы дуговой сварки в защитных газах», НТО Машпром, 1957.
- Походня И. К., Проводимость наплавки износостойких сталей в среде углекислого газа, «Автоматическая сварка» № 5, 1957.
- Алов А. А., Основы теории металлургической дуговой сварки малоуглеродистых сталей, сб. «Вопросы теории сварочных процессов», ЦНИИТМАШ, Машгиз, 1948.
- Френкель Я. П., Кинетическая теория сварки, АН СССР, 1945.
- Андреев П. А., Процесс кипения марганцевой ванны в свете физики поверхностных явлений, Труды ЦНИИ НКГП № 233, 1944.
- Автоматическая электродуговая сварка, под ред. акад. Е. О. Патона, Машгиз, 1953.
- Тимофеев М. М., Сера и фосфор при автоматической сварке под флюсом марганцовистыми флюсами, Труды ЦНИИТМАШ, вып. 35, Машгиз, 1950.
- Любавский К. В., Реакция серы и горючих трещины при автоматической сварке малоуглеродистой стали под флюсом, «Автогенное дело» № 1, 1948.
- Мазель А. Г., Бурилова Р. П., Керамический флюс КВС-19 для автоматической и полуавтоматической сварки малоуглеродистых сталей, «Автоматическая сварка» № 3, 1958.
- Любавский К. В., Бадьянов В. Н., Чепелюгин Г. Ф., Влияние флюса на свойства шва при сварке высокопрочных сталей, «Сварочное производство» № 2, 1959.
- Любавский К. В., Некоторые вопросы металлургической автоматической сварки под флюсом стали ЭИ-Т, «Автогенное дело» № 4, 1949.
- Хренов К. К., Кушнетьев Д. М., Керамические флюсы для автоматической дуговой сварки, Гостехиздат УССР, 1954.
- Фруммин И. И., Рабин Д. М., Подгаецкий В. В., Походня И. К., Лейнауск Е. И., Низкотемпературные флюсы для автоматической сварки и наплавки, «Автоматическая сварка» № 1, 1956.
- Подгаецкий В. В., Лангер Н. А., Малевский Ю. Б., Манжель Г. П., Исследование неметаллических включений в швах, выполненных под флюсом, «Автоматическая сварка» № 4, 1958.
- Меловар В. И. и Гуревич С. М., Бескислородные флюсы для сварки высоколегированных сталей и сплавов, «Автоматическая сварка» № 4, 1955.
- Любавский К. В., Разработка флюса для дуговой сварки сталей Ст. 2 и Ст. 3 стандартной проволокой, «Автогенное дело» № 6, 1941.
- Любавский К. В., Львова Е. П., Новые флюсы для дуговой сварки, «Сварочное производство» № 10, 1958.
- Меловар В. И., Сварка хромоникелевых аустенитных сталей, Машгиз, 1958.
- Готальский Ю. Н., К вопросу о взаимодействии между шлаком и металлом при электрошлаковой сварке, «Автоматическая сварка» № 5, 1954.
- Готальский Ю. Н., Влияние рода тока на взаимодействие шлага и металла при электрошлаковой сварке, «Автоматическая сварка» № 5, 1955.
- Дудак Д. А., Рублевский И. П., Некоторые металлургические особенности процесса электрошлаковой сварки, «Автоматическая сварка» № 4, 1956.
- Любавский К. В., Реакции серы и марганца при автоматической сварке малоуглеродистой стали под флюсом, «Автогенное дело» № 7, 1947.
- Стеренбоген Ю. А., Латаш Ю. В., Меловар В. И., Зайцев Ю. Н., Обескисливание сварочной ванны при электрошлаковой и электрошлаковой сварке, «Автоматическая сварка» № 4, 1957.
- Ирвинский Л. М., Баженков В. В., Применение углеродистого ферромарганца в покрытиях высокопроизводительных электродов, «Автогенное дело» № 1, 1951.
- Алов А. А., Электроды для дуговой сварки и наплавки, Машгиз, 1947.
- Ерохин А. А., Методика оценки количества покрытия на электроде, «Автогенное дело» № 8, 1947.

- 69 Баженов В. В., Колосов А. С., Электроды с рутиловым покрытием для электродуговой сварки, ЦНИИТМАШ, ЦБНТИ, Сварочное производство, 1958.
- 70 Соколов Е. В., Качественные электроды ОМА-2 для дуговой сварки малоуглеродистых сталей малых толщин, Сб работ сварочного комбината НИИТЯЖМАШ, вып. III, 1939.
- 71 Любавский К. В., Лазарев Б. И., Автоматическая сварка сталей больших толщин мощными дугами, «Автогенное дело» № 1, 1949.
- 72 ВНИГОС, Справочные материалы для сварщиков, Машгиз, 1951.
- 73 Фрумин И. И., Петриченко В. Т., Автоматическая наплавка стальных валков, Metallurgizdat, Харьков, 1956.
- 74 Любавский К. В., Лазарев Б. И., Сварка хромистых сталей, Сб. работ сварочного комбината Оргаметалла, 1938.
- 75 Ерохин А. А., О расчете покрытий для дуговой сварки, «Сварочное производство» № 1, 1959.
- 76 Любавский К. В., Усвоение марганца сварочной ванной под безмарганцовистыми флюсами, «Автогенное дело» № 7, 1946.
- 77 Петров Г. Л., Землин В. Н., Электроды для сварки жаропрочных сталей, Информационно-технический листок № 62, Ленинградский дом научно-технической пропаганды, 1956.
- 78 Дубова Т. Н., Регулирование содержания кремния и марганца в наплавленном металле, Труды ЛПИ, № 3, 1949.
- 79 Дубова Т. Н., Регулирование содержания хрома и молибдена в наплавленном металле, Труды ЛПИ, № 3, 1951.
- 80 Ерохин А. А., Об окислительном действии некоторых компонентов электродных покрытий при дуговой сварке, «Сварочное производство» № 12, 1957.
- 81 Любавский К. В., Львова Е. П., Автоматическая сварка стали 1X18H9T под керамическим флюсом ФЦК, «Сварочное производство» № 7, 1960.

ГЛАВА IV

КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ СВАРОЧНОЙ ВАННЫ И ПРОЦЕССЫ В ОКОЛОШОВНОЙ ЗОНЕ

ОБРАЗОВАНИЕ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ

Способность металлов образовывать при сварке неразъемное соединение посредством установления металлической связи (свариваемость) определяется их основными физическими, химическими и физико-химическими свойствами.

Свариваемость характеризует отношение металла к процессу сварки, важнейшими элементами которого являются.

а) нагрев металла местными источниками теплоты и последующее остывание;

б) плавление металла, смачивание жидким металлом твердого, металлургическая обработка сварочной ванны и совместная кристаллизация металла шва и основного металла при сварке плавлением;

в) местное пластическое деформирование и образование металлической связи при сварке давлением;

г) фазовые и структурные превращения в затвердевшем металле шва и зоне термического влияния основного металла.

д) образование сварочных напряжений, вызванных неравномерным нагревом (охлаждением) зоны сварки, и развитие упругих и пластических деформаций.

Независимо от того, каким путем при сварке металлов достигается молекулярное взаимодействие — смачиванием твердого металла жидким или совместным пластическим деформированием в твердом состоянии, — возможность образования металлической связи между частицами соединяемых металлов определяется в первую очередь строением их атомов, типами и параметрами их кристаллической решетки, а также другими факторами, обуславливающими химическое сродство между соединяемыми металлами. С этой принципиальной точки зрения наиболее легко образуют сварные соединения металлы и сплавы в состав которых входят элементы, обладающие неограниченной взаимной растворимостью как в жидком, так и твердом состоянии, т. е. образующие непрерывный ряд твердых растворов. Для неограниченной взаимной растворимости металлов необходимы следующие основные условия [4]:

а) металлы должны иметь одинаковые кристаллические решетки: если металлы полиморфны, то неограниченная растворимость наблюдается только между их изоморфными модификациями, например Fe(γ) и Co(β) с гранецентрированной кубической решеткой;

б) атомные радиусы металлов, образующих твердые растворы, не должны отличаться более чем на 10—15%;

в) электрохимические свойства (сродство с электроном) не должны сильно различаться, так как в противном случае возможно образование интерметаллических соединений, как правило вызывающих хрупкость сварного соединения. Это условие обычно соблюдается для металлов, принадлежащих к одной и той же или к смежным родственным группам периодической системы элементов.

Наиболее важные для современной техники металлы образуют непрерывные твердые растворы в следующих сочетаниях: железо: Fe — Ni (γ — γ выше 1234° C), Fe — Cr (выше 920° C), Fe (γ) — Co (β); никель: Ni — W, Ni —

Mn (γ), Ni — Cu, Ni — Co; хром: Cr — Mo, Cr — Ti (β) (выше 1350° C), Cr — V, Cr — W; марганец: Mn (γ) — Cu, Mn (γ) — Co (β); титан: Ti — Zr, Ti (β) — W, Ti (β) — V, Ti (β) — Ta, Ti (β) — Nb, Ti (β) — Mo; ниобий: Nb — Mo, Nb — Ta, Nb — W; молибден: Mo — Ta, Mo — W; вольфрам: W — Ta.

Металлы и сплавы, в состав которых входят элементы, обладающие неограниченной взаимной растворимостью, как правило, образуют доброкачественные сварные соединения с наиболее однородными свойствами как при сварке давлением, так и при сварке плавлением. Ограничения в выборе способов сварки этих металлов и сплавов определяются, в основном, такими свойствами, как: активность по отношению к атмосферным газам — кислороду, азоту и водороду, температура плавления, пластические свойства при температуре образования сварного соединения, склонность к понижению пластичности вследствие собирательной рекристаллизации (рост зерен). Однако некоторые однофазные сплавы весьма склонны к образованию горячих трещин в шве при сварке плавлением, что, в частности, в последнее время связывают с явлением полигонизации (см. ниже).

При сварке разнородных металлов с ограниченной растворимостью в жидком и твердом состояниях или сплавов, содержащих ограниченно растворимые легирующие элементы и примеси, возможность образования доброкачественного соединения зависит от степени развития внутрикристаллической ликвиации в процессе первичной кристаллизации и характера последующих фазовых и структурных превращений в твердом состоянии. При сварке плавлением выделение по границам кристаллитов и зерен легкоплавких и малопластичных фаз в виде химических соединений и смесей эвтектического и неэвтектического состава может приводить на завершающем этапе кристаллизации к образованию горячих трещин, например, в сплавах на железной и никелевой основе при определенных пределах содержания C, Si, Nb, Sn, Bi, S, P, Sb, Pb, B и других легирующих элементов и примесей. При сварке разнородных металлов и сплавов в твердом состоянии, особенно при повышенных температурах, возможно образование ограниченного ряда твердых растворов, химических соединений или соединений и растворов. Наличие химических соединений в большинстве случаев вызывает хрупкость соединения.

Для получения доброкачественных соединений разнородных металлов и сплавов часто оказывается необходимым применять промежуточные вставки, прокладки или покрытия из металлов, обладающих неограниченной взаимной растворимостью с каждым из соединяемых металлов и элементов, составляющих основу свариваемых сплавов. Например, соединение титана с нержавеющей или углеродистой сталью осуществляется через ванадий или через две прокладки из тантала (со стороны титана) и из никеля (со стороны стали); медные сплавы с титаном можно соединять через тантал и т. д.

Некоторые фазовые и структурные превращения, протекающие в полиморфных металлах и сплавах в процессе охлаждения твердого раствора, могут приводить к образованию холодных трещин. Как правило, такие превращения сопровождаются значительными искажениями кристаллической решетки и объемными изменениями (эвтектическое превращение в сталях перлитного и мартенситного классов, гомогинное превращение в стали и его сплавах).

Образование горячих и холодных трещин происходит под действием растягивающих напряжений, развивающихся при охлаждении сварных соединений. Сварочные напряжения вызваны действием деформационного нагрева и охлаждением металла и структуры, и, следовательно, напряженное состояние при сварке зависит от удельных свойств свариваемого материала, коэффициента объемного расширения, определяющего величину усадки при кристаллизации и последующем охлаждении, от конструкции шва, его соединения и жесткости его крепления, от толщины металла, его способности к равномерной деформации, от технологии и режима сварки. При сварке разнородных металлов и сплавов влияние на напряженное состояние оказывают различия в коэффициентах объемного расширения, а также различия в положении критических точек сплавов с полиморфными превращениями.

При сварке металлов и сплавов с ограниченной растворимостью не всегда удается получить соединения с удовлетворительными пластическими свойствами.

ствами. В некоторых случаях возможность предупреждения трещин при сварке целиком определяется условиями кристаллизации, характером фазовых превращений и напряженным состоянием. Поэтому при недостаточности металлургических и технологических средств иногда могут возникать ограничения в свариваемости таких металлов. Ограниченная растворимость иногда является причиной образования химических соединений и выпадения избыточных компонентов из пересыщенного твердого раствора, зафиксированного вследствие быстрого охлаждения при сварке.

Часто в процессе последующего термического и механического воздействия это влечет за собой нежелательные последствия: старение швов (малоуглеродистая сталь), содержащих азот и кислород; потерю антифрикционных и антикоррозийных свойств наплавов меди и ее сплавов на сталь вследствие выделения и коагуляции железных включений; охрупчивание швов из аустенитно-ферритных сталей вследствие образования σ -фазы и т. д.

При сварке разнородных сплавов неодинаковая растворимость в них отдельных легирующих элементов может приводить к развитию химической неоднородности. В переходной зоне между металлом шва из аустенитной хромоникелевой стали и основным металлом из углеродистой или низколегированной стали перлитного класса — недостаточным содержанием элементов, образующих устойчивые карбиды, в процессе эксплуатации при повышенных температурах происходит миграция углерода в металл шва и разупрочнение основного металла в непосредственной близости к шву. Правильный выбор способа, режимов и технологии сварки в сочетании с металлургическими средствами воздействия в большинстве случаев позволяет полностью устранить или свести к минимуму вредные последствия ограниченной растворимости.

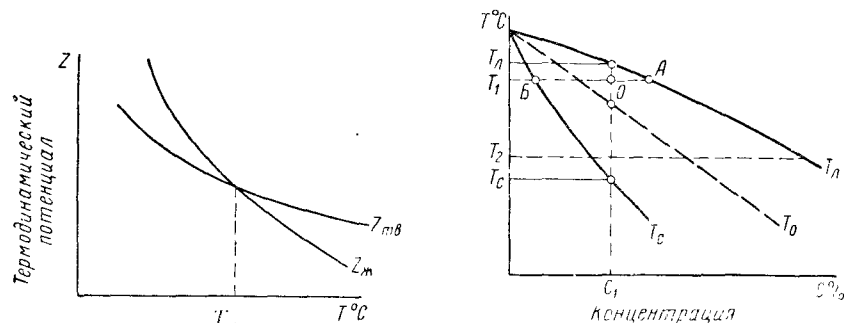
При сварке металлов и сплавов как с неограниченной, так и с ограниченной взаимной растворимостью в образовании соединений большую роль играют процессы диффузии. Диффузионные процессы между нерастворимыми друг в друге металлами практически исключены (Fe — Ag, Fe — Mg, Fe — Pb, Fe — Na и др.). Эти пары металлов не образуют также ни химических соединений, ни тонких смесей. Физическое соединение этих металлов возможно при условии сближения поверхности раздела на расстояние, соизмеримое с межатомным расстоянием (порядка нескольких ангстремов). В этом случае между поверхностями раздела может возникнуть атомная связь, так же, как она существует и внутри кристалла. Практически осуществить соединение этих металлов удается, если один из них находится в жидком состоянии. Однако такие сварные соединения характеризуются резким изменением свойств на границе раздела.

КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ И ГОРЯЧИЕ ТРЕЩИНЫ

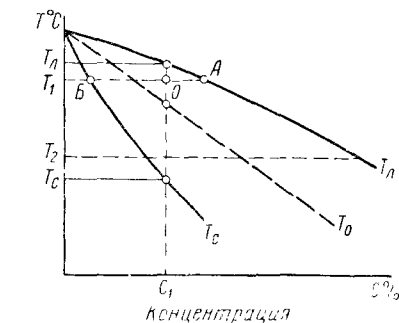
Современные представления о кристаллизации сплавов строятся на основных закономерностях, установленных для кристаллизации чистых металлов, сплавов, образующих непрерывный ряд твердых растворов, и сплавов эвтектического состава. При рассмотрении кристаллизации чистых металлов обычно исходят из теории фазовых превращений (Гиббс Д., Френкель Я. И., Давыдов В. П. [1, 2]). Эта теория предполагает существование вполне определенной температуры T_0 , при которой соблюдается условие равновесия между жидкой и твердой фазами, выражаемое равенством их термодинамических потенциалов (фиг. 1). В отличие от чистых металлов сплавы крист. ализуются в некотором интервале температур, в котором твердая и жидкая фазы могут находиться в равновесии друг с другом. На фиг. 2 линия ликвидуса T_L и солидуса T_S отражает условия равновесия фаз. При переохлаждении жидкой фазы концентрации C_1 ниже T_L происходит образование твердой фазы, которые имеют состав, определяемый составом линии солидуса при данной температуре. При дальнейшем кристалле участии жидкой фазы обогащаются растворенным элементом, пока не достигнут более высокой температуры плавления, и их состав определяется составом линии ликвидуса. Например, при температуре T_1 концентриция растворенного элемента в твердой фазе будет соответствовать точке B, а в жидкой фазе — точке A. Количество жидкой и твердой фаз,

находящихся в равновесии при этой температуре, определяется по правилу рычага, по отношению отрезков OB к OA .

Таким образом, при температуре T_1 на поверхности раздела фаз устанавливаются пограничные равновесные концентрации, разность которых выражается отрезком AB . Если в результате диффузионных процессов или воздействия конвекционных потоков жидкости растворенный элемент будет отводиться от поверхности раздела в жидкую фазу, то вследствие стремления системы к равновесию часть атомов основного элемента будет переходить из жидкой фазы в твердую, восстанавливая пограничные концентрации и обеспечивая рост кристаллов твердого раствора. Чем интенсивнее отводится растворенный элемент от поверхности раздела в жидкую фазу, тем быстрее происходит рост твердой фазы. Подобный процесс принято называть процессом «избирательной или диффу-



Фиг. 1. Влияние температуры на термодинамический потенциал жидкой и твердой фаз в однокомпонентных системах.



Фиг. 2. Диаграмм состояния сплавов, образующих непрерывный ряд твердых растворов.

зионной» кристаллизации. Рост кристаллов при избирательной кристаллизации происходит, в основном, за счет развития диффузионных процессов в жидкой фазе, выравнивающих концентрацию растворенного элемента по всему объему жидкой фазы. Процессы диффузии в твердой фазе имеют при этом второстепенное значение, так как они выравнивают концентрацию компонентов внутри кристалла твердого раствора.

При кристаллизации чистых металлов состав твердой фазы не отличается от состава исходной жидкой фазы. В этом случае для роста кристаллов твердой фазы не требуется перераспределения состава между фазами. Такой процесс кристаллизации называется бездиффузионным [3].

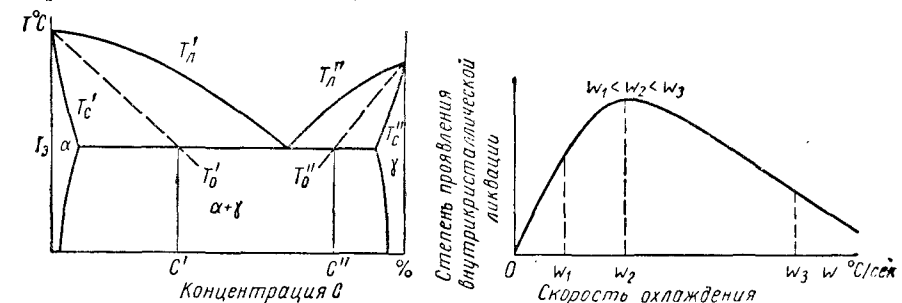
Однако процесс бездиффузионной кристаллизации возможен не только в чистых металлах, но и в сплавах.

На диаграмме состояния сплавов, образующих непрерывный ряд твердых растворов (фиг. 2) в интервале кристаллизации изображена линия T_0 , характеризующая равенство термодинамических потенциалов твердой и жидкой фаз одинакового состава¹. При температурах ниже T_0 термодинамический потенциал твердой фазы оказывается ниже, чем для жидкой фазы того же состава. Поэтому при переохлаждении жидкого расплава ниже температуры T_0 , например до T_2 , наряду с диффузионной кристаллизацией становится возможным развитие и бездиффузионной кристаллизации. Рост твердой фазы при бездиффузионной кристаллизации происходит за счет присоединения любых атомов находящихся перед фронтом растущих кристаллов. Вследствие этого

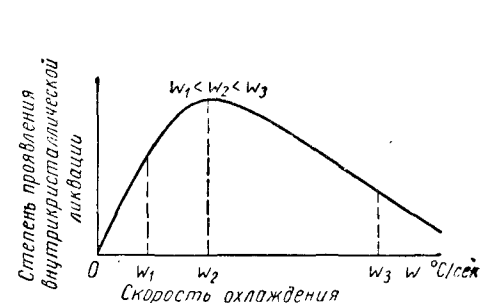
¹ Линия T_0 не соответствует идеальным условиям равновесия, так как в сплавах равновесие фаз наблюдается не при равенстве их термодинамических потенциалов, а при равенстве производных термодинамического потенциала по концентрациям фаз (химических потенциалов) $\mu_1 = \left[\frac{\partial Z}{\partial n_1} \right]_{p,T} = \text{const}$.

на границе раздела в жидкой фазе не будет появляться зона с повышенным содержанием растворенного элемента, как это имеет место при диффузионной кристаллизации. Чем выше скорость охлаждения и чем меньше содержание растворенного элемента в исходной жидкой фазе, тем вероятнее проявление бездиффузионного механизма кристаллизации.

Бездиффузионная кристаллизация возможна также и в эвтектических сплавах. Наиболее же часто она проявляется в сплавах, составы которых значительно отличаются от эвтектического. Если в них не происходило предварительного изменения состава жидкой фазы, то температура начала бездиффузионной кристаллизации (T_0' , T_0'') оказывается выше температуры образования эвтектики (T_0) (фиг. 3). Для того чтобы в таких сплавах развился процесс бездиффузионной кристаллизации, достаточно подвести только процесс образования избыточной фазы (α или γ твердых растворов). В сплавах с содержанием растворенных элементов выше предельной концентрации проявление механизма



Фиг. 3. Диаграмма состояния эвтектических сплавов.



Фиг. 4. Влияние скорости охлаждения сплава при кристаллизации на степень проявления внутрикристаллической ликвации (схема).

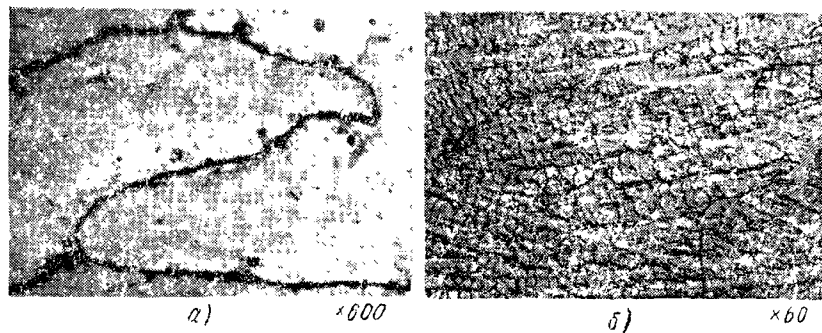
бездиффузионной кристаллизации возможно до концентраций этих элементов C' или C'' . При больших концентрациях, а также в чисто эвтектических сплавах обеспечить процесс бездиффузионной кристаллизации трудно, так как для этого требуется подвести процесс образования эвтектики, который протекает диффузионным путем с большими скоростями.

Исходя из этой общей теории кристаллизации сплавов, можно рассмотреть сложное влияние скорости охлаждения при кристаллизации на степень развития внутрикристаллической ликвации [2]. При небольших скоростях охлаждения увеличение интенсивности охлаждения до определенного предела приводит к усилению внутрикристаллической ликвации в соответствии с диффузионным механизмом кристаллизации. С дальнейшим увеличением скорости охлаждения внутрикристаллическая ликвация снижается вследствие того, что диффузионный механизм кристаллизации сменяется бездиффузионным (фиг. 4).

Такое сложное влияние скорости охлаждения на внутрикристаллическую ликвацию проявляется как при кристаллизации слитков и отливок, так и сварных швов. В слитках и отливках в зоне столбчатых кристаллов, охлаждаемой наиболее быстро, внутрикристаллическая ликвация стали и цветных сплавов проявляется значительно слабее, чем в зоне равноосных кристаллов, которая охлаждается более медленно. Скорость диффузионного роста кристаллов ориентировочно выражается величинами порядка 10^{-3} см/мин. С этой точки зрения в условиях образования столбчатых кристаллов, скорость роста которых колеблется в пределах от 10^{-1} до 10^2 см/мин, действует преимущественно механизм бездиффузионной кристаллизации, приводящий к снижению степени внутрикристаллической ликвации по мере увеличения скорости охлаждения. Поэтому можно полагать, что при сварке вследствие более интенсивного охлаждения внутрикристаллическая ликвация в подавляющем большинстве случаев менее развита, чем при кристаллизации слитков и отливок (даже в металлической шнеллнице).

Исследования с применением радиоактивных изотопов подтверждают это положение на примере внутрикристаллической ликвации таких ограниченно растворимых примесей, как сера и фосфор [4], [5]. Сегрегация этих примесей происходит не только по границам кристаллитов, но преимущественно в их внутренних зонах — в междоусных пространствах дендритов. Участки сегрегации имеют ширину 3—15 мк и занимают 20—30% объема каждого столбчатого кристалла.

В макроразмерах шва распределение таких примесей часто происходит также неравномерно, слоями, расположенными эквидистантно границе сплавления. Это явление связывают с непостоянством скорости роста кристаллов вследствие неравномерной подачи тепла в сварочную ванну, периодически нарушающей баланс поступления и отвода теплоты и изменяющей скорость охлаждения. При этом возможны остановки кристаллизации и даже частичное оплавление



Фиг. 5. Характер столбчатой структуры и внутрикристаллической ликвации в металле шва при электрошлаковой сварке никелевого сплава ЭИ437 толщиной 35 мм под флюсом АНФ-3. а — $\times 600$, б — $\times 60$.

фронта твердой фазы. В этих условиях образование слоев легко объяснить чередованием бездиффузионного и диффузионного механизмов кристаллизации.

Слоистость в строении металла шва особенно ярко выражена при дуговой сварке плавящимся электродом; она обусловлена каплеобразным поступлением электродного металла, колебаниями ванны, переменной скоростью движения электрода, неравномерной толщиной слоя покрытия электродов или флюса и т. д. В автоматных швах и наплавках, имеющих большой объем, слой расположен главным образом вблизи границы сплавления, а в наплавках и швах, выполненных вручную и имеющих сравнительно малый объем, — по всему сечению шва [5], [6].

Слоистость не нарушает характера и направления кристаллизации, так как даже в случае периодического оплавления фронта твердой фазы поверхности нерасплавившихся частей кристаллов служат двухмерными зародышами, обеспечивающими рост кристаллов с прежней кристаллогеометрической ориентировкой.

Текстура роста и степень дезориентировки столбчатых кристаллов определяются всецело конфигурацией сварочной ванны и формой зоны проплавления основного металла, перпендикулярно поверхности которой направлен отвод тепла, ориентирующий рост кристаллов.

Наиболее характерным типом кристаллической структуры при сварке технических чистых металлов и сплавов, образующих непрерывный ряд твердых растворов, а также большого числа эвтектических сплавов является структура крупных столбчатых кристаллов (фиг. 5). Образованию этого типа структуры, кроме интенсивного охлаждения, способствуют также сравнительно малый объем сварочной ванны, наличие на границе сплавления шва с основным металлом готовых центров кристаллизации в виде крупных зерен основного ме-

талла, выросших при нагреве, высокий перегрев металла в сварочной ванне и др.

Полное или частичное подавление столбчатой структуры при сварке сплавов имеет место чаще всего в следующих случаях:

а) при недостаточных концентрациях элементов, способствующих образованию высокотемпературных избыточных фаз типа твердого раствора (например, ферритной фазы в швах аустенитных сталей), эвтектик (например, в швах из сплавов алюминия с кремнием, медью и т. п.), первичных карбидов (например, карбиды ниобия; ниобиевая карбидно-аустенитная эвтектика в швах аустенитных сталей типа Х13Н18, Х15Н25, Х15Н35 и никелевых сплавов) или первичного графита и др.

б) при введении в сварочную ванну модификаторов в виде твердых частиц тугоплавких металлов или соединений (например, молибдена и титана при сварке цветных сплавов), либо поверхностно-активных элементов (например, циркония, стронция, церия при сварке никелевых сплавов, аустенитных сталей и т. п.);

в) при воздействии на сварочную ванну ультразвуковых колебаний или механических вибраций (фиг. 6).

Одним из наиболее распространенных дефектов при сварке, связанных с характером процесса кристаллизации, типом кристаллической структуры и степенью развития внутрикристаллической ликвации, являются горячие трещины.

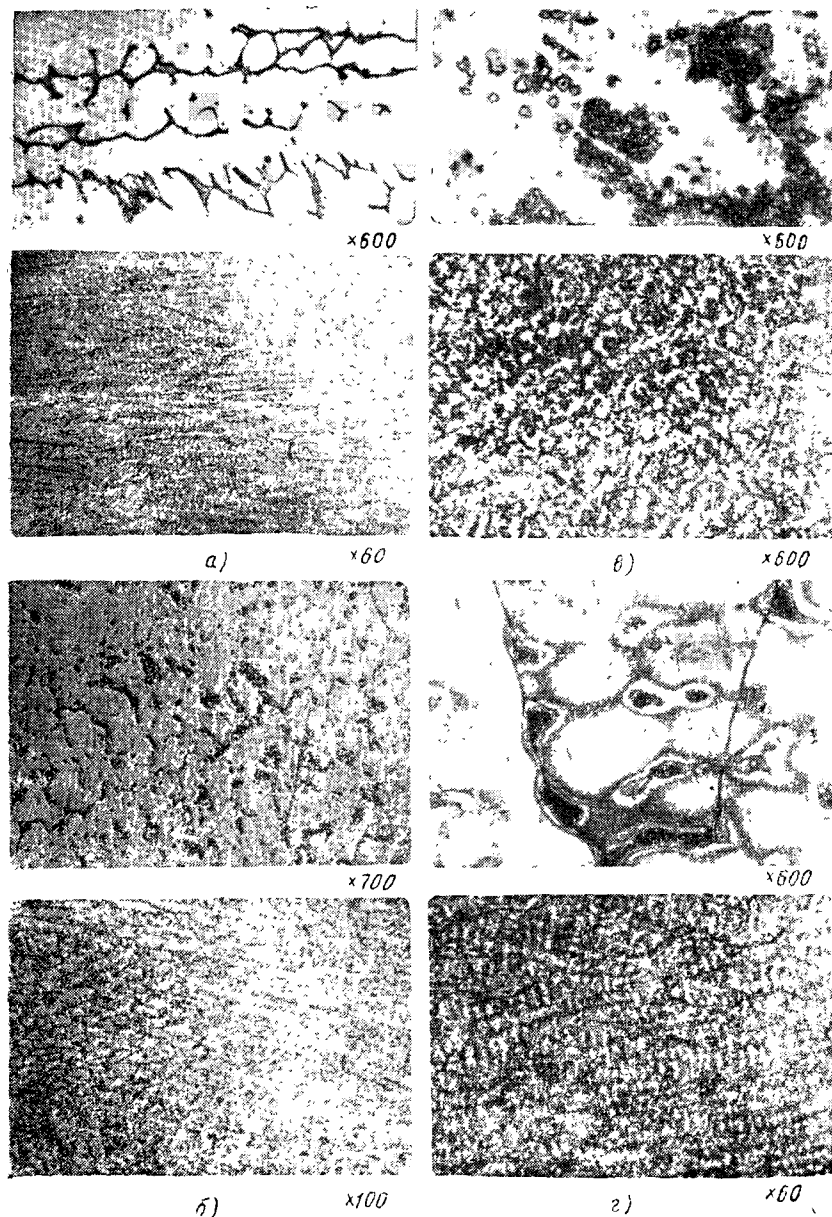
Современные представления о причинах и механизме образования горячих трещин при сварке основаны на следующих положениях [2], [7]—[13], [22]—[24]. В процессе сварки кристаллизующийся металл находится под воздействием растягивающих напряжений, возникающих и развивающихся в сварном соединении вследствие несвободной усадки шва и охлаждаемых участков неравномерно нагретого основного металла. Поэтому металл шва в процессе кристаллизации подвергается пластической деформации.

При кристаллизации сплавы проходят стадию твердо-жидкого состояния. Нижнюю часть температурного интервала кристаллизации, ограниченную сверху температурой, при которой возникает жесткий скелет из твердой фазы, а снизу — температурой солидуса, принято называть эффективным интервалом кристаллизации ΔT , [2], [11], [12] (фиг. 7).

Вследствие особого характера изменения механических свойств металла, находящегося в твердо-жидком состоянии, хрупкое межкристаллическое разрушение (образование горячих трещин) становится наиболее вероятным именно в этом интервале температур. По мере увеличения соотношения между объемами твердой и жидкой фазы пластичность металла претерпевает резкие изменения. При объеме жидкой фазы, достаточном для свободного ее перемещения в промежутках между растущими кристаллитами, пластичность двухфазного металла высока, так как полностью определяется свойствами жидкости.

С увеличением объема твердой фазы циркулирующая жидкость постепенно затрудняется и после образования жесткого каркаса кристаллитов (или заклинкивания их в процессе деформации) полностью прекращается. Деформация металла в этом состоянии приводит к хрупкому разрушению по межкристаллическим прослойкам, в которых еще не закончен процесс кристаллизации. Пластичность металла падает до весьма малых значений (десятые доли %), и сопротивление разрушению становится относительно ничтожным, оно определяется вязкостью межкристаллических прослоек и величиной их поверхностной энергии.

В процессе дальнейшего охлаждения происходит повышение вязкости и поверхностного натяжения прослоек, а их объемная прочность возрастает до таких значений, которые оказываются выше критической величины скапливающихся напряжений (сдвига) металла кристаллитов. При этом деформирование металла развивается за счет сдвиговых деформаций в объемах кристаллитов, вследствие чего пластичность резко возрастает, а характер разрушения вместе с межкристаллическим становится внутрикристаллическим [7]. Температуру, соответствующую этому переходному состоянию, принято называть эквивалентной (фиг. 8).



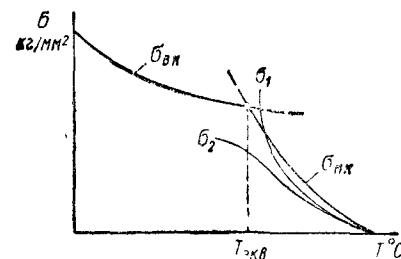
Фиг. 6. Влияние различных модификаторов на характер микроструктуры сварных швов и внутрикристаллическую ликвацию: а — сварной шов из аустенитной стали марки X19Ni9Nb с ферритной фазой; многослойная ручная дуговая наплавка электродами ЦТ-15; б — сварной шов из аустенитной стали марки X13Ni18B2B с карбидной фазой 0,16% С и 1,6% Nb; многослойная ручная дуговая сварка труб из стали ЭИ695Р (X13Ni18B2B) с толщиной стенки 50 мм электродами АЖ 13-18; в — сварной шов из никелевого сплава ЭИ437 с карбидной фазой: 0,3% С и 3% Nb; электрошлаковая сварка листов толщиной 35 мм; г — сварной шов из никелевого сплава ЭИ437 с малыми добавками циркония (0,1—0,2% Zr); электрошлаковая сварка листов толщиной 35 мм

Из фиг. 8 видно, что для образования хрупкого межкристаллического разрушения необходимо, чтобы напряжения при охлаждении металла шва вырастали интенсивнее (σ_1), чем межкристаллическая прочность ($\sigma_{мк}$). Если напряжения при охлаждении будут нарастать менее интенсивно (σ_2), то хрупкого межкристаллического разрушения, очевидно, не произойдет.

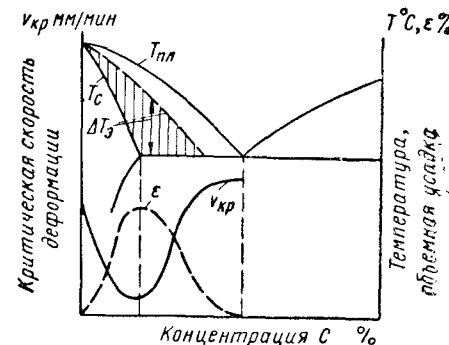
Характер изменения пластичности металла при кристаллизации показан на фиг. 9. На основе анализа изменения прочности и пластичности металла при кристаллизации, а также экспериментального определения их для ряда двойных систем сплавов (Al — Cu и Al — Si) введено понятие [7]—[9] о температурном интервале хрупкости $\Delta T_{хр}$ (см. фиг. 9). Наименьшая пластичность металла δ_{min} в этом интервале температур имеет место на завершающей стадии процесса кристаллизации. С точки зрения влияния свойств сплава на его межкристаллическую прочность представляет интерес сравнение δ_{min} с величиной усадки ϵ в конце процесса кристаллизации. Величина ϵ может быть непосредственно измерена или рассчитана, если для данного сплава известны $\Delta T_{хр}$ и коэффициент α_T термического расширения (сокращения) при температуре вблизи солидуса

$$\epsilon = \alpha_T \Delta T_{хр} \cdot 100\%.$$

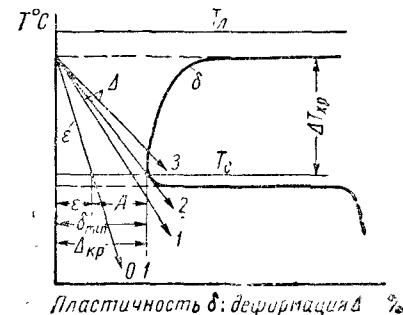
Разность между минимальной пластичностью δ_{min} и величиной линейной усадки ϵ сплава в температурном интервале хрупкости характеризует запас



Фиг. 8. Характер изменения напряжений и внутрикристаллической ($\sigma_{вк}$) и межкристаллической ($\sigma_{мк}$) прочности сплавов в процессе кристаллизации [7].



Фиг. 7. Изменение эффективного интервала кристаллизации (ΔT_{ϵ}), объемной усадки ϵ , и показателя сопротивляемости образованию горячих трещин ($v_{кр}$) при кристаллизации эвтектических сплавов в зависимости от концентрации.



Фиг. 9. Характер изменения пластичности сплавов в интервале температур кристаллизации и условия образования горячих трещин [8].

пластичности $A = \delta_{min} - \epsilon$, т. е. запас его деформационной способности и сопротивляемости образованию горячих трещин. Однако при сварке деформация Δ металла шва в процессе кристаллизации определяется не только его усадкой ϵ , но и усадкой прилегающих к нему участков основного металла. В зависимости

от формы, размеров и жесткости сварного соединения, а также режимов и технологии сварки. величина деформации Δ металла шва к концу процесса кристаллизации может оказаться либо меньше (кривая 1 на фиг. 9), либо равной (кривая 2; $\Delta_{кр} = \delta_{шн}$), либо больше (кривая 3) величины $\delta_{шн}$. В последних двух случаях образование горячих трещин будет неизбежным.

На этой теоретической схеме основаны современные количественные методы оценки сопротивляемости сварных швов образованию горячих трещин. Показателем в указанных испытаниях служит величина критической скорости деформации растяжения $v_{кр}$ металла сварных швов в процессе кристаллизации, при которой в них начинают возникать горячие трещины [9], [13]. Практика показывает, что для образования горячих трещин при сварке скорость деформации $v_{кр}$ должна быть относительно высокой (порядка 1—20 мм/мин).

Сопротивляемость сплава образованию горячих трещин тем выше, чем меньше температурный интервал хрупкости и чем больше величина минимальной пластичности в этом интервале. Например, для сплавов эвтектического типа (см. фиг. 7) изменение показателя сопротивляемости образованию горячих трещин $v_{кр}$, а также показателя запаса пластичности A в зависимости от концентрации имеет вид кривой с минимумом. Минимум $v_{кр}$ соответствует составу сплавов, который имеет наибольший эффективный температурный интервал кристаллизации (и хрупкости), а следовательно, и наибольшую величину линейной усадки ϵ . Как правило, концентрация второго элемента в этих сплавах близка к пределу его растворимости в твердом растворе при температуре солидуса. Такой характер изменения $v_{кр}$ прямым образом связан со степенью развития внутрикристаллической ликвации.

С увеличением концентрации растворенного элемента до предельной жидкие прослойки обогащаются легкоплавкой эвтектической составляющей и вследствие этого кристаллизуются при более низких температурах, т. е. в условиях, когда напряжения и деформации успевают достигнуть большей величины. В более сложных сплавах на железной и никелевой основах (особенно содержащих такие примеси, как Pb, Sn, S, P, B, Bi, Sb, Zn и др.) это может резко понизить сопротивляемость металла образованию горячих трещин. При дальнейшем увеличении концентрации второго элемента количество эвтектической составляющей в прослойках все более возрастает, а деформации накапливаемые к завершающему периоду кристаллизации, снижаются вследствие понижения температуры начала эффективного интервала кристаллизации при практически постоянной температуре солидуса. При достаточно обильном образовании эвтектики возможность свободной циркуляции жидкой фазы между кристаллитами возрастает, следовательно склонность к образованию трещин уменьшается.

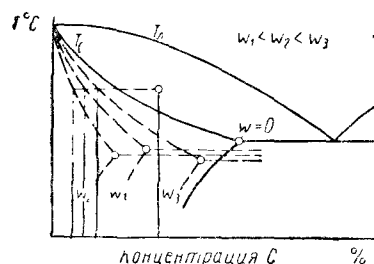
Оценку сопротивляемости сложных сплавов образованию горячих трещин по диаграммам состояния для бинарных и тройных систем можно производить только приблизительно, так как они не учитывают влияния разнообразных примесей, всегда присутствующих в технических сплавах, на температуру солидуса и свойства межкристаллических прослоек. Кроме того по условиям своего построения диаграммы состояния не отражают неравновесности кристаллизации металла в реальных условиях.

Исходя из описанной выше сложной зависимости степени внутрикристаллической ликвации от скорости охлаждения (см. фиг. 4) можно показать влияние последней на положение точки предельной растворимости второго элемента на бинарной диаграмме состояния (фиг. 10). С увеличением скорости охлаждения от 0 до w_1 точка предельной растворимости будет смещаться от равновесной в сторону меньших концентраций до тех пор, пока будет преобладать диффузионный механизм кристаллизации. При скорости w_2 , которой соответствует наибольшая степень ликвации, предельная растворимость будет наименьшей, в дальнейшем с увеличением скорости охлаждения (w_3) и развитием процесса кристаллизации диффузионной кристаллизации она будет вновь смещаться к равновесному положению. Вследствие кинетического эффекта увеличение скорости охлаждения будет также приводить к снижению температуры солидуса.

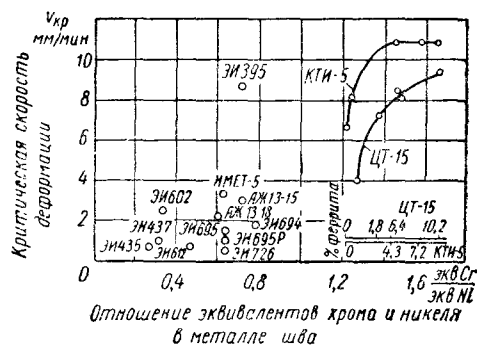
Основные металлургические пути борьбы с горячими трещинами в сварных швах совпадают с перечисленными выше мерами подавления столбчатой кристаллизации. Кроме этого, с развитием металлургии все эффективнее удается исполь-

зовать путь повышения чистоты сплавов по вредным примесям. Снизить склонность к образованию трещин повышением содержания примесей, образующих эвтектику (серы, бора и др.), практически невозможно из-за резкого снижения пластичности сплавов при низких температурах.

Фиг. 11 иллюстрирует наиболее эффективные способы повышения сопротивляемости металла шва образованию горячих трещин при сварке жаропрочных аустенитных сталей и никелевых сплавов. При сварке аустенитных сталей типа X18H9, X18H12, X16H13 и X14H14 с успехом применяются электроды типа 1X18H9Б (ЦТ-15, ЗИО-3 и др.) и 1X19H12М2Ф (КТИ-5); они дают наплавленный металл с различным содержанием ферритной фазы, оказывающей модифицирующее действие на кристаллическую структуру и предупреждающей транс-кристаллизацию (см. фиг. 6, а). Показатель $v_{кр}$ сопротивляемости наплавленного металла образованию горячих трещин с увеличением ферритной фазы от 0 до 10% возрастает с 4—7 до 9—11 мм/мин.



Фиг. 10. Влияние скорости охлаждения w на смещение температуры солидуса T_c и предела растворимости второго компонента при кристаллизации эвтектических сплавов в неравновесных условиях (схема).



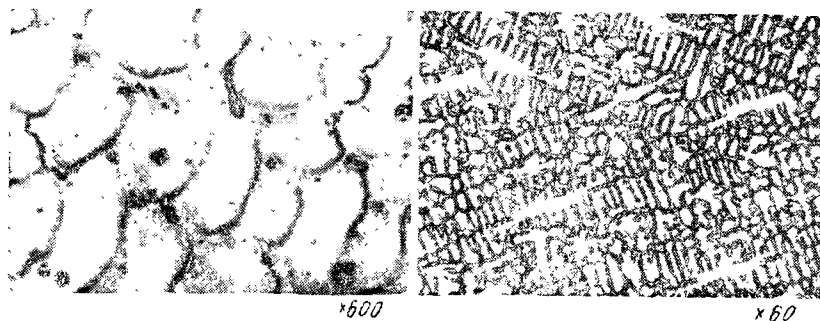
Фиг. 11. Сопротивляемость аустенитных сталей и никелевых сплавов образованию горячих трещин при дуговой сварке (методика ИМЕТ-2): $\% Cr = \% Cr + \% Mo + 1,5 \times \% Si + 0,5 \times \% Nb + \% V$; $\% Ni = \% Ni + 30 \times \% C + 0,5 \times \% Mn$.

С повышением степени аустенитности (при отношении эквивалентов хрома и никеля значительно менее 1—1,2) сопротивляемость сварных швов образованию горячих трещин резко снижается ($v_{кр} < 2$ мм/мин). Это имеет место при использовании электродных проволок из сталей типа 1X13H15Б (ЭИ694), 1X13H18B2Б (ЭИ695) — особенно с бором (ЭИ695Р и ЭИ726) и 1X15H35B3Т (ЭИ612), а также из сплавов на основе никеля X20H80Т (ЭИ435) и X20H80ТЗ (ЭИ437).

Для борьбы с образованием горячих трещин при сварке указанных сталей и сплавов применяют совместное легирование металла шва углеродом (0,1—0,3%) и ниобием (1—3%) в соотношении 1 : 10, которое является стехиометрическим для карбида ниобия NbC (электроды АЖ-13-15 с проволокой типа 2X13H15Б2 — $v_{кр} > 3$; АЖ-13-18 с проволокой типа 2X13H18B2Б; КТИ-7 с проволокой типа 3X15H35B3ТБЗ и X20H80M2Б (ЭИ602) — $v_{кр} > 2$). Выпадение первичных карбидов NbC из жидкого расплава предотвращает образование столбчатой структуры при кристаллизации шва (см. фиг. 6, б и в). Содержание углерода и ниобия устанавливают тем выше, чем интенсивнее охлаждение, больше жесткость сварного соединения и степень аустенитности металла.

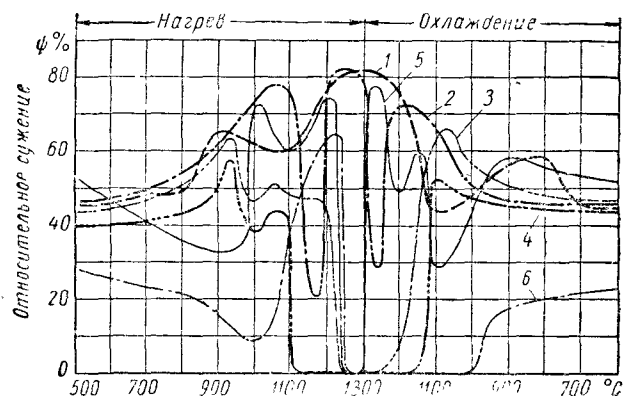
Другим способом борьбы с горячими трещинами является легирование металла шва вольфрамом и молибденом (электродная проволока типа X15H25M6 — $v_{кр} > 8$, типа X20H70M10 и типа X25H60B15 — $v_{кр} > 3$). Положительная роль этих элементов может быть, в частности, объяснена тем, что они частично или полностью подавляют явление полигонизации, с которым

В последнее время некоторые исследователи связывают образование горячих трещин при сварке чисто аустенитных сталей и никелевых сплавов [14], [22]. Процесс полигонизации развивается непосредственно вслед за процессом кристаллизации и приводит к дроблению уже сформировавшейся столбчатой



Фиг. 12. Микроструктура металла шва при автоматической дуговой сварке никелевого сплава марки X25H60B15 под флюсом.

кристаллической структуры и образованию новых зерен, границы которых представляют собой скопление субмикроскопических дефектов (дырок) кристаллической решетки. При определенных условиях эти границы могут развиваться в межкристаллические микротрещины. Механизм образования новых границ имеет дислокационный характер. Полигонизация развивается тем интенсивнее,



Фиг. 13. Изменение пластичности аустенитных сталей в околошовной зоне при нагреве и охлаждении в условиях термического цикла ручной дуговой сварки корневого слоя шва стыкового соединения толщиной 50 мм с V-образной разделкой кромок: 1 — 1X18H9T; 2 — 1X13H18B2B (ЭИ695); 3 — 1X13H18B2B с 0,005% бора (ЭИ695Р); 4 — то же, с 0,011% бора (ЭИ726); 5 — 1X15H35B3T (ЭИ612) с мелким исходным зерном; 6 — то же, с крупным зерном.

чем выше напряжения в металле вследствие усадки. Полигонизация возможна как при медленном охлаждении (литки), так и при быстром (сварные швы). В литом металле с четкой текстурой роста, выраженной наличием столбчатых кристаллов с единообразной ориентировкой, новые кристаллы также имеют столбчатую ориентацию (см. фиг. 5). При отсутствии строгой текстуры новые границы образуют кристаллы полиэдрической формы. Полигонизация имеет место в сплавах типа твердого раствора с узким температурным интервалом

кристаллизации, например в системах Ni — Fe (до 75—80%), Ni — Co (до 90%), Ni — W (до 30%), Cu — Al (до 8%) и т. д. Полигонизации препятствуют: легирование W, Mo, Co и другими элементами, которые вследствие повышенной энергии активации диффузии понижают диффузионную подвижность атомов металлической основы сплава (фиг. 12); образование второй фазы (фиг. 6, а—е); развитие внутрикристаллической неоднородности (например, в сплавах типа Ni — Ti, Ni — Nb, Cu — Sb, Cu — Sn при содержании второго компонента свыше 3%); микродефекты литой структуры (поры, неметаллические включения и т. д.).

Образование горячих трещин при сварке возможно также и в околошовной зоне вследствие интенсивного роста зерен, выделения по их границам легкоплавких составляющих и вредных примесей и последующего их частичного оплавления.

На фиг. 13 показано изменение пластичности металла околошовной зоны на протяжении термического цикла сварки для сталей марок 1X18H9T (1), 1X13H18B2B без бора (ЭИ695) (2), с 0,005% бора (ЭИ695Р) (3) и 0,011% бора (ЭИ726) (4), а также стали марки 1X15H35B3T (ЭИ612) с мелким (5) и крупным (6) исходным зерном. Резкое уменьшение пластичности при высоких температурах (1000—1300°) нагрева и при охлаждении тем шире и глубже, чем выше степень аустенитности стали (кривые 1, 2 и 5), больше содержание бора (2, 3, 4) и крупнее исходное зерно (5 и 6).

ФАЗОВЫЕ И СТРУКТУРНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ПРИ СВАРКЕ. ХОЛОДНЫЕ ТРЕЩИНЫ

При сварке полиморфных металлов и их сплавов в шве и зоне термического влияния протекают фазовые и структурные превращения. Полной вторичной перекристаллизации подвергаются шов и околошовная зона, нагреваемая при сварке выше температуры аллотропического превращения. В условиях быстрого охлаждения в этих участках возможна закалка с образованием метастабильных структур и резким снижением пластических свойств сварного соединения (мартенсит в легированных сталях перлитного и мартенситного класса, углеродистых сталях, титане, цирконии и их сплавах). В околошовной зоне вследствие высокотемпературного нагрева наблюдается перегрев и интенсивный рост зерна. В этой зоне пластические свойства основного металла обычно снижаются наиболее резко, особенно в тех случаях, когда перегрев сочетается с последующей закалкой.

За участком полной перекристаллизации последовательно расположены участки неполной перекристаллизации (например, в интервале $A_{c3} - A_{c1}$ для стали), высокого отпуска и рекристаллизации низкотемпературной фазы. В последних двух участках основной металл подвергается разупрочнению, если перед сваркой он был термически обработан (закалка с отпуском) или имел наклеп.

При сварке металлов, не претерпевающих фазовых превращений (Mo, Ta, Nb, W и др.), свойства сварных соединений, в основном, определяются степенью развития процессов рекристаллизации и роста зерна.

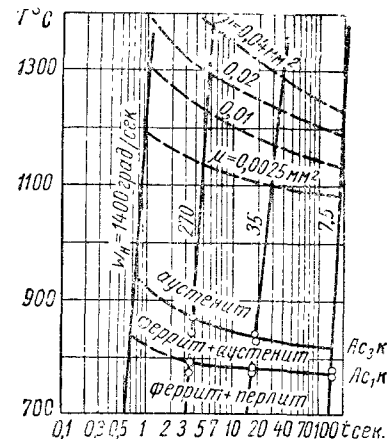
Особенности протекания фазовых и структурных превращений в околошовной зоне при сварке наиболее детально изучены на легированных сталях перлитного и мартенситного классов и на углеродистых [15]—[18] и др.

Условия нагрева при сварке плавлением существенно отличаются от условий печной термообработки. Если при термообработке температура нагрева обычно превышает точку A_{c3} не более чем на 100—150°, то при сварке максимальные температуры нагрева околошовной зоны близки к температуре плавления. Скорости нагрева при сварке в десятки и сотни раз выше, чем при печной термообработке. Вследствие этого при сварке происходит интенсивный рост зерна аустенита, а степень его гомогенизации, как правило, оказывается невысокой. При охлаждении металла это существенно сказывается на устойчивости аустенита и температурных интервалах его превращения.

С увеличением скорости нагрева температуры фазовой перекристаллизации стали (A_{c1} и A_{c3}) постепенно повышаются, а интервал $A_{c1} - A_{c3}$

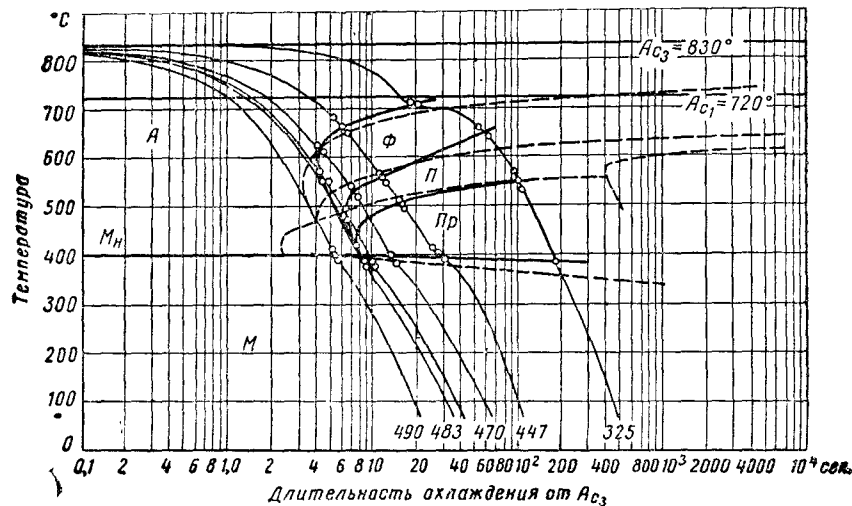
расширяется (фиг. 14). Чем выше температура конца превращения перлита Ac_{1k} в феррит Ac_{3k} в аустенит, тем мельче начальное зерно аустенита и выше температура начала интенсивного роста зерна. В сталях, легированных карбидообразующими элементами, температура Ac_3 повышается в большей степени, а рост зерна начинается при более высоких температурах, чем в сталях с малым количеством карбидообразующих элементов.

Наиболее интенсивный рост зерна аустенита в околошовной зоне происходит в период нагрева при температурах, близких к максимальной температуре T_{max} сварочного цикла. Рост зерна продолжается и при охлаждении, но с меньшей интенсивностью (фиг. 15).



Неполная гомогенизация аустенита в сталях 45 и 23Г при сварке сказывается на повышении температуры начала образования феррита, перлита и промежуточных структур. Так, например, в стали 45 температура образования феррита повышается на 50°, а в стали 23Г на 20°.

При сварке стали 40Х относительное повышение устойчивости аустенита вследствие роста зерна обнаруживается только на режимах с медленным охлаждением в области частичной закалки (см. табл. 1). В условиях быстрого охлаждения происходит снижение устойчивости аустенита, так как вследствие нецелесообразного растворения карбидов и весьма малой степени гомогенизации аустенита твердый раствор оказывается сильно обедненным углеродом (при этих режимах



Фиг. 18. Диаграмма изотермического превращения аустенита в стали 23Г (0,23% С и 1,6% Мн) при сварке (сплошные кривые) и термообработке (пунктирные). Условия нагрева см. в табл. 1. А — аустенит; Ф — феррит; П — перлит; Пр — промежуточные структуры; М — мартенсит; цифры у каждой кривой охлаждения — твердость НV.

рост зерна в стали 40Х ограничен). На диаграмме изотермического превращения области образования феррита и промежуточных структур оказываются сдвинутыми в сторону больших скоростей охлаждения. Полностью мартенситная структура образуется при скорости охлаждения 36 град/сек., т. е. в 1,6 раза большей, чем при термообработке (22 град/сек.).

Итак, в условиях сварки имеют место две противоположные по результатам тенденции: высокая температура нагрева металла в околошовной зоне способствует росту зерна, особенно при большой длительности пребывания выше A_{c3} , и увеличивает устойчивость аустенита. Быстрый нагрев и малая длительность пребывания выше A_{c3} понижают степень гомогенизации и уменьшают устойчивость аустенита. В сталях без карбидообразующих элементов или с малым их содержанием преимущественное развитие получает первая тенденция, что приводит к смещению области частичной закалки в сторону меньших скоростей охлаждения. В сталях, легированных карбидообразующими элементами, возможен противоположный результат вследствие проявления второй тенденции.

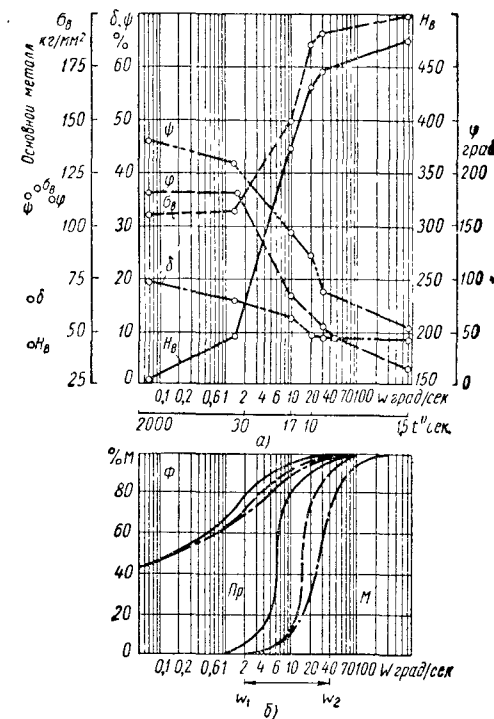
Построение специальных диаграмм изотермического превращения для условий сварки не всегда может быть оправдано как из-за значительной трудоемкости, так и вследствие необходимости учета большого разнообразия условий нагрева и охлаждения при сварке, без чего диаграмма не могла бы считаться универсальной. Поэтому для технологических целей достаточно пользоваться результатами стандартных испытаний стали по методикам ИМЕТ-1 или валько-

вой пробы МВТУ, которые заключаются в определении конечных изменений механических свойств и структуры металла в околошовной зоне в зависимости от скорости охлаждения и длительности пребывания выше A_{c3} (фиг. 19). По этим данным можно устанавливать интервал скоростей охлаждения w_1 — w_2 , ограничивающий область частичной закалки стали в околошовной зоне, и выбирать расчетное значение w по допускаемому проценту мартенсита в структуре и благоприятному сочетанию механических свойств.

На фиг. 19, б для сравнения с околошовной зоной показано распределение структурных составляющих в соседних участках зоны полной перекристаллизации с максимальными температурами термического цикла сварки $T_{max} = 1050^\circ$ и $T_{max} = 950^\circ$. С уменьшением T_{max} ограничение роста зерна приводит к снижению устойчивости аустенита. По сравнению с околошовной зоной ($T_{max} = 1350^\circ$) в этих участках зоны полной перекристаллизации содержание мартенсита при одинаковых скоростях охлаждения оказывается менее высоким. Этим обычно обусловлено неравномерное распределение мартенсита и твердости по ширине зоны перекристаллизации в сварных соединениях.

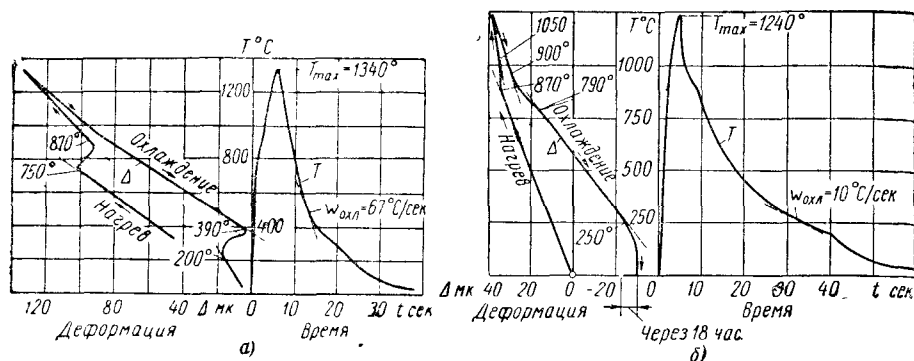
Образование холодных трещин при сварке в металле шва и околошовной зоны обусловлено резким изменением механических свойств и характера напряженного состояния в процессе фазовых и структурных превращений. Например, в сталях перлитного и мартенситного класса эти изменения связаны с мартенситным, а иногда и промежуточным превращением; в титане; цирконии и их сплавах — с гидридным превращением. Превращения этого типа сопровождаются резким изменением удельного объема (фиг. 20). Поэтому при сварке металлов и сплавов, претерпевающих фазовые и структурные превращения, развитие напряжений первого рода обусловлено не только неравномерным нагревом и охлаждением отдельных участков сварного соединения и разницей в их теплофизических и механических свойствах, но и изменением удельного объема в процессе фазовых превращений.

В отличие от напряжений первого рода, уравнивающих в макрорежимах металла, напряжения второго рода уравниваются в объемах отдельных зерен или кристаллов. К их возникновению приводят изменения удельного объема металла и коэффициента объемного расширения при фазовом превращении; анизотропность коэффициента объемного расширения соседних



Фиг. 19. Изменение механических свойств и структуры стали 23Г в околошовной зоне в зависимости от скорости охлаждения w (при 500—600°) и длительности t'' (методика ИМЕТ-1). а — изменение механических свойств в околошовной зоне; б — структурные превращения: сплошные кривые — околошовная зона с $T_{max} = 1350^\circ$; пунктирные — соседний участок зоны полной перекристаллизации с $T_{max} = 1150^\circ$; штрихпунктирные — то же, с $T_{max} = 950^\circ$.

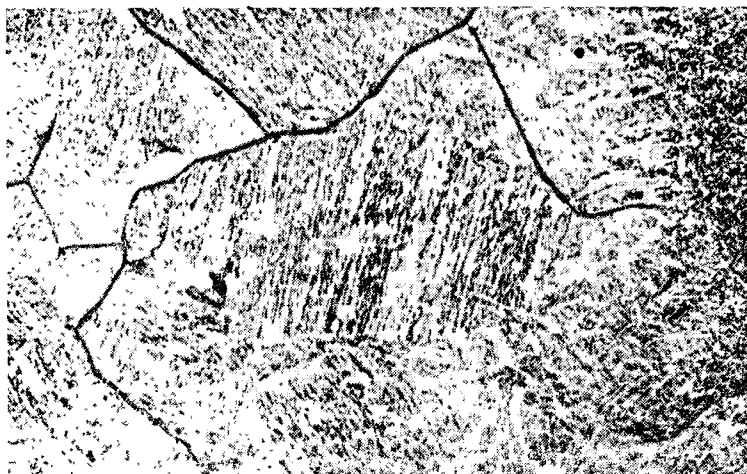
зерен с разной ориентировкой структуры, вызывающая напряжение между зернами; разница в сопротивляемости деформации исчезающей и образующейся фаз, которая обуславливает неравномерную релаксацию напряжений первого



Фиг. 20. Характер изменения dilatометрических кривых при мартенситном превращении в стали 23Г (а) и гидридном превращении в техническом титане (б) в условиях термического цикла сварки.

рода и тем самым вызывает концентрацию напряжений второго рода в отдельных микрообъемах зерен.

Учитывая резкое снижение пластических свойств металла шва и околошовной зоны вследствие перегрева и закалки, можно предполагать, что напряжения



Фиг. 21. Холодные трещины в околошовной зоне стали 40Х.

второго рода могут оказывать существенное влияние на сопротивляемость металла деформациям под действием напряжений первого рода.

Холодные трещины имеют характер хрупкого разрушения, возникающего и распространяющегося как по границам, так и по телу зерна (фиг. 21). Чаще всего они зарождаются в местах стыков трех соседних зерен, где растягивающие напряжения второго рода могут достигать наиболее высоких значений

а металл может подвергаться всестороннему растяжению, исключающему возможность релаксации напряжений за счет пластической деформации. Распространено мнение, что разрушение возникает в местах прослоек остаточного аустенита, располагающихся преимущественно у границ зерен, т. е. в зонах наибольшей неупорядоченности структуры. Мартенситное превращение, наоборот, вследствие его когерентности начинается в центральных участках зерен, т. е. в зонах с наибольшим порядком структуры металла. С ростом мартенситной фазы и утонением прослоек остаточного аустенита должно наблюдаться торможение пластических деформаций в аустените и накопление напряжений [20].

Если учесть полиэдрический характер строения зерен, можно показать, что в процессе пластической деформации комплекса таких зерен релаксация касательных напряжений по одним границам будет приводить к накоплению нормальных напряжений по другим и к последующему их разрушению.

Температурный интервал возникновения холодных трещин ограничен сверху температурой начала мартенситного или гидридного превращения (100—300°) и распространяется вниз в область минусовых температур. Однако, как показывает практика, образование холодных трещин наиболее вероятно на завершающих этапах превращения, особенно в течение некоторого времени после полного охлаждения соединения. Этот вывод подтверждается тем, что экспериментальное воспроизведение хрупкого разрушения в процессе превращения аустенита оказывается возможным лишь при условии деформирования металла с весьма малыми скоростями (0,1—0,01 мм/мин). С одной стороны, это обусловлено относительно высокими свойствами границ зерна при повышенных температурах, а с другой, длительным временем релаксации сдвигающих напряжений по границам (10²—10⁶ сек. [20]).

В образовании холодных трещин при сварке сталей перлитного и мартенситного класса существенную роль отводит водороду [25], [26]. В процессе превращения аустенита атомарный водород выделяется из твердого раствора в микрообъемы (пустоты), соединяется в молекулы и вследствие постепенного повышения давления создает в окружающих объемах металла высокие напряжения второго рода. Охрупчивающее действие водорода рассматривается также и в связи с возможностью адсорбирования его на поверхностях металла в пустотах и вершине распространяющихся трещин.

Как было показано выше, склонность сталей перлитного класса к образованию холодных трещин при сварке определяется их составом и оценивается интервалом скоростей охлаждения $w_1 - w_2$, ограничивающих область частичной закалки, и величиной этих скоростей. Изменяя в указанных пределах скорость охлаждения путем соответствующего выбора режима, технологии сварки, формы и размеров сварного соединения, можно регулировать количество мартенсита в металле шва и околошовной зоне. При сварке сталей повышенной прочности для предупреждения образования холодных трещин содержание мартенсита в металле околошовной зоны стремятся ограничивать 20—30%. Если изделие после сварки подвергается термообработке, то в зависимости от жесткости конструкции допустимое содержание мартенсита может быть повышено до 50%.

В табл. 2 приведена сравнительная характеристика склонности некоторых марок стали к образованию холодных трещин при сварке соединений с регулируемой скоростью охлаждения («СТС») [21]. Сварное соединение представляет накладку размером 75 × 75 мм, помещенную на основную пластину большего размера и обвариваемую по контуру угловыми швами, — сначала фланговыми (связующими), затем лобовыми (контрольными). Толщина элементов: 16 + 16 или 25 + 25 мм. Стали сваривались в состоянии закалки с высоким отпуском.

Критическим скоростям охлаждения $w_{кр}$, при которых в околошовной зоне появляются холодные трещины, соответствуют структуры частичной закалки ($w_1 < w_{кр} < w_2$) с высоким процентом мартенсита и высокой твердостью. Склонность стали к образованию трещин тем выше, чем ниже температура конца мартенситного превращения. Эти значения $w_{кр}$ могут быть положены в основу расчета режимов и технологии сварки. Однако следует учитывать, что при сварке более жестких соединений $w_{кр}$ будут меньше. Например, при сварке

2. Сравнительная характеристика склонности сталей к образованию холодных трещин

Марка стали	Толщина пластины и наклад- ки в мм	Скорость охлаждения в град/сек при 500°, соответствующая			Темпера- тура кон- ца пре- вращения мартен- сита $T_{M\kappa}$ в °C	Среднее содержа- ние мар- тенсита по шири- не около- шовной зоны при $w_{\kappa p}$ в %	Твердость HV около- шовной зоны при $w_{\kappa p}$
		появле- нию мар- тенсита w_1	появле- нию трещин w_2, p	100% мартен- сита w_3			
40X 35XГСА	16+16	0,3—1 0,5—1	12	15—20 10—15	150—160 150—170	70 90	542 548
20XГС	25+25	3—4	15	35—45	180—200	65	500
30 ХМ		0,2—0,5	17	30—40		200—220	50
45		8—10	28	65—70	80		488
23Г		2—3		30—40	60		395
2ХЗМВФ (ЭП415)		0,1—0,5		Нет	220—250		
Примечание Структура стали ЭП415 — игольчатый троостит + мартенсит							

крестовых соединений с той же толщиной элементов $W_{\kappa p}$ составляют: для сталей 40X и 35XГСА — 4 град/сек, для стали 20XГС и 23Г — 7 град/сек.

Основными мерами борьбы с холодными трещинами при сварке сталей повышенной прочности являются: подогрев свариваемых изделий, применение низководородных электродных покрытий и флюсов, отпуск или отжиг перед сваркой, применение электродной проволоки из стали с пониженным содержанием углерода и дополнительным легированием карбидообразующими элементами или аустенитных электродов, отпуск или отжиг сварных изделий непосредственно после сварки в промежутках между сваркой отдельных жестких элементов.

При сварке титана и его сплавов наиболее эффективной мерой предупреждения холодных трещин является ограничение содержания водорода в основном металле и шве до 0,01—0,005%. При сварке такого металла гидридное превращение не приводит к опасным последствиям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Уманский Я. С., Финкельштейн В. Н., Блантер М. Б., Кишкин С. Т., Фастов Н. С., Горелик С. С., Физическое металловедение, Металлургиздат, 1955.
2. Бочвар А. А., Металловедение, Metallurgizdat, 1956 и 1945.
3. Попов А. А., К теории кристаллизации металлов, сборник «Проблемы металловедения и термической обработки», Машгиз, 1956.
4. Мовчан Б. А. и Позняк Л. А., Радиографическое исследование внутрикристаллической неоднородности серы и фосфора в сварных швах, «Автоматическая сварка» № 4, 1956.
5. Брук Б. И., Радиоактивные изотопы в металлургии и металловедении сварки, Судпромгиз, 1959.
6. Алов А. А., Вопросы теории сварочных процессов, Машгиз, 1959.
7. Прохоров Н. Н., О межкристаллической прочности металлов при сварке, «Известия АН СССР, ОТН» № 11, 1955.
8. Прохоров Н. Н., и Бочай М. П., Механические свойства алюминиевых сплавов в интервале температур кристаллизации при сварке, «Сварочное производство» № 2, 1958.
9. Прохоров Н. Н., Проблемы прочности металлов при сварке в процессе кристаллизации, «Сварочное производство» № 6, 1956.
10. Любавский К. В. и др., Новые технологии сварки, Машгиз, 1955.
11. Медовар В. И., Сварка хромоникелевых аустенитных сталей, Машгиз, 1953.
12. Лашко П. Ф. и Лашко-Авакян С. В., Металловедение сварки (некоторые вопросы), Машгиз, 1954.

13. Шоршоров М. Х. и Селых В. С., Об оценке склонности металла швов к образованию горячих трещин при сварке, «Сварочное производство» № 8, 1958.
14. Мовчан Б. А., Полигонизация литых металлов и сплавов, «Известия АН СССР, ОТН» № 10, 1958.
15. Рыкалин Н. Н., Расчеты тепловых процессов при сварке, Машгиз, 1951.
16. Шоршоров М. Х., Смирнов Б. А. и Белов В. В., Особенности превращения аустенита при сварке, «Сварочное производство» № 11, 1959.
17. Шоршоров М. Х., Клебанов Г. Н. и Гушина Л. С., Исследование кинетики роста зерна и изменений структуры и механических свойств низколегированной стали в околошовной зоне, «Сварочное производство» № 9, 1956.
18. Клебанов Г. Н., Влияние термического цикла сварки на механические свойства низколегированной стали в околошовной зоне, «Сварочное производство» № 5, 1958.
19. Шоршоров М. Х. и Назаров Г. В., Сварка титана и его сплавов, Машгиз, 1959.
20. Прохоров Н. Н., Макаров Э. Л. и Якушин Б. Ф., Прочность стали в процессе превращения аустенита, «Сварочное производство» № 8, 1959.
21. Рыкалин Н. Н. и Шоршоров М. Х., Наука о сварке в Великобритании, «Известия АН СССР, ОТН» № 10, 1957.
22. Мовчан Б. А., О причинах и механизме горячих трещин в сварных швах с однофазной аустенитной структурой, «Автоматическая сварка» № 6, 1959.
23. Шоршоров М. Х., Селых В. С., Земзин В. Н. и Рунов А. Е., Влияние ферритной фазы на сопротивляемость аустенитных швов образованию горячих трещин, «Сварочное производство» № 1, 1960.
24. Петров Г. Л. и Земзин В. Н., Электроды для сварки жаропрочных сталей, ЛДНТИ Ленинград, 1956.
25. Макара А. М. и Слупкая Т. М., О стойкости околошовной зоны среднелегированных сталей против образования трещин при сварке на постоянном и переменном токе, «Автоматическая сварка» № 6, 1956.
26. Макара А. М., Лакомский В. И. и Жовницкий И. П., Исследование распределения водорода в сварных соединениях среднелегированных сталей с аустенитными и ферритными швами, «Автоматическая сварка» № 11, 1958.

ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ СВАРКИ И РЕЗКИ

ГЛАВА V

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

СВОЙСТВА СВАРОЧНОЙ ДУГИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ИСТОЧНИКАМ ПИТАНИЯ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ

Электрические характеристики сварочной дуги

Совокупность свойств сварочной дуги, в первую очередь ее электрические характеристики, имеет важное значение для работы сварочного оборудования и определения требований к нему.

Электрическая дуга является мощным разрядом электричества в сильно ионизированной смеси газов и паров различных материалов, к которым в первую очередь относится материал электродов, электродных покрытий или флюсов.

К числу основных параметров, характеризующих общие свойства различных видов сварочной дуги (открытой, защищенной и закрытой) переменного или постоянного тока с плавящимся или неплавящимся электродом, относятся напряжение, ток и длина дуги.

Сварочная дуга как потребитель энергии или как нагрузка и источник ее питания (сварочный трансформатор, генератор, выпрямитель и т. п.) образуют взаимно связанную энергетическую систему. Различают два состояния работы этой системы.

Работа в статическом режиме, когда напряжение и ток в системе в течение достаточно длительного времени не изменяют своей величины. Графическое изображение зависимости между напряжением и током дуги или источника питания в установленном (статическом) состоянии называются соответственно статической вольтамперной характеристикой дуги или внешней характеристикой источника питания.

Следовательно, основные статические свойства энергетической системы при сварке выражаются двумя независимыми электрическими характеристиками: статической (вольтамперной) характеристикой дуги и внешней характеристикой источника питания.

Работа в переходном (динамическом) режиме, когда напряжение и ток в системе изменяют свою величину под влиянием внешних воздействий на систему или в результате изменения каких-либо ее параметров. Графическое изображение зависимости между мгновенными значениями напряжения и тока дуги или источника питания в неустановившемся (динамическом) режиме называются соответственно динамической характеристикой дуги или источника питания.

Статическая характеристика дуги $U_d = f(I_d)$ определяется свойствами дуги как нелинейного элемента электрической цепи, сопротивление которой зависит от тока.

Ионизированный газовый промежуток, в котором происходит дуговой разряд, можно рассматривать как газовый проводник, проводимость которого обусловливается наличием в нем электронов и ионов. Этот газовый проводник по длине разделяется на три последовательных области или участка, ограниченные протяженностью и характером процессов, происходящих в них.

На поверхности торца электрода, имеющем в данный момент отрицательную полярность и называемом *катодом*, имеется локализованное наиболее нагретое активное катодное пятно, которое проводит весь ток дуги.

Вблизи катода расположена катодная область, протяженность которой l_k приблизительно равна длине свободного пробега электрона, т. е. $\approx 10^{-5}$ см.

Средняя часть газового промежутка, называемая положительным столбом дуги, по своей протяженности l_c практически равна общей длине дуги, т. е. $l_c \approx l_d$. Непосредственно к положительному полюсу дуги прилегает анодная область, протяженность l_a которой составляет $10^{-3} - 10^{-4}$ см. На электроде, имеющем положительную полярность (*анод*) также имеется локализованное активное анодное пятно.

Первичная ионизация газового промежутка, в котором происходит дуговой разряд, возникает под действием термоэлектронной и автоэлектронной эмиссии с катода, т. е. в результате испускания или вырывания из твердого тела (электрода) свободных электронов под влиянием нагрева и действия электрического поля вблизи катода. В столбе дуги ионизация газовых молекул и атомов происходит главным образом вследствие интенсивного нагрева в результате преобразования электрической энергии разряда в тепловую. Температура газа в столбе дуги достигает $6000 - 8000^\circ$.

Напряженность электрического поля по длине дуги неравномерна, что обуславливается наличием в газовом промежутке объемных зарядов. На границе катодного пространства положительные ионы образуют объемный заряд, создающий разность потенциалов U_k , называемую катодным падением напряжения. Как показали исследования, в столбе дуги объемные заряды отсутствуют, т. е. электроны и ионы распределены равномерно вдоль его длины. Поэтому напряженность электрического поля E_c и градиент потенциала в столбе дуги могут быть приняты примерно постоянными, а падение напряжения U_c в столбе дуги — пропорциональным его длине. На границе анодного пространства образуется отрицательный объемный заряд, создающий разность потенциалов U_a , называемую анодным падением напряжения.

Таким образом, напряжение дуги складывается из трех составляющих:

$$U_d = U_k + U_c + U_a = U_{ka} + U_c = U_{ka} + E_c l_d,$$

где $U_{ka} = U_k + U_a$ — суммарное падение напряжения в катодной и анодной областях; E_c — напряженность электрического поля в столбе дуги; l_d — длина дуги, равная приблизительно длине столба дуги.

С изменением тока изменяются размеры активных пятен, поперечное сечение, плотность тока и электропроводность столба дуги. Вследствие этого изменяются сопротивление, градиент потенциала и падение напряжения в столбе дуги.

Зависимость общего сопротивления дуги от сварочного тока обуславливает, в свою очередь, следующую нелинейную зависимость напряжения от тока дуги, определяющую форму статической характеристики дуги $U_d = f(I_d)$:

а) При малых значениях плотности тока в электроде, т. е. при маломощных дугах, сумма анодного и катодного падений напряжения не зависит от тока. Падение напряжения в столбе дуги уменьшается с увеличением тока, так как площадь сечения и электропроводность увеличиваются, а плотность тока и градиент потенциала в столбе дуги уменьшаются. Статическая характеристика дуги $U_d = f(I_d)$ при таких режимах будет падающей, так как напряжение дуги уменьшается с увеличением тока.

б) В обычных условиях сварки для большинства применяемых режимов (при $I_d > 100$ а и плотности тока в электроде ≤ 100 а/мм²) сумма анодного и катодного падений напряжения также может быть принята постоянной. Площадь поперечного сечения столба дуги увеличится пропорционально току, а электропроводность изменится мало. Вследствие этого сопротивление столба дуги изменится обратно пропорционально току, а напряжение электрического поля и падение напряжения в столбе дуги не зависят от тока. Следовательно, в большинстве случаев сварки

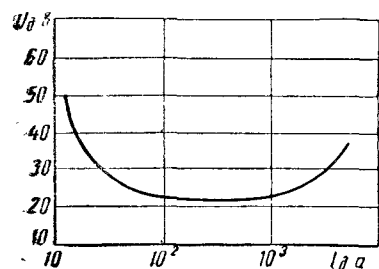
$$U_d = U_{ka} + E_c l_d = f(I_d) = \text{const},$$

т. е. напряжение дуги практически не зависит от тока.

Значения $U_{ка}$ и E_c , необходимые для определения напряжения дуги при заданной ее длине, приведены в табл. 1.

1. Значения $U_{ка}$ и E_c для различных видов сварочной дуги

Материал		$U_{ка}$ в в	E_c в в/мм	Род тока и полярность	Вид дуги	Режим
элек- трода	изделия					
Сталь	Сталь	17—19	2,3—2,5	Постоянный ток, прямая полярность	Откры- тая	$d_s = 4 \text{ мм};$ $I_0 = 100 \div 600 \text{ а}$
		18—20	3,0—3,5			$d_s = 2.5 \text{ мм};$ $I_0 = 200 \div 700 \text{ а}$
		16—18	3,2—3,8	Постоянный ток, обратная полярность	Под флю- сом АН—348	$d_s = 2.5 \text{ мм};$ $I_0 = 300 \div 540 \text{ а}$
		20—22	3,8—4,2	Постоянный ток, прямая полярность		$d_s = 4 \text{ мм};$ $I_0 = 400 \text{ а}$
		23—25	4,1—4,3		Под флю- сом ОСЦ—45	$d_s = 4 \text{ мм};$ $I_0 = 400 \text{ а}$
		20—22	3,3—3,7	Переменный ток		$d_s = 2 \text{ мм};$ $I_0 = 350 \div 700 \text{ а};$ $d_s = 5 \text{ мм};$ $I_0 = 500 \div 1200 \text{ а}$
Уголь	Сталь	18	1,8	Постоянный ток, прямая полярность	Откры- тая	$I_0 \text{ до } 700 \text{ а}$
		14—16	2,2			$I_0 = 200 \div 800 \text{ а}$
Воль- фрам	Cr—Ni	8—10	1,0—1,2		В аргоне	$I_0 = 50 \div 200 \text{ а}$



Фиг. 1. Общий вид U-образной статической характеристики дуги $U_0 = f(I_0)$ при $l_0 = \text{const.}$

в) При большой плотности тока в электроде, когда катодное пятно занимает всю поверхность торца электрода, интенсивность увеличения площади поперечного сечения столба дуги с возрастанием тока уменьшается. Существенное влияние на изменение поперечных размеров столба дуги оказывают ограничивающие стенки из относительно холодного газа, окружающего столб. Это влияние наблюдается в дуге, горящей в защитных газах, а также в дуге под флюсом при форсированных режимах. В таких случаях сопротивление столба дуги будет изменяться незначительно, а градиент

потенциала и падение напряжения в столбе дуги будут расти с увеличением сварочного тока.

Следовательно, форма статической характеристики закрытых и защищенных дуг при повышенных плотностях тока в электроде становится возрастающей.

Таким образом, статическая характеристика дуги $U_0 = f(I_0)$ для широкого диапазона изменения сварочного тока имеет U-образную форму, т. е. переходит из падающей в жесткую (независимую от тока) и, наконец, при больших токах становится возрастающей (фиг. 1).

Особенности дуги переменного тока

При питании дуги от источника с синусоидальным напряжением ток и напряжение дуги периодически изменяют величину и направление. При переходе значения тока через нуль и перемене полярности в начале и конце каждого полупериода дуга угасает, температура активных пятен и дугового промежутка снижается. При этом происходит деионизация газовой смеси и уменьшается электропроводность столба дуги.

По этим причинам повторное зажигание дуги в начале каждого полупериода может произойти только при повышенном напряжении, называемом напряжением повторного зажигания дуги переменного тока, — $U_a > U_0$.

В том случае, когда в цепи содержатся только активные сопротивления, напряжение источника питания совпадает по фазе с током в сварочной цепи и в момент перемены полярности и угасания дуги в конце полупериода оно будет равно нулю. Поэтому повторное зажигание дуги в начале следующего полупериода будет невозможно до тех пор, пока переменное напряжение источника не достигнет значения, необходимого для повторного зажигания дуги. Таким образом, между угасанием дуги в конце каждого полупериода и ее повторным зажиганием в следующем полупериоде будет иметь место перерыв — пауза, т. е. в этом случае горение дуги будет прерывистым и неустойчивым.

Включением в сварочную цепь индуктивности можно достигнуть соответствующего сдвига фаз между сварочным током и напряжением источника; тогда в момент угасания дуги и перехода значения тока через нуль напряжения источника может быть достаточным для повторного зажигания дуги. При этих условиях горение дуги переменного тока будет непрерывным и устойчивым.

Так как напряжение повторного зажигания обычно выше действующего значения напряжения дуги, а для обеспечения непрерывного и устойчивого горения дуги переменного тока в сварочную цепь включается индуктивное сопротивление, то действующее значение напряжения холостого хода источника питания всегда должно быть больше действующего значения напряжения дуги.

Таким образом, дуга переменного тока имеет следующие особенности.

1. Вследствие периодических угасаний и повторных зажигания дуга при переменном токе менее устойчива, чем при постоянном.

2. Устойчивость дуги переменного тока и непрерывность ее горения улучшаются при включении индуктивности в сварочную цепь. Для поддержания непрерывности горения дуги в обычных условиях сварки отношение напряжения холостого хода к напряжению дуги $\frac{U_0}{U_0}$ должно быть равно 1,8—2,5. С увеличе-

нием напряжения холостого хода и действующего значения сварочного тока устойчивость дуги улучшается.

3. При уменьшении рабочих токов и увеличении напряжения или длины дуги желательно, чтобы напряжение холостого хода увеличивалось.

4. Вследствие нелинейности сопротивления дуги кривые тока и напряжения отличаются от синусоидальных кривых в цепях переменного тока с линейными элементами. Искажение кривых тока и напряжения в сварочной цепи при одинаковых действующих значениях обуславливает снижение мощности дуги переменного тока на 5—20% по сравнению с дугой постоянного тока.

5. Статические характеристики устойчивой и непрерывно горящей дуги переменного тока для действующих значений тока и напряжения подобны характеристикам дуги постоянного тока.

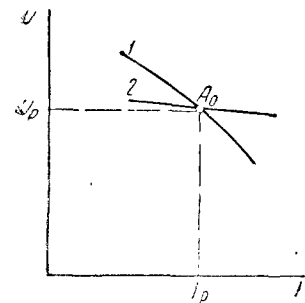
Требования к статическим и динамическим свойствам источников питания

Статические свойства и устойчивость системы источник питания — дуга. Устойчивость горения дуги и стабильность режима сварки зависят как от физических условий существования дугового разряда, так от свойств и параметров источников питания и всех других элементов электрической цепи.

Установившийся режим работы системы, состоящей из источника питания и сварочной дуги, определяется точкой пересечения A_0 внешней характеристики источника питания $U_u = f_1(I)$ (кривая 1) и статической характеристики дуги $U_d = f_2(I)$ (кривая 2, фиг. 2).

Система будет находиться в состоянии устойчивого равновесия при условии, если внезапное малое отклонение тока, возникшее под влиянием какой-либо случайной причины, будет с течением времени уменьшаться, т. е. нарушение режима будет исчезать, и система вернется вновь в исходное состояние равновесия. Основным условием устойчивости является соответствие формы внешней характеристики источника питания форме статической характеристики дуги, при котором разность производных уравнений статических характеристик дуги и источника питания в рабочей точке A_0 будет положительной, т. е.

$$k_y = \left(\frac{\partial U_d}{\partial I} - \frac{\partial U_u}{\partial I} \right)_{I_p} > 0$$



Фиг. 2. Определение режима устойчивой работы системы источник питания — дуга. 1 — внешняя характеристика источника питания $U_u = f_1(I)$; 2 — статическая характеристика сварочной дуги $U_d = f_2(I)$; U_p , I_p — напряжение и ток при устойчивой работе.

В обычных условиях сварки, особенно при ручной сварке, напряжение дуги практически не зависит от тока, т. е. $\frac{\partial U_d}{\partial I} \approx 0$. В этом случае для обеспечения условия устойчивости внешняя характеристика источника питания также должна бытьпадающей, но может быть более пологой, чем в предыдущем случае.

При возрастающей статической характеристике дуги ($\frac{\partial U_d}{\partial I} > 0$), как это имеет место при сварке дугой постоянного тока в защитных газах, допустима возрастающая внешняя характеристика источника питания. Однако для обеспечения условия устойчивости внешняя характеристика в рабочей точке A_0 должна возрастать менее круто, чем статическая характеристика дуги.

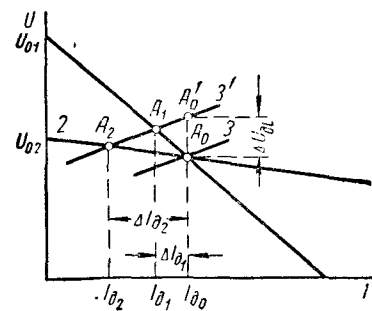
В случае удлинения (растягивания) сварочной дуги в некоторых пределах, она должна быть устойчивой или, как говорят, эластичной. Это особенно важно при ручной сварке. Режим сварки не должен при этом резко меняться. При удлинении дуги, как правило, уменьшается ток. Для каждого электрода в соответствии с его диаметром существует некоторое минимальное значение тока дуги, при котором дуговой разряд становится неустойчивым. Следовательно, чем ниже минимально допустимое значение тока дуги и чем меньше отклонение тока при удлинении дуги, тем больше устойчивость дуги и больше максимальная длина, на которой можно растянуть дугу.

При заданной форме статической характеристики дуги наименьшее отклонение тока дуги ΔI_d при одинаковом удлинении на величину Δl_d будет в случае крутопадающей внешней характеристики источника питания (фиг. 3), а наи-

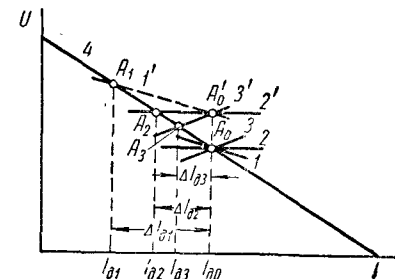
большее — при возрастающей внешней характеристике. Следовательно, при падающей внешней характеристике возможность растягивания дуги, т. е. эластичность и устойчивость дуги, будет больше.

С другой стороны, нетрудно показать (фиг. 4), что для заданной формы внешней характеристики при одинаковом удлинении дуги на величину Δl_d минимальное отклонение тока ΔI_d будет при возрастающей, а максимальное — при падающей статической характеристике дуги. Следовательно, наиболее эластичной и устойчивой будет сварочная дуга, имеющая возрастающую статическую характеристику.

При автоматической и ручной сварке плавящимся электродом для поддержания неизменной длины дуги и стабильности режима ее горения необхо-



Фиг. 3. Определение отклонения тока ΔI_d при удлинении дуги для различных внешних характеристик источника питания и при заданной форме статической характеристики дуги: 1 — крутопадающая внешняя характеристика с напряжением холостого хода U_{01} ; 2 — пологопадающая внешняя характеристика с напряжением холостого хода U_{02} ; 3 и 3' — статическая характеристика дуги (возрастающая) до и после удлинения дуги на величину Δl_d ; A_0 — точка исходного режима; A_1 , A_2 — точки установившегося режима после удлинения дуги; ΔU_{01} — увеличение напряжения дуги при ее удлинении Δl_d ($I_d = \text{const}$); $\Delta I_{d2} > \Delta I_{d1}$.



Фиг. 4. Определение отклонения тока ΔI_d при удлинении дуги для различных статических характеристик дуги при заданной форме внешней характеристики источника питания. 1, 1', 2, 2', 3, 3' — соответственно падающие, жесткие и возрастающие статические характеристики дуги до и после удлинения дуги на величину Δl_d ; 4 — внешняя характеристика источника; A_0 — точка исходного режима; A_1 , A_2 , A_3 — точки установившегося режима после удлинения дуги; $\Delta I_{d1} > \Delta I_{d2} > \Delta I_{d3}$.

димо подавать электрод со скоростью, равной скорости его плавления. Скорость плавления электрода в первом приближении пропорциональна току дуги, поэтому дуга с плавящимся электродом обладает свойством саморегулирования. Свойство саморегулирования выражается в том, что при постоянной скорости подачи электрода в цепи устанавливаются такие величины тока и напряжения, при которых скорость плавления будет равной скорости подачи. В случае, например, внезапного удлинения дуги, ток в цепи уменьшится, скорость плавления также уменьшится. Поэтому скорость подачи станет больше скорости плавления; дуга начнет укорачиваться, а ток увеличится. Следовательно, возникшее отклонение длины дуги (удлинение) начнет уменьшаться и система вновь придет в состояние равновесия, при котором исходная длина дуги и режим сварки восстановятся, скорость подачи станет вновь равной скорости плавления.

Так как восстановление исходного режима при изменении длины дуги происходит без воздействия специального автоматического регулятора, то указанное свойство дуги с плавящимся электродом называется саморегулированием.

Быстрота восстановления исходного режима (интенсивность саморегулирования) будет тем больше, чем больше отклонение тока дуги при изменении ее длины, так как при этом будет больше изменение относительной скорости подачи электрода.

Как было указано выше, отклонение тока дуги ΔI_a при изменении ее длины будет увеличиваться с уменьшением крутизны падающей внешней характеристики источника питания, причем наибольшие отклонения тока будут при возрастающих внешних характеристиках. Следовательно, интенсивность саморегулирования в автоматах с постоянной скоростью подачи электродной проволоки увеличивается при пологопадающих и особенно при жестких и возрастающих внешних характеристиках источника питания.

При автоматической сварке с регуляторами напряжения дуги скорость подачи электродной проволоки пропорциональна напряжению дуги. В случае внезапных изменений длины дуги скорость подачи также изменяется. Вследствие этого возникает разность между скоростями подачи и плавления электрода, при которой относительная скорость подачи направлена против отклонения длины дуги и нарушенное равновесие в системе восстанавливается, причем интенсивность регулирования будет тем больше, чем больше отклонение напряжения источника при изменении длины дуги. Отклонение напряжения источника будет наибольшим в случае круто падающих внешних характеристик. При жестких или пологих внешних характеристиках отклонения напряжения источника при изменении длины дуги будут равны нулю или очень малы. Следовательно, при таких внешних характеристиках источника питания регуляторы напряжения дуги не могут работать.

Из анализа влияния формы внешней характеристики на устойчивость дуги и процесс ручной и автоматической сварки вытекают следующие требования к статическим свойствам источника питания, отображаемым его внешней характеристикой.

При ручной дуговой сварке и автоматическом регулировании напряжения дуги под флюсом, когда статическая характеристика дуги обычно бывает жесткой, внешняя характеристика источника питания должна быть падающей. Напряжение холостого хода при падающих внешних характеристиках всегда больше рабочего напряжения дуги, что облегчает первоначальное и повторные зажигания дуги, особенно при сварке на переменном токе. Для непрерывного горения дуги напряжение холостого хода трансформатора для ручной дуговой сварки должно находиться в пределах 55—75 в при номинальном рабочем напряжении 30 в.

При автоматической сварке под флюсом среднее рабочее напряжение колеблется обычно в пределах 30—45 в. Следовательно, напряжение холостого хода сварочных трансформаторов для автоматической сварки должно находиться в пределах 60—80 в.

Для источников постоянного тока нет необходимости значительно повышать напряжение холостого хода. Однако это напряжение для ручной дуговой сварки должно быть не менее 45—50 в.

В процессе ручной сварки короткие замыкания дугового промежутка каплей расплавленного металла могут происходить довольно часто.

Если ток короткого замыкания будет чрезмерным, то это может вызвать перегрев электрода, оплавление его покрытия, а также усиленное разбрызгивание металла при сварке. Наоборот, при слишком малом токе короткого замыкания затрудняется зажигание дуги. Поэтому для источников питания, имеющих падающую внешнюю характеристику, приняты следующие соотношения между установившимся током короткого замыкания и рабочим током:

$$1,25 < \frac{I_{\kappa}}{I_p} < 2$$

Для систем саморегулирования дуги под флюсом, имеющей жесткую статическую характеристику, также необходимы падающие внешние характеристики. Однако для увеличения интенсивности саморегулирования желательнее, чтобы внешняя характеристика имела более пологую форму, особенно при автоматической сварке на постоянном токе.

При автоматической сварке в среде защитных газов на постоянном токе, когда статическая характеристика дуги приобретает возрастающую форму, для систем саморегулирования рационально применять источники питания

с жесткой характеристикой. Допустимы также источники с пологовозрастающими внешними характеристиками. Напряжение холостого хода у таких источников питания невелико и может быть меньше рабочего напряжения дуги ($U_0 \leq U_d$), что несколько затрудняет первоначальное возбуждение дуги. Поэтому более рациональными для автоматической сварки в среде защитных газов являются источники питания, у которых внешняя характеристика в рабочей части будет жесткой или пологовозрастающей, а напряжение холостого хода будет несколько повышено (40—50 в), как показано пунктиром на фиг. 5 (кривые 2, 3).

Таким образом, для большинства случаев сварки на переменном и постоянном токе необходимы источники питания с падающими внешними характеристиками.

Несмотря на разнообразие существующих систем источников питания можно указать единый принцип построения источников с падающими внешними характеристиками, по отношению к которому отдельные системы являются частным случаем.

В каждом источнике питания индуктируется э. д. с., которая при холостом ходе равна напряжению на клеммах источника. Если при нагрузке эта э. д. с. остается практически постоянной, то падающая внешняя характеристика получается за счет падения напряжения в сопротивлении самого источника или в отдельном сопротивлении, включенном в сварочную цепь последовательно с дугой. В большинстве сварочных генераторов постоянного тока э. д. с. уменьшается с увеличением рабочего тока за счет размагничивающих обмоток возбуждения или действия реакции якоря. Вследствие этого получается внешняя характеристика падающей формы. Размагничивающее действие обмоток и потока реакции якоря можно уподобить действию эквивалентного сопротивления, включенного последовательно с дугой. При этом э. д. с. полагают равной напряжению холостого хода и не зависящей от тока.

Уравнение внешней характеристики такой обобщенной системы источника питания будем иметь вид

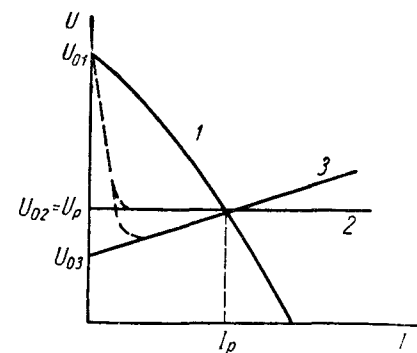
$$\dot{U}_a = \dot{U}_0 - \dot{I}_a Z_a,$$

где $\dot{U}_a$ — напряжение на клеммах источника при данном токе нагрузки $\dot{I}_a$; $\dot{U}_0$ — напряжение при холостом ходе; Z_a — полное эквивалентное сопротивление источника или схемы питания.

Эквивалентное сопротивление Z_a при переменном токе представляет собой полное комплексное сопротивление источника питания. При постоянном токе $Z_a = R_a$, т. е. полное сопротивление источника, представляет собой сумму омического сопротивления и сопротивления, эквивалентного действию размагничивающих потоков в источнике питания.

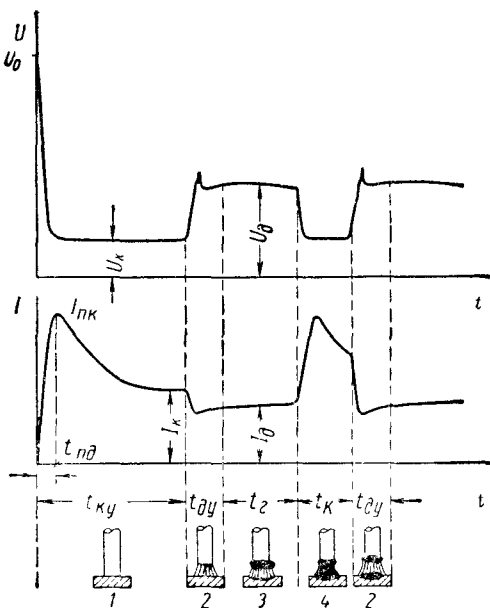
Уравнение внешней характеристики, приведенное выше, в общем случае является нелинейным. Кроме того, эквивалентное сопротивление Z_a может быть также нелинейным, т. е. зависимым от тока. Поэтому падающие внешние характеристики источников питания в общем случае будут нелинейными.

Динамические свойства источников питания. Процесс сварки дугой с плавающим электродом характеризуется динамической нагрузкой источника питания, обусловленной механизмом первоначального возбуждения дуги и после-



Фиг. 5. Оптимальные внешние характеристики источников питания дуги: 1 — падающая характеристика; 2 — жесткая характеристика; 3 — возрастающая характеристика. U_{01} , U_{02} , U_{03} — напряжения холостого хода; U_p , I_p — рабочее напряжение и ток.

дующим (при горении дуги) капельным переносом металла с электрода на изделие, сопровождающимся иногда частыми короткими замыканиями, угасанием дуги и повторным ее зажиганием после разрыва капли. Вследствие этого режим работы источника питания претерпевает в короткие промежутки времени, измеряемые долями секунды, резкие изменения: переход с холостого хода к короткому замыканию, с короткого замыкания — к рабочему режиму — горению дуги, от горения дуги — к короткому замыканию при переходе капли и вновь переход от короткого замыкания к рабочему режиму при разрыве капли (фиг. 6).



Фиг. 6. Кривые изменения тока и напряжения сварочного генератора при сварке плавящимся электродом: 1 — переход от холостого хода к короткому замыканию цепи при первоначальном зажигании дуги; t_{ky} — время установления тока короткого замыкания I_k ; t_{nd} — время достижения пикового значения тока короткого замыкания I_{nk} ; U_k — напряжение на клеммах генератора при коротком замыкании; 2 — переход от короткого замыкания к горению дуги; t_{dy} — время установления дуги; 3 — горение дуги и образование капли; t_2 — время горения дуги; 4 — переход от горения дуги к короткому замыканию цепи при переходе капли; t_k — время короткого замыкания при переходе капли.

При большой индуктивности якоря фронт нарастания тока небольшой, что может затруднить первоначальное возбуждение дуги и привести к замедленному разрыву и соответственному увеличению размеров капли, замкнувшей дуговой промежуток. Последнее, например, является нежелательным при сварке в углекислом газе короткой дугой, когда необходим мелко каплевидный процесс переноса и уменьшение разбрызгивания металла. При очень малой индуктивности цепи якоря и чрезмерно большом пике тока короткого замыкания наблюдается весьма бурное расплавление конца электрода и выплескивание металла; это также затрудняет зажигание дуги и резко увеличивает разбрызгивание металла при переходе капли. Систематизированных данных об оптимальных значениях скорости нарастания тока и допустимых пиковых значениях его не имеется. По результатам исследований скорость нарастания тока должна

быть в пределах 30 000—100 000 а/сек, а значение I_{nk} должно превосходить установившийся ток короткого замыкания в генераторах с падающими характеристиками не более чем в 3 раза.

Во время короткого замыкания напряжение на клеммах генератора резко снижается (см. фиг. 6) до величины U_k , равной падению напряжения в проводах и контактах сварочной цепи.

При размыкании сварочной цепи в результате оплавления участка электрода или после разрыва капли для возбуждения дуги необходимо, чтобы напряжение генератора быстро возросло примерно до 25 в. В случае чрезмерно медленного нарастания напряжения первоначальное и повторные возбуждения дуги будут затруднены. Скорость нарастания напряжения уменьшается с увеличением электромагнитной инерции генератора. Поэтому ГОСТом 304-51 предусмотрено, что сварочный генератор для ручной дуговой сварки должен обладать динамическими свойствами, позволяющими при переходе от короткого замыкания к холостому ходу ограничить время восстановления напряжения до 25 в в пределах 0,05 сек.

Классификация и основные технические характеристики источников питания

По роду тока, питающего дугу, различают источники переменного или постоянного тока. В зависимости от количества сварочных постов питаемых от одного источника, последние разделяются на однопостовые и многопостовые.

Подавляющее большинство источников питания, выпускаемых в СССР, имеет общее назначение как для однопостовой ручной сварки плавящимся электродом открытой дугой, так и для автоматической сварки под флюсом. В соответствии с большим разнообразием режимов сварки источники питания выпускаются различной мощности, регламентируемой ГОСТами. Каждый источник питания рассчитывается на определенное номинальное рабочее напряжение и соответствующий номинальный ток при заданной относительной продолжительности работы (ПР) или относительной продолжительности включения (ПВ) в прерывистом режиме.

Значения ПР или ПВ характеризуют условия нагрева и охлаждения источника питания и определяются из отношения продолжительности рабочего периода t_p ко всей длительности одного цикла нагрузки t_{cy} , включая время паузы t_n между двумя рабочими периодами:

$$ПР \% = \frac{t_p}{t_{cy}} 100 \text{ или } ПВ \% = \frac{t_p}{t_{cy}} 100 \text{ при } t_{cy} = t_p + t_n.$$

Различие в режимах, характеризующихся значениями ПР или ПВ заключается в том, что в первом случае источник питания во время паузы не отключается от сети и работает на холостом ходу, а во втором случае источник питания во время паузы полностью отключается от сети.

Допустимая по условиям нагрева нагрузка при прерывистых режимах больше, чем при непрерывно длительных, когда $ПВ \% = ПР \% = 100 \%.$

Расчет допустимых токов нагрузки производится с учетом величины ПР или ПВ из следующего соотношения:

$$I_{np} = I_{ad} \sqrt{\frac{100}{ПР \%}},$$

где I_{np} — допустимый ток при данном ПР% или ПВ%; I_{ad} — эквивалентный допустимый ток при непрерывно длительной постоянной нагрузке, когда $ПР \% = ПВ \% = 100 \%.$

Экономичность источников питания в эксплуатации в значительной мере определяется величиной к. п. д. и коэффициента мощности, которые должны быть не менее некоторых минимально допустимых значений регламентируемых ГОСТами. Основные технические характеристики источников питания для дуговой сварки согласно ГОСТам приведены в табл. 2—4.

2. Основные технические данные однофазных трансформаторов для ручной дуговой сварки по ГОСТу 95-51

Номинальный ток в а	ПР%	Кратность регулиру- ния по отно- шению к но- минальному току		Вторичное напри- жение холостого хода в в, не более	Номинальное на- пряжение при но- минальной нагруз- ке в в	К. п. д. в %, не менее	cos φ, не менее	Номинальное на- пряжение первич- ной обмотки транс- форматора в в	Вес в кг, не более	
		мини- мальный ток	макс- имальный ток						однокорпусные	двухкорпусные
100	65	1 : 3	4 : 3	75	30	80	0,43	220 или 380	75	—
350				83		0,50	180		230	
500				86		0,52	260		290	
700							370		—	

Примечания: 1. Продолжительность рабочего цикла 5 мин.
 2. Трансформатор должен допускать сварку на максимальном сварочном токе при ПР% не менее 30%.
 3. Трансформатор должен обеспечивать устойчивое горение дуги при любом токе в пределах диапазона регулирования при номинальном первичном напряжении, а также при понижении его на 10% и при падении напряжения в проводах сварочной цепи, не превышающем 4 в.
 4. По требованию заказчика допускается изготовление трансформаторов на первичное напряжение 500 в.

8. Основные технические данные однофазных сварочных трансформаторов для однодуговой автоматической сварки под флюсом по ГОСТу 7012-54

Номинальный ток в а	ПВ%	Пределы регулирования сварочного тока $I_{св}$ в а	Вторичное напряжение холостого хода в а	Вторичное напряжение трансформатора (включая регулирующие устройство) при номинальной нагрузке $U_{св} \pm 5\%$ в в	К. п. д. в %, не менее	cos φ на первой ступени вторичного напряжения, не менее	Номинальное напряжение первичной обмотки трансформатора в в	Вес в кг не более (для однокорпусного исполнения)
500	60	200—600	65—90	$23 \pm 0,045 I_{св}$	85	0,60	220 или 380	450
1000		400—1200	68—80	$22 \pm 0,02 I_{св}$	87			560
2000	50	800—2200	70—80	$23 \pm 0,015 I_{св}$	89	0,64	380	800

Примечания: 1. Продолжительность рабочего цикла 10 мин.
 2. Пределы регулирования сварочного тока должны быть обеспечены при отклонениях напряжения в сети в пределах -10% и $+5\%$ от номинального значения. Регулирование плавное, с электрическим приводом и дистанционным кнопочным управлением.
 3. Для трансформаторов на 2000 а допускается по требованию заказчика вторичное напряжение холостого хода до 100 в.
 4. Зависимость $U_{св}$ от $I_{св}$ принята для применения при сварке трансформаторами.
 а) на 500 а — электродной проволоки диаметром $d_э = 1,6 \div 2,5$ мм; б) на 1000 а — $d_э = 3 \div 6$ мм; в) на 2000 а — $d_э = 6 \div 8$ мм.
 5. Трансформаторы на номинальные токи 1000 и 2000 а должны иметь две ступени вторичного напряжения холостого хода в пределах величин, указанных в таблице. Значение cos φ дано для первой ступени с более низким напряжением холостого хода.
 6. По требованию заказчика допускается изготовление трансформаторов на первичное напряжение 500 в.
 7. Вес двухкорпусного трансформатора не должен превышать веса однокорпусного более чем на 20%.

4. Основные технические данные генераторов постоянного тока для дуговой сварки по ГОСТам 804-51 и 7237-54

Тип генератора	Шкала номинальных токов в а	ПР%	Номинальное напряжение на зажимах генератора при номинальной нагрузке в в	К. п. д. генератора в %, не менее	К. п. д. сварочного преобразователя в %, не менее
Однопостовой *	До 120 121—380 381—550 551—750 751—1000	65	25 30 35 40 45	52 61 62 63 64	44 52 54 56 57
Многопостовой	До 750 751—1000 1001—1500 1501—2500	100	50 или 60	80 82 83 84	71 73 74 75

Примечания: 1. Для однопостовых генераторов продолжительность рабочего цикла 5 мин.
 2. Для однопостовых генераторов с номинальным током выше 350 а допускается напряжение холостого хода до 90 в.
 3. Напряжение на зажимах многопостового генератора при изменении нагрузки от номинальной до половинной не должно отличаться от номинального более чем на $\pm 5\%$.
 4. Преобразователи состоят из сварочного генератора с приводом от трехфазного асинхронного электродвигателя (ГОСТ 7237-54).

* Кратность регулирования сварочного тока: $\frac{\text{номинальный}}{\text{минимальный}} = 4 : 1$
 Напряжение холостого хода не более 80 в.

Настройка режима сварки

Каждый источник питания должен иметь устройство для настройки режима сварки по току или напряжению в определенных пределах. Пределы настройки или кратность регулирования параметров режима, в частности тока дуги, регламентируются соответствующими ГОСТами (см. табл. 2—4).

При работе на автоматах с принудительным регулированием напряжения дуги задается автоматически при помощи соответствующей настройки регулятора; при ручной сварке оно поддерживается вручную подачей электрода к изделию по мере его расплавления. Следовательно, в этих случаях настройка режима по току производится путем изменения внешних характеристик, т. е. изменением параметров источника питания. При работе на автоматах с саморегулированием настройка режима по току производится путем соответствующего изменения независимой скорости подачи электродной проволоки. Требуемое напряжение дуги в этом случае устанавливается при помощи соответствующей настройки источника питания.

Из общего уравнения внешней характеристики источника питания (см. стр. 169) следует, что:

$$I_{\partial} = \frac{U_0 - U_{\partial}}{Z_{\partial}} \quad \text{при } U_{\partial} = U_a = \text{const}$$

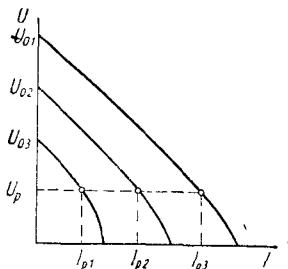
или

$$U_{\partial} = U_0 - I_{\partial} Z_{\partial} \quad \text{при } I_{\partial} = \text{const.}$$

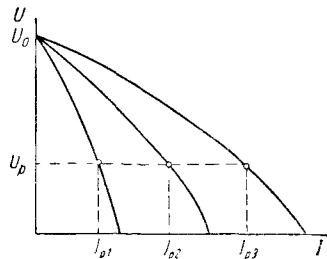
На основании этих уравнений можно указать следующие методы настройки режима источников питания:

1. Изменяя напряжение холостого хода U_0 , можно получить семейство внешних характеристик, соответствующих различным значениям рабочего тока I_p при неизменной величине рабочего напряжения дуги U_p (фиг. 7) или соответствующих различным значениям U_p при неизменном токе I_p .

Основной недостаток такого способа настройки режима по току состоит в том, что для получения требуемой кратности регулирования приходится в

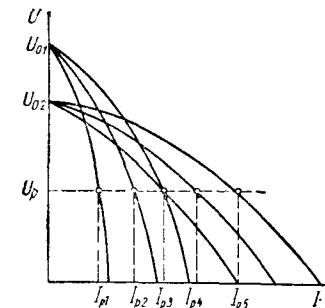


Фиг. 7. Внешние характеристики источника питания при регулировании тока путем изменения напряжения холостого хода.



Фиг. 8. Внешние характеристики источника питания при регулировании тока путем изменения эквивалентного сопротивления Z_0 и неизменном напряжении холостого хода

некоторых случаях либо чрезмерно снижать напряжение холостого хода при настройке на малые токи, либо чрезмерно повышать напряжение холостого хода при настройке на большие токи. В первом случае нарушается устойчивость горения дуги, особенно при сварке на переменном токе; во втором случае увеличивается расчетная мощность источника питания, что приводит к неоправданному увеличению габаритов, расхода активных материалов и потерь в источнике питания и соответственно к снижению к. п. д. Такой метод настройки обычно применяется в некоторых системах сварочных генераторов.



Фиг. 9. Внешние характеристики источника питания при комбинированном регулировании Z_0 и ступенчатого изменения напряжения холостого хода.

3. В случае необходимости значительно расширить пределы возможной настройки режима источника питания целесообразно применять комбинированные или ступенчатые методы настройки. При этих способах настройки диапазон регулирования разбивается на несколько ступеней или пределов (обычно два-три). Возможны два варианта комбинированной настройки режима. В первом варианте настройка в пределах одной ступени производится плавно изменением значения Z_0 при неизменном значении напряжения холостого хода.

* Z_0 при переменном токе — модуль комплексного сопротивления Z_0 .

При переходе к другому пределу настройки ступенчато изменяется напряжение холостого хода U_0 , причем желательно, чтобы при переходе на ступень, рассчитанную на меньшие токи, напряжение холостого хода увеличилось (фиг. 9). Такой метод комбинированной настройки наиболее пригоден для сварочных трансформаторов.

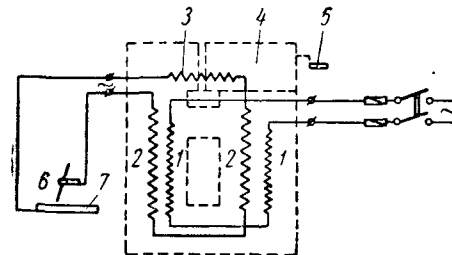
Во втором варианте плавно изменяют напряжение холостого хода при практически неизменном значении эквивалентного сопротивления $Z_0 = R_0$. При переходе к другим пределам регулирования ступенчато изменяют значение R_0 . Такой комбинированный метод настройки позволяет значительно расширить диапазон регулирования режима, избегая чрезмерного изменения напряжения холостого хода источника питания. В обоих вариантах комбинированной настройки основным является плавный способ регулирования.

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

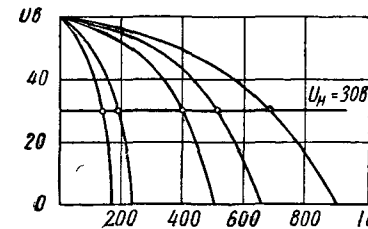
Основным видом источников питания дуги переменного тока являются сварочные трансформаторы. В СССР для однофазовой ручной и автоматической сварки выпускаются главным образом однофазные понижающие силовые трансформаторы трех типовых систем с воздушным охлаждением, описание которых дано ниже.

Сварочные трансформаторы с нормальным рассеянием в комбинации с реактивной катушкой типа СТН-ТСД

Магнитная система трансформаторов этого типа состоит из двух сердечников (основного и вспомогательного), связанных общим ярмом (фиг. 10). На основном сердечнике (нижняя часть магнитопровода на фиг. 10) размещена первичная обмотка 1 и основная часть вторичной обмотки 2 трансформатора, а на вспомогательном сердечнике, имеющем подвижной пакет 4 для изменения воздушного



Фиг. 10. Принципиальная электрическая и конструктивная схема трансформаторов типа СТН: 1 — первичная обмотка; 2 — вторичная обмотка; 3 — реактивная обмотка; 4 — подвижной пакет сердечника дросселя; 5 — винтовой механизм; 6 — электрододержатель; 7 — свариваемое изделие.



Фиг. 11. Внешние характеристики трансформатора СТН-500 при различной величине воздушного зазора в сердечнике дросселя.

зазора в ярме, помещена остальная часть 3 вторичной обмотки, называемая реактивной обмоткой.

Магнитное рассеяние и соответственно индуктивное сопротивление обмоток трансформатора невелико. Поэтому напряжение на клеммах основной вторичной обмотки при нагрузке мало изменяется, т. е. внешняя характеристика собственно трансформатора практически будет жесткой. Благодаря воздушному зазору во вспомогательном сердечнике реактивной обмотки, магнитная связь между этой обмоткой и обмотками трансформатора невелика, и реактивную обмотку можно рассматривать как отдельный дроссель, включенный в сварочную цепь последовательно с дугой. Поэтому внешняя характеристика сварочных трансформаторов СТН и ТСД, включая дроссель, будет иметь падающую форму вследствие падения напряжения в индуктивном сопротивлении дросселя (фиг. 11).

В первом приближении полное эквивалентное сопротивление сварочного трансформатора Z_0 может быть принято равным индуктивному сопротивлению дросселя X_p .

Настройка режима в сварочных трансформаторах типа СТН и ТСД производится при помощи изменения индуктивного сопротивления реактивной обмотки X_p при неизменном напряжении холостого хода (см. фиг. 11). Как было указано выше, такой способ настройки наиболее пригоден для сварочных трансформаторов средней и большой мощности, к которым и относятся трансформаторы СТН и ТСД. Для изменения индуктивного сопротивления дросселя в его сердечнике устроен подвижной пакет, при помощи которого изменяется воздушный зазор в ярме сердечника (см. фиг. 10). Настройка режима при требуемой ГОСТами кратности регулирования по току (см. табл. 2 и 3) в трансформаторах СТН и ТСД производится плавно; возможно подрегулирование режима в процессе сварки. Интенсивность регулирования уменьшается с увеличением зазора, что ограничивает верхний предел настройки режима. При малых зазорах в сердечнике реактивной обмотки, т. е. при сварке на малых токах, устойчивость дуги ухудшается, а вибрации подвижного пакета сердечника усиливаются, что является основным недостатком настройки при помощи подвижных пакетов и ограничивает нижний предел возможной настройки режима.

По схеме СТН для ручной однодуговой сварки в СССР выпускаются трансформаторы общего назначения типа СТН-500 и СТН-700, а также трансформатор типа СТН-350, конструкция которого приспособлена для работы на открытом воздухе в условиях повышенной влажности, на судах морского и речного флота. Перемещение подвижного пакета в трансформаторах СТН осуществляется вручную при помощи винтового механизма с рукояткой (см. фиг. 10, поз. 5).

ВНИИЭСО разработаны трансформаторы СТН-500-П и СТН-700-П с алюминиевыми обмотками, с сохранением сечений сердечников, числа витков и номинальных данных трансформаторов СТН-500 и СТН-700, имеющих медные обмотки. Кроме того, на базе трансформаторов СТН-500-П и СТН-700-П ВНИИЭСО разработаны трансформаторы ТСОК-500 и ТСОК-700 со встроенными конденсаторами емкостью около 220 мкф (12 квар для напряжения 420 в), подключаемыми параллельно к первичной обмотке трансформатора. Конденсаторы предназначены для компенсации реактивной мощности и обеспечивают повышение величины средневзвешенного коэффициента мощности сварочного трансформатора до 0,875.

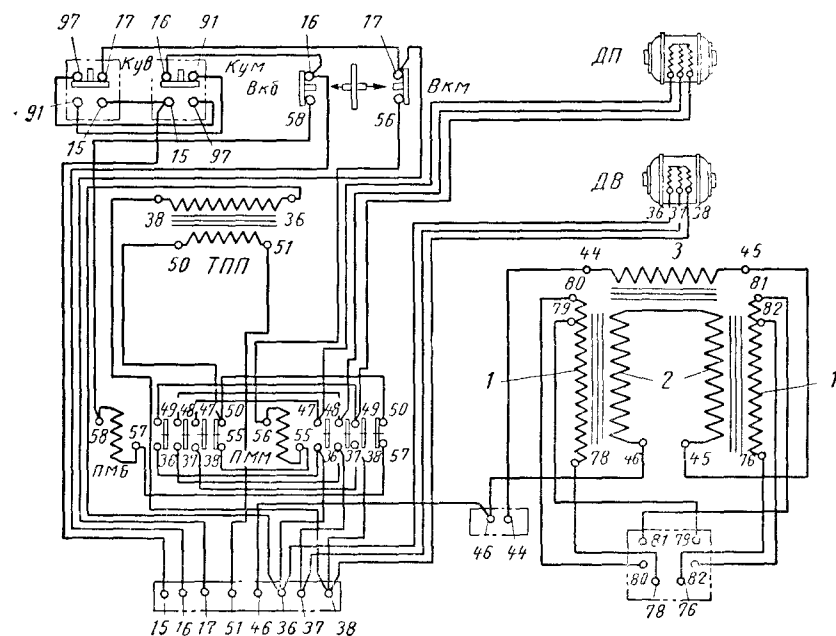
Однокорпусные трансформаторы СТН весьма компактны, вес их значительно меньше, чем суммарный вес равных им по мощности трансформаторов с отдельным дросселем типа СТЭ.

Для питания автоматических и полуавтоматических установок выпускаются три типа сварочных трансформаторов различной мощности: ТСД-500, ТСД-1000-3 и ТСД-2000. Принципиальная электрическая и конструктивная схема трансформатора ТСД полностью отвечает схеме СТН (см. фиг. 10). Трансформаторы ТСД отличаются от трансформаторов СТН некоторыми конструктивными особенностями и значением отдельных электрических параметров. Трансформаторы ТСД выпускаются в однокорпусном исполнении и снабжены вентилятором для принудительного воздушного охлаждения и приводом с кнопочным управлением для перемещения подвижного пакета дросселя. Полная электрическая схема включения обмоток трансформатора ТСД-1000-3 и его вспомогательных устройств (привод перемещения пакета, кнопочное управление, двигатель вентилятора) показана на фиг. 12. В трансформаторах ТСД-1000-3 и ТСД-2000 предусмотрены две ступени секционирования первичной обмотки на случай снижения напряжения питающей сети или необходимости несколько повысить вторичное напряжение холостого хода трансформатора. При работе на первой (номинальной) ступени соединяется перемычкой левая пара дополнительных выводов 80—81 на клеммной доске трансформатора, а на второй ступени с повышенным напряжением холостого хода — правая пара выводов 79—82. Для подключения питающей сети предназначены клеммы 76—78; сварочная цепь подключается к клеммам 44—46.

Цепь управления приводом подвижного пакета питается от понижающего трансформатора ТПП (220/30 в или 380/30 в), который установлен внутри

кожуха на нижней раме станины. Две кнопки $K_{ув}$ и $K_{ум}$ реверсивного устройства включают соответственно магнитные пускатели ПМБ и ПММ двигателя привода ДП (фиг. 12), который перемещает подвижной пакет либо в направлении увеличения воздушного зазора (пускатель ПМБ, кнопка $K_{ув}$), либо в направлении уменьшения (пускатель ПММ, кнопка $K_{ум}$). Для ограничения хода подвижного пакета, во избежание поломок механизма, в схеме имеются конечные выключатели $B_{кб}$ и $B_{км}$.

Для подключения цели управления к трансформатору ТПП необходимо соединить перемычкой клеммы 15 и 51. Для дистанционного управления настройкой режима с рабочего места к клеммам 15, 16 и 17 подключают



Фиг. 12. Полная электрическая схема включения трансформатора типа ТСД-1000-3: 1 — первичная обмотка; 2 — вторичная обмотка; 3 — реактивная обмотка.

двухкнопочную станцию. Питание двигателей привода пакета ДП и вентилятора ДВ, а также трансформатора ТПП подается от трехфазной сети на клеммы 36, 37 и 38.

Трансформаторы типа ТСД предназначены главным образом для автоматической сварки под флюсом. Для лучшего формирования шва при сварке под флюсом желательно, чтобы напряжение дуги увеличивалось с увеличением рабочих токов. Поэтому расчет параметров реактивной обмотки и определение пределов настройки режима по току при сварке с регуляторами напряжения дуги в трансформаторах ТСД производится в соответствии с ГОСТом 7612-54 для номинальных значений вторичного напряжения трансформатора U_n величина которого зависит от сварочного тока (см. табл. 3). Внешние характеристики трансформатора ТСД-1000-3 и кривая значений напряжений $U_n = f(I_d)$ приведены на фиг. 13.

Для уменьшения помех радиоприему в схемах трансформаторов СТН, ТСД, а также в некоторых других источниках питания (см., например фиг. 31), предусматривается фильтр из конденсаторов. Конденсаторы подключаются

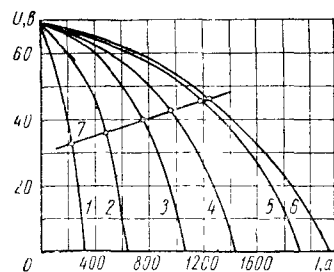
б. Технические данные сварочных трансформаторов для ручной, полуавтоматической и автоматической дуговой сварки

Тип трансформатора		СТЭ-24		СТЭ-34		СТАН-0		СТАН-1		СТН-350		СТН-500		СТН-700	
Исполнение		Двухкорпусное													
Габариты ¹ в мм:															
длина		646/594	690/669	698	870	—	796	796	—	—	—	—	—	—	—
ширина		314/320	370/320	429	520	—	440	410	—	—	—	—	—	—	—
высота		660/545	660/545	485	800	—	840	840	—	—	—	—	—	—	—
Первичное напряжение в в		220 или 380	220 или 380	220/110 или 380	220 или 380	220 или 380	220 или 380	220 или 380	220	220	220 или 380	220 или 380	220 или 380	220 или 380	220 или 380
Вторичное напряжение при холостом ходе в в		65	60	63—83	60—70	70	60	60	70	70	60	60	60	60	60
Номинальный режим работы — ПВ% или ПВ% ²		65	65	65	65	30/34	8,7/—	65	22/24	24,5/—	30/32	30/32	30/32	42/43,5	42/43,5
Номинальная мощность, в кВа ³		22,75/24	30/34	8,7/—	22/24	24,5/—	30/32	30/32	42/43,5	42/43,5	42/43,5	42/43,5	42/43,5	42/43,5	42/43,5
Номинальный первичный ток в а при первичном напряжении 220/380 в		110/63	155/90	—	110/63	114/—	145/84	145/84	198/114	198/114	198/114	198/114	198/114	198/114	198/114
Номинальный вторичный ток в а		350	500	140	350	350	500	500	700	700	700	700	700	700	700
Номинальное вторичное напряжение при нагрузке в в		30	30	30	30	30	30	30	35	35	35	35	35	35	35
Пределы регулирования сварочного тока в а		70—500	150—700	25—150	60—480	80—450	150—700	150—700	200—900	200—900	200—900	200—900	200—900	200—900	200—900
К. п. д.		0,83	0,85	0,83	0,83	—	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Коэффициент мощности		0,52	0,52	0,51	0,52	—	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54
Площадь сечения проводов для подключения к первичной сети при напряжении 220/380 в в мм ²		25/10	35/16	—	25/10	25/—	35/16	35/16	70/35	70/35	70/35	70/35	70/35	70/35	70/35
Площадь сечения проводов сварочной цепи в мм ²		120 или 2 × 50	185 или 2 × 70	—	120 или 2 × 50	120 или 2 × 50	185	185	240 или 2 × 95	240 или 2 × 95	240 или 2 × 95	240 или 2 × 95	240 или 2 × 95	240 или 2 × 95	240 или 2 × 95
Вес в кг ¹		140/90	200/120	80	185	220	270	270	380	380	380	380	380	380	380

Продолжение табл. в

Тип трансформатора		Однокорпусное						
Исполнение		ТСД-500	ТСД-1000	ТСД-2000	СТ-1000	СТ-2000	СТР-1000	СТР-1000-П
Габариты ¹ в мм:								
длина	950	950	1050	1115	800	1176	850	
ширина	818	818	900	1015	750	786	850	
высота	1215	1215	1300	1765	2040	1385	1752	
Первичное напряжение в в	220 или 380	220 или 380	220 или 380	220 или 380, 500	380	380	380	
Вторичное напряжение при холостом ходе в в	80	69 и 78	72 и 84	57; 61,8; 66,5; 71,2; 76	80; 100; 109	80	80	
Номинальный режим работы — ПВ% или ПР% ²								
Номинальная мощность в кВа ³	40/42	60	50	60	60	60	60	
Номинальный первичный ток в а при первичном напряжении 220/380 в	185/108	345/200	820/475	76/—	150 ⁴	80/84	80/84	
Номинальный вторичный ток в а	500	1000	2000	1000	2000	—/220	—/220	
Номинальное вторичное напряжение при нагрузке в в	40	42	—	42	—	42	42	
Пределы регулирования сварочного тока в а	200—600	400—1200	800—2200	300—1200	600—2000	450—1000	450—1000	
К. п. д.	0,87	0,9	—	—	—	0,93	0,93	
Коэффициент мощности	0,55	0,62	—	—	—	0,575 ⁵	0,575 ⁵	
Площадь сечения проводов для подключения к первичной сети при напряжении 220/380 в в мм ²	70/35	95/50	240/185	95/50	—/185	—/50	—/50	
Площадь сечения проводов сварочной цепи в мм ²	185 или 2 × 70	2 × 150	4 × 150	2 × 150	4 × 150	2 × 150	2 × 150	
Вес в кг ¹	450	534	—	700	950	900	800 + 200 (масло)	

¹ В числителе указаны габариты или вес трансформатора, в знаменателе — дресселя.² Для сварочных трансформаторов СТЭ, СТАН и СТН значение ПВ% указано при полном цикле работы длительностью 5 мин. для трансформаторов ТСД, СТ и СТР значение ПВ% указано при продолжительности цикла 10 мин.³ В числителе указана полезная мощность, в знаменателе — потребляемая⁴ При ПВ% = 100%⁵ При $U_d = 38$



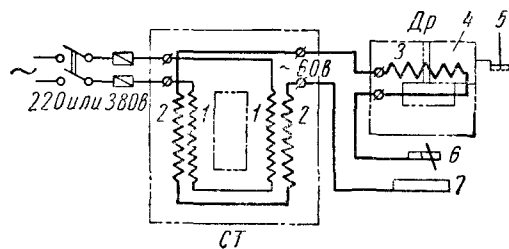
Фиг. 13. Внешние характеристики трансформатора ТСД-1000-3 для разных значений длины воздушного зазора: 1 — 3 мм; 2 — 10 мм; 3 — 22 мм; 4 — 34 мм; 5 — 35 мм; 6 — 64 мм; 7 — кривая $U_n = f(I_D) = 22 + 0,02 I_D$.

СТ-2000 вторичная обмотка имеет три ступени переключения для напряжения холостого хода 80, 100 и 109 в.

Основные технические данные трансформаторов СТН, ТСД и СТ приведены в табл. 5 (см. стр. 178 и 179).

Сварочные трансформаторы с отдельной реактивной катушкой-дросселем типа СТЭ

В СССР выпускаются трансформаторы типа СТЭ-24 и СТЭ-34 с отдельным дросселем, предназначенные для ручной дуговой сварки. Схема трансформатора этого типа показана на фиг. 14. Понижающий однофазный трансформатор СТ имеет отдельный сердечник стержневого типа. Магнитное рассеяние и соответственно индуктивное сопротивление обмоток трансформатора невелико. Поэтому внешняя ха-



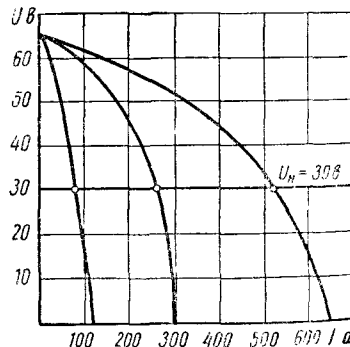
Фиг. 14. Принципиальная электрическая и конструктивная схема трансформатора типа СТЭ: 1 — первичная обмотка; 2 — вторичная обмотка; 3 — обмотка дросселя; 4 — подвижной пакет сердечника дросселя; 5 — винтовой механизм; 6 — электрододержатель; 7 — свариваемое изделие.

рактеристика собственно трансформатора будет жесткой. Дроссель Др, также имеющий отдельный сердечник и обладающий относительно большим индуктивным сопротивлением подключается к трансформатору в сварочную цепь последовательно с дугой. Дроссель служит для получения падающей внешней характеристики источника питания (трансформатор и дроссель) и регулирования режима сварки.

между каждой клеммой первичной обмотки и корпусом трансформатора, который должен быть при этом обязательно заземлен.

В Институте электросварки им. Е. О. Патона АН УССР по схеме СТН разработана и выпущена партия трансформаторов СТ-1000 и СТ-2000. По конструктивному оформлению и схеме управления приводом перемещения подвижного пакета трансформаторы СТ, в основном, подобны трансформаторам ТСД и отличаются от них применением П-образного подвижного пакета с двумя изменяющимися воздушными зазорами.

Для создания достаточно широкого диапазона регулирования при изменении напряжения питающей сети и соблюдения при настройке правильного соотношения между напряжением холостого хода и рабочим напряжением дуги в трансформаторе СТ-1000 предусмотрено пять ступеней секционирования вторичной обмотки. В трансформаторе



Фиг. 15. Внешние характеристики трансформатора СТЭ-24.

Настройка режима сварки производится путем изменения индуктивного сопротивления дросселя при неизменном напряжении холостого хода. Для плавной настройки в сердечнике дросселя РСТЭ имеется подвижной пакет, перемещающийся так же, как в трансформаторе СТН; он позволяет изменять воздушный зазор в сердечнике, регулируя тем самым индуктивное сопротивление дросселя (см. стр. 176). Регулирование осуществляется вручную при помощи винтового механизма с рукояткой. Внешние характеристики трансформатора СТЭ-24 с дросселем РСТЭ-24 для трех значений величины воздушного зазора в сердечнике дросселя (минимальное, среднее и максимальное) показаны на фиг. 15.

Трансформатор и дроссель заключены в отдельные кожухи и установлены на колесах. Технические данные трансформаторов СТЭ указаны в табл. 5.

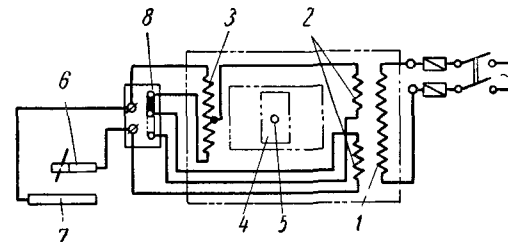
Трансформаторы с увеличенным магнитным рассеянием в комбинации с реактивной обмоткой типа СТАН и СТР

Трансформаторы типа СТАН. Схема трансформатора типа СТАН с увеличенным магнитным рассеянием и подвижным магнитным шунтом показана на фиг. 16.

На одном из крайних стержней сердечника расположены первичная 1 и основная вторичная 2 обмотки, а на другом крайнем стержне, который также выполняется сплошным без воздушных зазоров, размещена реактивная вторичная обмотка 3. Между крайними основными стержнями помещается подвижной средний стержень (магнитный шунт 4). Подвижной магнитный шунт и оба ядра основного сердечника разделены двумя воздушными зазорами. Поэтому через сплошной крайний стержень, на котором размещена реактивная обмотка 3, замыкается большая часть основного магнитного потока трансформатора. Вследствие этого э. д. с., индуцируемая в реактивной обмотке, составляет значительную часть всей э. д. с. во вторичной цепи. Однако значительная часть потоков (до 30%), создаваемых обмотками, расположенными на одном из крайних стержней, замыкается через средний стержень и не пронизывает обмотки, расположенные на другом крайнем стержне. Следовательно, магнитное рассеяние и эквивалентное ему сопротивление обмоток трансформатора СТАН будет относительно велико по сравнению с индуктивным сопротивлением обмоток трансформатора с нормальным рассеянием типа СТН или СТЭ. Таким образом, реактивная вторичная обмотка 3 в трансформаторах типа СТАН выполняет функции совмещенного дросселя, составляющего с трансформатором одно целое.

Внешняя характеристика сварочного трансформатора типа СТАН будет иметь падающую форму, в основном, определяемую падением напряжения в индуктивном сопротивлении его обмоток.

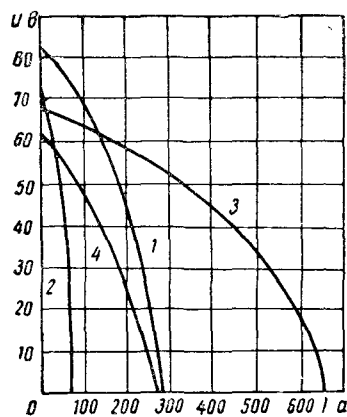
Настройка режима в трансформаторах СТАН производится комбинированным методом (плавным и ступенчатым). Плавное регулирование тока в пределах одной ступени осуществляется путем изменения индуктивного сопротивления трансформатора при практически мало изменяющемся напряжении холостого хода. Регулирование производится вручную при помощи винтового механизма с рукояткой, перемещающего подвижной магнитный шунт. При выдвигании магнитного шунта за пределы ядра рассеяние и соответственно



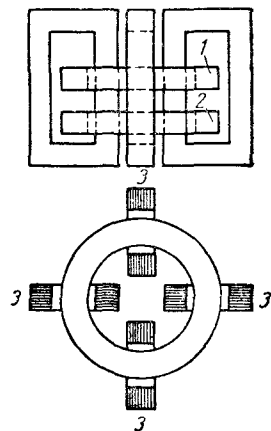
Фиг. 16. Принципиальная электрическая и конструктивная схема трансформатора типа СТАН: 1 — первичная обмотка; 2 — вторичная обмотка (основная); 3 — вторичная обмотка (реактивная); 4 — магнитный шунт; 5 — винтовой механизм; 6 — электрододержатель; 7 — свариваемое изделие; 8 — клеммная доска для ступенчатого секционирования вторичных обмоток.

индуктивное сопротивление обмоток трансформатора уменьшаются, а сварочный ток увеличивается.

Для расширения пределов настройки в трансформаторах СТАН предусмотрены две ступени переключения вторичных обмоток (см. фиг. 16). При принятой схеме переключения напряжение холостого хода и индуктивное сопротивление обмоток трансформатора на первой ступени рассчитанной на малые токи, будут больше, чем на второй ступени. Поэтому внешние характеристики на первой ступени при одном и том же положении магнитного шунта будут более крутопадающими с повышенным напряжением холостого хода, что наиболее благоприятно для сварки на малых токах. На второй ступени рассчитанной на боль-



Фиг. 17. Внешние характеристики трансформатора СТАН-1 для двух ступеней регулирования: 1 — первая ступень, магнитный шунт выведен полностью; 2 — первая ступень, магнитный шунт введен полностью; 3 — вторая ступень, магнитный шунт выведен полностью; 4 — вторая ступень, магнитный шунт введен полностью



Фиг. 18. Схема конструкции трансформатора типа СТР: 1 — первичная обмотка; 2 — вторичная обмотка; 3 — составные части броневого сердечника.

шие токи, внешние характеристики будут более пологими с меньшим напряжением холостого хода (фиг. 17).

В СССР серийно изготавливаются трансформаторы типа СТАН-1, предназначенные для ручной дуговой сварки. Для сварки на малых токах отдельными партиями выпускаются трансформаторы СТАН-0 на номинальный ток 140 а (см. табл. 5).

Трансформаторы с подвижными обмотками типа СТР. В Институте электросварки АН УССР были разработаны и выпущены трансформаторы — регуляторы типа СТР с увеличенным магнитным рассеянием с подвижной обмоткой, предназначенные для питания дуги при автоматической сварке под флюсом на токах от 450 до 1200 а (см. табл. 5). В трансформаторах СТР сердечник броневого типа собран из четырех отдельных сердечников (фиг. 18). Средний составной стержень, на котором размещены обмотки, образуется из четырех отдельных стержней. В пространстве между этими стержнями размещается винт или подвижная штанга, на которой крепится подвижная первичная обмотка. Регулирование или настройка режима в трансформаторах СТР производится раздвиганием или сближением обмоток. В трансформаторах СТР-1000 подвижная катушка закреплена на винте, который вращается от реверсивного электрического привода. Реверсивный электрический привод состоит из двух короткозамкнутых асинхронных двигателей, которые соединяются с валом редуктора механизма перемещения обмотки при помощи одной из двух электромагнитных муфт привода. В течение всего времени сварки оба двигателя включены в электрическую

сеть. Двигатели могут вращать редуктор в разные стороны. В зависимости от включения той или другой муфты соответствующий двигатель перемещает подвижную обмотку либо в сторону увеличения расстояния между обмотками либо сближает их. Когда обе муфты выключены, обмотка неподвижна. Включение электромагнитных муфт производится при помощи специальной схемы управления.

Схема управления трансформатора СТР-1000 позволяет автоматически поддерживать режим сварки при изменении напряжения питающей сети.

Для дистанционного управления перемещением подвижной катушки на кожухе трансформатора СТР-1000 размещена двухкнопочная станция, включающая один из двух двигателей и соответствующую муфту привода.

Трансформатор СТР-1000-П по конструкции сердечника, принципу действия и основным параметрам аналогичен трансформатору СТР-1000 и отличается от него оригинальным устройством для автоматического поддержания тока дуги при изменении напряжения сети. Подвижная первичная обмотка жестко укреплена на трубчатом штоке, который может свободно перемещаться в вертикальном направлении. К нижнему концу штока прикреплен колокол-поплавок, погруженный в бак с маслом, расположенный в нижней части кожуха трансформатора.

Электромагнитная сила, действующая на подвижную обмотку и отталкивающая ее от неподвижной обмотки, пропорциональна I_d^2 . Подвижная обмотка может находиться в равновесии при условии равенства между электромагнитной силой и полным приведенным весом подвижной системы (обмотка и все связанные с ней детали). Следовательно, при заданном весе равновесие наступает при определенном заданном значении тока.

В случае отклонения тока от заданного значения при изменении напряжения питающей сети равновесие нарушается, и подвижная система начинает перемещаться, вследствие чего изменяется расстояние между обмотками. При этом индуктивность рассеяния и сварочный ток изменяются таким образом, что равновесие наступает при прежнем заданном значении тока, но при новом значении расстояния между обмотками.

Настройка заданного значения сварочного тока производится компенсированием части веса подвижных частей. Степень компенсации веса регулируется изменением объема воздуха под колоколом, погруженным в масло.

В 1957—1958 гг. во ВНИИЭСО были разработаны для серийного производства сварочные трансформаторы стержневого типа с увеличенным рассеянием, имеющие подвижные катушки первичной обмотки. Регулирование режима в этих трансформаторах осуществляется перемещением подвижных катушек, укрепленных на специальном винтовом механизме.

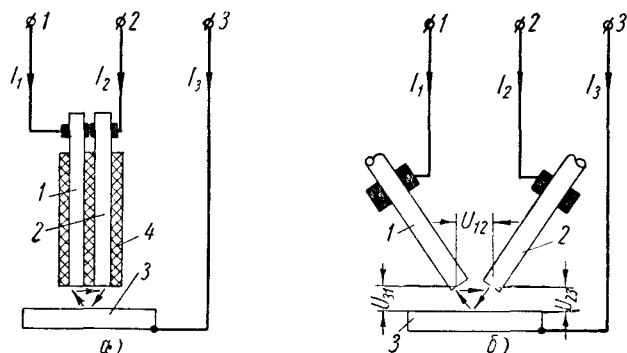
Специальные трансформаторы для сварки трехфазной дугой и для двухдуговой сварки

Схематическое изображение трехфазной сварочной дуги приведено на фиг. 19.

Параллельно расположенные электроды, разделенные непроводящим покрытием (спаренный электрод), применяются обычно при ручной сварке (фиг. 19, а). при автоматической сварке электродные проволоки располагают под некоторым углом друг к другу (фиг. 19, б).

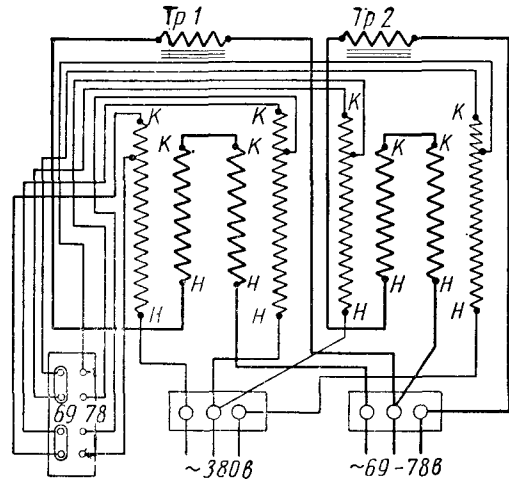
Трансформаторы ТТСД-1000, ТТС-400 и 3-СТ. Для трехфазных сварочных автоматов завод «Электрик» разработал специальный трансформатор ТТСД-1000. Трансформатор состоит из двух однофазных трансформаторов ТТСД-1000-3, собранных в одном кожухе и включенных по схеме открытого треугольника (фиг. 20). В качестве дополнительного дросселя, включаемого в цепь, подводящую ток к изделию, могут быть использованы два дросселя РСТЭ-34 от трансформатора СТЭ-34, включенные параллельно, или один дроссель РСТЭ-34, обмотка которого разделена на две равные части, соединенные параллельно. Схемы включения первичных обмоток и схемы управления для каждого однофазного трансформатора, входящего в комплект ТТСД-1000, такие же, как для трансформаторов ТТСД-1000-3 (см. фиг. 12). Провода от токоподводов электродов

подключаются к крайним клеммам выводов вторичных обмоток; провод от изделия подключается к средней клемме (фиг. 20). В эту же цепь включается третий дополнительный дроссель.



Фиг. 19. Схема трехфазной дуги: а — параллельное расположение электродов; б — расположение электродов под углом; 1 и 2 — электроды; 3 — изделие; 4 — покрытие спаренных электродов; I_1 и I_2 — токи в электродах; I_3 — ток в изделии; U_{12} — напряжение независимой дуги между электродами; U_{23} , U_{31} — напряжения зависимых дуг между электродом и изделием.

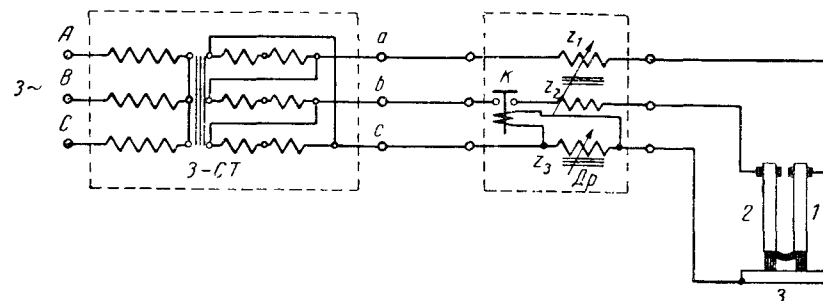
Настройка режима при питании трехфазного автомата от трансформатора ТТСД-1000 производится следующим образом. Токи в электродах устанавливаются в соответствии с выбранной скоростью подачи: напряжения отдельных дуг и ток в изделии устанавливаются в результате регулирования индуктивных сопротивлений дросселей и выбора необходимого расстояния между электродами.



Фиг. 20. Схема включения обмоток трансформатора ТТСД-1000: Н — начало катушки обмотки; К — конец катушки обмотки.

поддерживается сварщиком вручную, подачей электродов по мере их расплавления. Токи в электродах регулируются изменением сопротивления двух основных дросселей трансформатора ТТС-400, а ток в изделии — изменением сопротивления дополнительного дросселя. Перемещение подвижных пакетов дросселей при регулировании токов производится вручную.

Трансформатор 3-СТ (системы Н. С. Сиунова) с дросселем специальной конструкции (фиг. 21) предназначен для ручной дуговой сварки двумя электродами (спаренный электрод). Первичная обмотка соединяется в треугольник или звезду в зависимости от напряжения силовой сети (220 или 380 в). Вторичная обмотка на каждом стержне состоит из двух одинаковых катушек. При параллельном включении катушек вторичная обмотка соединяется в звезду ($U_0 = 59$ в); при последовательном соединении каждой пары

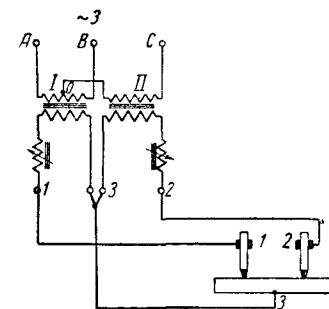


Фиг. 21. Схема включения трансформатора 3-СТ со специальным дросселем.

катушек вторичная обмотка соединяется в треугольник ($U_0 = 68$ в). Дроссель Др (фиг. 21) имеет два сердечника с подвижными пакетами и регулируемые воздушные зазоры. На одном сердечнике расположены две обмотки, имеющие одинаковое сопротивление ($z_1 = z_2$) и предназначенные для одновременного регулирования токов в электродах; обмотка z_3 второго сердечника служит для регулирования тока в изделии. Изменение сопротивлений обмоток z_1 , z_2 и z_3 при настройке режима производится вручную соответствующим перемещением подвижных пакетов сердечников, снабженных двумя винтовыми механизмами с рукоятками.

Для гашения независимой дуги между электродами при отводе спаренного электрода от изделия дроссель снабжен контактором К типа КТ-34, катушка которого подключена параллельно к обмотке z_3 дросселя (фиг. 21).

Сварочный трансформатор СТ-2Д. Для питания двухдуговых автоматов в Институте электросварки АН УССР разработан специальный однокорпусный трансформатор СТ-2Д — преобразователь трехфазного тока в двухфазный. Принципиальная электрическая схема трансформатора СТ-2Д изображена на фиг. 22. Трансформатор СТ-2Д состоит из двух однофазных трансформаторов, имеющих общий сердечник с двумя первичными и вторичными обмотками. Каждая из вторичных обмоток последовательно соединена с обмоткой дросселей, сердечники которых подобно трансформаторам СТН имеют общее ярмо с сердечниками собственно трансформаторов. Первичные обмотки трансформатора соединены по так называемой схеме Скотта (фиг. 22). По этой схеме напряжения на вторичных обмотках при холостом ходе (клеммы 1—3 и 3—2) будут равны и сдвинуты по фазе на 90° , а напряжение между клеммами 1—2 будет в $\sqrt{2}$ раз больше. При одинаковом режиме горения обеих однофазных дуг нагрузка трехфазной силовой сети в схеме СТ-2Д будет равномерной и симметричной.



Фиг. 22. Принципиальная электрическая схема трансформатора СТ-2Д.

В трансформаторе СТ-2Д независимое регулирование режима каждой однофазной дуги производится так же, как и при однодуговой сварке — изменением сопротивления дросселей, включенных в каждую фазу. Механизмы перемещения подвижных пакетов дросселей трансформатора СТ-2Д имеют два отдельных электрических привода с таким же кнопочным управлением, как в трансформаторах ТСД или СТ (см. стр. 177).

Основные технические данные трансформаторов для сварки трехфазной дугой и двухдуговой сварки приведены в табл. 6.

6. Технические данные специальных трансформаторов для сварки трехфазной дугой и для двухдуговой сварки

Тип трансформатора	ТТСД-1000	ТТС-400	3-СТ	СТ-2Д
Напряжение первичное в в	380	380	220 или 380	380
Напряжение вторичное в в	69 или 78	60	59 или 68	74
Номинальное значение ПВ% или ПР%	60	50	60	50
Номинальное вторичное рабочее напряжение в в	42	30	30	—
Номинальный вторичный ток в фазе в а	1000	400	250/440 *	680
Номинальный первичный ток в фазе в а	196	68	—	—
Пределы регулирования вторичного тока в фазе в а	400—1200	130—550	100—500	200—800
Номинальная первичная мощность в кВа	~150	~52	45	100
К. п. д.	0,9	0,86	0,85	—
Коэффициент мощности	0,67	0,565	0,70	—

* В числителе указано номинальное значение вторичного тока в фазе при соединении обмотки в треугольник, а в знаменателе — при соединении в звезду.

Сварочный преобразователь ПС-100 повышенной частоты

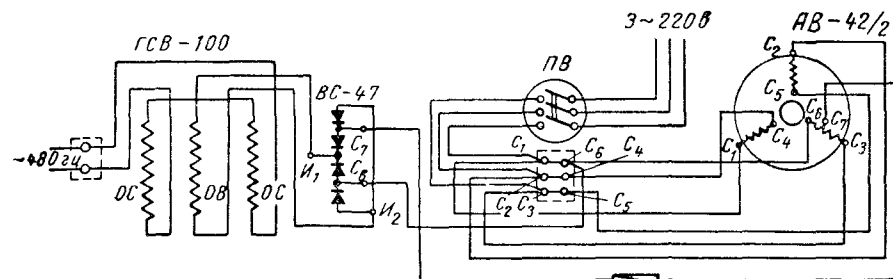
При сварке изделий из стали малой толщины на малых токах устойчивость дуги переменного тока понижается. Устойчивость дуги повышается с повышением частоты переменного тока, так как в этом случае увеличивается скорость нарастания напряжения, необходимого для повторного возбуждения дуги в начале каждого полупериода.

Заводом «Электрик» разработан однокорпусный передвижной сварочный преобразователь ПС-100-1, предназначенный для питания дуги переменного тока повышенной частоты при ручной дуговой сварке изделий толщиной от 1 до 3 мм.

Преобразователь состоит из генератора ГСВ-100 однофазного переменного тока повышенной частоты и приводного асинхронного короткозамкнутого двигателя АВ-42/2 (фиг. 23), имеющих общий корпус. Генератор ГСВ-100 выполнен по типу двухстаторных однофазных индукторных машин. В пазах статора расположены две статорные обмотки ОС, соединенные последовательно; обмотка возбуждения ОВ питается от селенового выпрямителя ВС-47. Со стороны переменного тока выпрямитель подключен к двум точкам (C_6 и C_7 , фиг. 23) одной из фаз обмотки статора асинхронного двигателя.

Ротор генератора — зубчатый с открытыми пазами, обмотки не имеет. Частота а. д. с. индуктируемая в обмотке статора генератора пропорциональна числу оборотов и числу зубцов ротора.

Напряжение на клеммах генератора ГСВ-100 при нагрузке не изменяется и равно 80—90 в. Для получения падающей характеристики источника питания и регулирования тока дуги в сварочную цепь последовательно с дугой включается специальный дроссель типа РТ-100. Плавное регулирование тока осуществ-



Фиг. 23. Схема внутренних соединений преобразователя ПС-100-1.

ствляется изменением воздушного зазора в сердечнике дросселя, снабженном подвижным пакетом. Для расширения пределов регулирования в дросселе предусмотрено три дополнительных ступени регулирования (малые, средние и максимальные токи). Ступенчатое регулирование осуществляется изменением числа витков обмотки дросселя.

Основные технические данные преобразователя ПС-100-1

Генератор ГСВ-100

Напряжение холостого хода в в	80—90
Номинальное рабочее напряжение в в	25
Сварочный ток в а:	
при ПР% = 100%	80
при ПР% = 65%	100
Пределы регулирования сварочного тока в а	20—115
Мощность при ПР% = 100% в кВа	2
Частота сварочного тока в гц	480
Напряжение возбуждения в в	39
Ток возбуждения в а	3

Двигатель АВ-42/2, трехфазный асинхронный короткозамкнутый

Мощность в кВт	4
Напряжение в в	220/380
Ток в а	13,5/7,8
Соединение фаз	Δ/Y
Частота в гц	50
Скорость вращения в об/мин	2900
Коэффициент мощности	0,86

Преобразователь

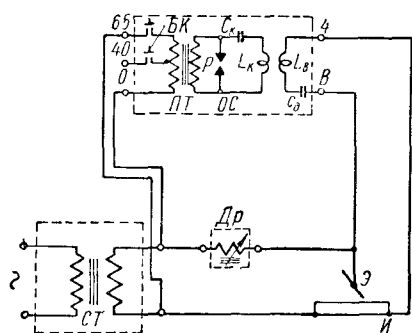
К. п. д. при ПР% = 100%	0,6
Вес в кг:	
преобразователя	160
дросселя	21

Осцилляторы и импульсные возбудители дуги

Осцилляторы. Устойчивость дуги переменного тока можно повысить при помощи специальных высокочастотных аппаратов — осцилляторов, подключаемых к дуге параллельно со сварочным трансформатором. Осциллятор, преобразующий низкое напряжение промышленной частоты в импульсы высокой частоты и высокого напряжения, служит для облегчения зажигания дуги в начале сварки и улучшения условий повторного зажигания дуги при переходе значения сварочного тока через нуль.

Осциллятор представляет собой маломощный искровой генератор высокочастотных затухающих колебаний.

Принципиальная схема осцилляторов типа М-3 и ОС-1 и схема их включения в сварочную цепь приведены на фиг. 24. Осциллятор ОС имеет повышающий трансформатор ПТ с большим рас-



Фиг. 24 Принципиальная схема осцилляторов типа М-3 и ОС-1 и схема их включения в сварочную цепь.

сеянием к вторичной обмотке которого подключается разрядный колебательный контур, состоящий из конденсатора (емкости) C_k , индуктивности L_k и искрового разрядника P . Кроме этого, в осцилляторе имеется катушка L_c , размещенная концентрически на одном каркасе с катушкой L_k . Вследствие чего между катушками создается трансформаторная связь. От катушки L_c через защитный (блокировочный) конденсатор C_d сделаны выводы к выходным клеммам осциллятора B и $Ч$. С первичной стороны питающий трансформатор ПТ подключается к однофазной сети переменного тока напряжением 65 (клеммы 0 и 65) или 40 в (клеммы 0 и 40), напряжение не должно изменяться при работе осциллятора.

В осцилляторе ОС-1 вывод для включения на 40 в отсутствует.

Как показано на фиг. 24, осциллятор с первичной стороны может быть подключен к выводам вторичной обмотки сварочного трансформатора СТ с отдельным дросселем Др. При питании дуги от сварочных трансформаторов типа СТАН или СТН нельзя подключать осциллятор к вторичным клеммам трансформатора, так как напряжение на этих клеммах не остается неизменным при сварке. В этом случае питание осциллятора следует производить от силовой сети переменного тока через понижающий автотрансформатор типа ЛАТР-1 или другого типа.

Принцип действия осциллятора. Конденсатор C_k заряжается от трансформатора ПТ, обмотки которого имеют сравнительно большое индуктивное сопротивление. Вторичное напряжение трансформатора при холостом ходе равно 2500 в. Когда напряжение на обкладках конденсатора достигает значения пробивного напряжения, происходит пробой искрового промежутка разрядника и конденсатор разряжается на индуктивную катушку L_k . Энергия электрического поля, запасенная в конденсаторе, переходит в энергию магнитного поля индуктивной катушки. После разряда конденсатора энергия, запасенная в магнитном поле катушки, переходит в электрическую; по контуру опять проходит ток, но в обратном направлении, и конденсатор вновь заряжается. Далее процесс повторяется и возникают периодические колебания тока и напряжения в виде группы затухающих импульсов высокой частоты. Частота колебаний f_k не зависит от частоты переменного тока, питающего трансформатор ПТ, и возбуждающего колебания, а зависит лишь от параметров колебательного контура: емкости C_k , индуктивности L_k и активного сопротивления контура.

В осцилляторах М-3 и ОС-1 частота f_k равна 250 000 гц.

Импульсный высокочастотный ток, протекающий в катушке L_k колебательного контура, индуцирует в связанной с ней катушке L_c такие же затухающие

импульсы напряжения высокой частоты. Эти импульсы сравнительно высокого напряжения и высокой частоты подводятся к дуге параллельно сварочному трансформатору.

Действующее значение выходного напряжения осциллятора составляет при холостом ходе 2500—3000 в, вследствие чего дугу можно зажечь даже без предварительного соприкосновения электрода с изделием. При горении дуги действующее значение напряжения импульсов осциллятора снижается до 200 в. Однако при правильной фазировке сварочного тока и группы импульсов даваемых осциллятором, это напряжение будет достаточным для значительного облегчения повторного зажигания дуги переменного тока и повышения ее устойчивости.

В настоящее время осцилляторы применяются главным образом при сварке в защитных газах неплавящимся электродом, а также в некоторых случаях сварки открытой дугой на малых токах. Основные технические данные осцилляторов М-3 и ОС-1 приведены в табл. 7.

7. Основные технические данные осцилляторов

Тип	Первичное напряжение в в	Вторичное напряжение холостого хода в в	Потребляемая мощность в вт	Частота в кГц	Данные колебательного контура			Вес в кг	Габариты в мм
					Емкости конденсатора в мкФ	Индуктивность катушки L_k в мГн	Емкости защитного конденсатора C_d в мкФ		
М-3	45—60	2500	150	250	0,0025	0,16	1—2	15	350 × 290 × 240
ОС-1	65	2500	130	250	0,0025	0,16	1	15	350 × 290 × 240

Импульсные возбудители дуги. Повышение стабильности открытой дуги в дуге переменного тока в защитных газах может быть достигнуто при помощи маломощного генератора импульсов ГИ-1, разработанного в Институте электро-сварки АН УССР. Генератор имеет конденсатор, заряжаемый от источника переменного тока через индуктивность с насыщающимся магнитопроводом. Разрядная цепь конденсатора подключается к дуге параллельно сварочному трансформатору так же, как и осциллятор.

В разрядной цепи имеется быстродействующий управляемый электронно-ионный выключатель, содержащий два тиратрона, включенных встречно-параллельно. Электронно-ионный выключатель замыкает разрядную цепь и обеспечивает синхронизированную подачу в дугу кратковременных импульсов повышенного напряжения (200—300 в) при разряде конденсатора в момент перехода кривой сварочного тока через нулевое значение, т. е. при повторном возбуждении дуги.

Импульсные возбудители вследствие синхронизированной подачи импульсов обеспечивают более надежное повторное зажигание дуги по сравнению с осцилляторами. Кроме того, они не вызывают значительных радиопомех, как это имеет место в случае применения осцилляторов.

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

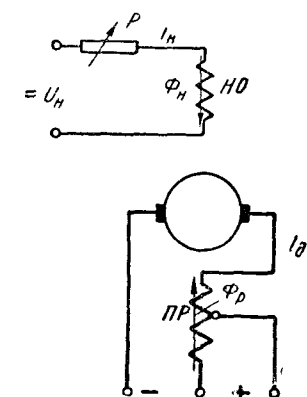
Для питания дуги постоянного тока промышленностью СССР выпускаются передвижные или стационарные однокорпусные сварочные преобразователи и стационарные или передвижные сварочные агрегаты в двухмашинном испол-

нении. К источникам постоянного тока относятся также получившие применение в последние годы полупроводниковые сварочные выпрямители.

В СССР разработаны и выпускаются однопостовые сварочные генераторы трех типовых систем.

Сварочные генераторы с независимым возбуждением и размагничивающей последовательной обмоткой

Принципиальная схема генератора этого типа изображена на фиг. 25. Генератор имеет две обмотки возбуждения: обмотку независимого возбуждения (HO), питаемую от постороннего источника постоянного тока (маломощный генератор-возбудитель или полупроводниковый выпрямитель), и размагничивающую последовательную обмотку (PR). Ток в обмотке независимого возбуждения и создаваемый им поток Φ_n не изменяются при изменении нагрузки генератора¹. Поток размагничивающей последовательной обмотки Φ_p пропорционален сварочному току и направлен встречно потоку Φ_n . Вследствие этого общий суммарный поток генератора в воздушном зазоре машины и соответственно э. д. с. в якоре генератора, индуцируемая этим потоком, будут уменьшаться с увеличением сварочного тока. Поэтому внешняя характеристика генератора будет падающей.



Фиг. 25. Принципиальная схема сварочного генератора с независимым возбуждением и размагничивающей последовательной обмоткой.

возбуждения вызывает увеличение намагничивающего потока Φ_n , чем обуславливается соответствующее увеличение напряжения холостого хода U_0 и сварочного тока I_d при $U_d = \text{const}$ или увеличение напряжения дуги U_d при $I_d = \text{const}$.

Для расширения пределов регулирования без значительного изменения напряжения холостого хода в некоторых генераторах этой системы применяется ступенчатое секционирование последовательной обмотки (две ступени, см. фиг. 25). На ступени с большим числом витков w_p последовательной обмотки размагничивающее действие обмотки будет больше (R_s увеличивается) и соответственно внешняя характеристика будет круче, а сварочный ток или напряжение дуги будут меньше при том же напряжении холостого хода (см. фиг. 27).

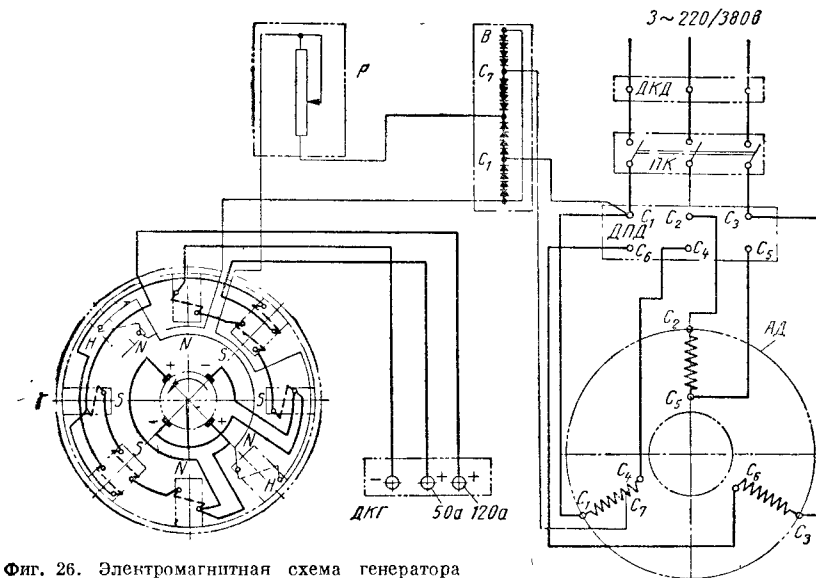
В настоящее время в СССР разработаны следующие преобразователи и агрегаты с генераторами этой системы.

Преобразователь ПСО-120. Передвижной однокорпусный сварочный преобразователь ПСО-120, разработанный ВНИИЭСО, состоит из однопостового сварочного генератора ГСО-120, имеющего общий вал и корпус с приводным асинхронным короткозамкнутым двигателем типа АВ-42/2 (фиг. 26).

Генератор ГСО-120 имеет четырехполюсное исполнение. Обмотка независимого возбуждения питается от сети переменного тока через селеновый выпрямитель В (фиг. 26). Регулирование режима в генераторе ГСО-120 комбиниро-

¹ Здесь подразумеваются изменения нагрузки при работе в статическом режиме.

ванное (см. фиг. 26, 27). Последовательная обмотка секционирована и от нее на клеммную доску ДКГ генератора сделаны выводы к двум клеммам «+».

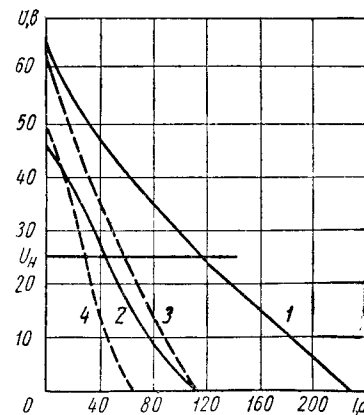


Фиг. 26. Электромагнитная схема генератора ГСО-120 и схема включения двигателя преобразователя ПСО-120. Г — генератор ГСО-120; АД — асинхронный двигатель АВ-42/2. ДКГ — клеммная доска генератора; Р — реостат, В — выпрямитель ВС-47; ДКД — клеммная доска двигателя; ПК — панетный выключатель ПКЗ-25; ДПД — доска переключений обмоток статора двигателя в звезду или треугольник.

При работе на первой ступени (токи 30—60 а) сварочная цепь подключается к левой клемме «—» и средней клемме «+», что соответствует полному числу витков последовательной обмотки. При подключении сварочной цепи к крайним клеммам ступень соответствует большему току (50—120 а). В пределах каждой ступени режим регулируется плавным реостатом Р.

Преобразователь ПСО-800. Стационарный однокорпусный преобразователь ПСО-800, разработанный ВНИИЭСО, предназначен для автоматической сварки на постоянном токе. Преобразователь состоит из генератора ГСО-800 с приводом от асинхронного короткозамкнутого двигателя типа АВ-82-4. Обмотка независимого возбуждения питается от сети переменного тока через стабилизатор напряжения и селеновый выпрямитель. Стабилизатор напряжения служит для устранения влияния колебаний напряжения сети на возбуждение генератора и режим сварки.

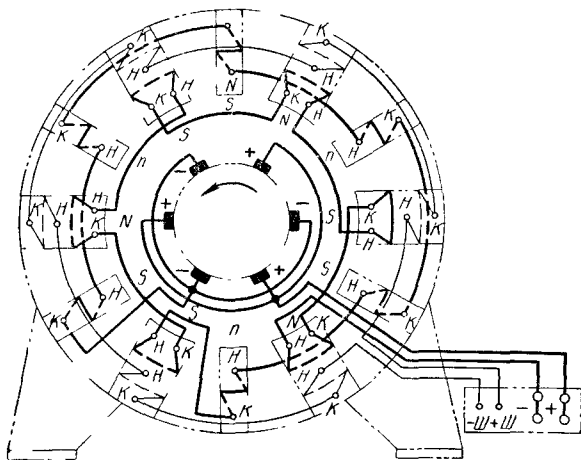
Генератор ГСО-800, подобно генератору ГСО-120, имеет две ступени комбинированного регулирования (200—500 и 500—800 а) с плавным регулиро-



Фиг. 27. Внешние характеристики генератора ГСО-120 при комбинированном способе регулирования режима: 1, 2 — вторая ступень ($w_p = 14$); 3, 4 — первая ступень ($w_p = 30$).

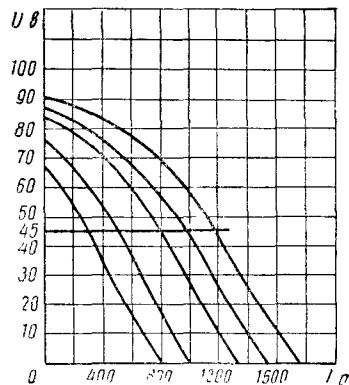
ванием режима в пределах каждой ступени при помощи реостата в цепи обмотки независимого возбуждения.

Сварочный агрегат ПАС-1000. Агрегат ПАС-1000, выпускаемый заводом «Электрик», состоит из однопостового сварочного генератора СГ-1000-1 и при-



Фиг. 28. Электромагнитная схема генератора СГ-1000-1.

водного дизельного двигателя 1Д6-150, смонтированных на общей раме с металлическим каркасом и закрытых ишторами. Агрегат предназначен для питания постоянным током сварочных автоматов, работающих в полевых и монтажных условиях.



Фиг. 29. Внешние характеристики генератора СГ-1000-1.

Питание обмотки независимого возбуждения сварочного генератора СГ-1000-1 производится через трехфазный понижающий трансформатор ТТ-1 85 (мощность 1,85 кВА, напряжение 230/50–60 В) и селеновый выпрямитель, собранный по трехфазной мостовой схеме.

Сварочный агрегат АСО-2000. Агрегат АСО-2000 состоит из двух однопостовых сварочных генераторов СГ-1000-II и приводного асинхронного короткозамкнутого двигателя типа ДАМ-6-114-4, соединенных эластичными муфтами

и смонтированных на общей фундаментной плите. Агрегат предназначен для раздельного питания двух сварочных автоматов при номинальном токе 1000 А в каждом автомате или для питания одного автомата при токах до 2000 А. В последнем случае оба сварочных генератора включаются параллельно (см. стр. 211). По электромагнитной схеме, основным параметрам, методам настройки режима и внешним характеристикам генератор СГ-1000-II аналогичен сварочному генератору СГ-1000-1 (фиг. 28 и 29).

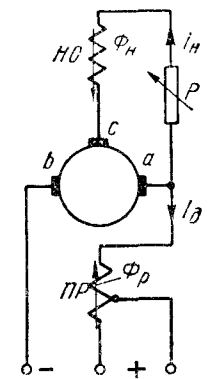
Обмотка независимого возбуждения в генераторе СГ-1000-II должна получать питание от постороннего источника постоянного тока с напряжением 220 В, причем возбудитель в комплект поставки агрегата не входит.

Заводом «Электрик» разработан также двухмашинный агрегат АСО-1000, предназначенный для питания одного автомата до 1000 А и состоящий из одного сварочного генератора типа СГ-1000-II с приводом от асинхронного короткозамкнутого двигателя.

Основные технические данные преобразователей ПСО-120, ПСО-800 и агрегатов ПАС-1000 и АСО-2000 приведены в табл. 8 (см. стр. 194–197).

Сварочные генераторы с намагничивающей параллельной и размагничивающей последовательной обмотками возбуждения

Генераторы этой системы по принципу действия во многом сходны с генераторами, имеющими независимое возбуждение. Основным оригинальным отличием рассматриваемой схемы¹ (фиг. 30) является самовозбуждение генераторов. Намагничивающая обмотка НО, в отличие от обычных шунтовых генераторов, подключена параллельно половине обмотки якоря генератора: к одной из основ-



Фиг. 30. Принципиальная схема генератора с намагничивающей параллельной и размагничивающей последовательной обмотками возбуждения.

ных щеток а и дополнительной щетке с, расположенной на коллекторе посередине между двумя основными щетками а и б. Э. д. с. в той половине обмотки якоря, к которой параллельно подключается намагничивающая обмотка, мало изменяется при нагрузке. Объясняется это следующим. При нагрузке в воздушном зазоре машины взаимодействуют три потока: поток Φ_H намагничивающей обмотки НО, поток Φ_P размагничивающей последовательной обмотки ПР и поток поперечной реакции якоря Φ_A . Поток поперечной реакции якоря, замыкаясь через якорь и полюсы, подмагничивает одну половину главного полюса, будучи направлен согласно с потоком Φ_H ; вторую половину этого полюса он размагничивает, так как в этой части воздушного зазора он направлен навстречу потоку Φ_H и согласно с потоком Φ_P . Потоки Φ_P и Φ_A пропорциональны сварочному току. Поток поперечной реакции якоря компенсирует размагничивающее действие последовательной обмотки таким образом, что суммарный поток в этой части зазора под главным полюсом при нагрузке практически мало изменяется. Этот суммарный поток определяет величины э. д. с. в той половине якоря и напряжения U_{ac} на щетках а — с, к которым параллельно подключена намагничивающая обмотка. Вследствие этого напряжение на намагничивающей обмотке U_{ac} при нагрузке будет практически неизменным. Следовательно, генераторы этой системы имеют как бы независимое от нагрузки возбуждение. В другой части воздушного зазора под главным полюсом поток поперечной реакции якоря, наоборот, усиливает размагничивание, действуя согласно с потоком Φ_P последовательной обмотки. Поэтому суммарный поток в этой части воздушного зазора не только уменьшается при нагрузке до нуля, но и меняет свое направление, возрастая при дальнейшем увеличении нагрузки. В соответствии с этим э. д. с. во второй половине обмотки якоря и напряжение U_{cb} на щетках с — б

¹ Авторское свидетельство № 50252 Я. А. Андрианова и В. А. Дьячкова.

8. Основные технические данные сварочных однокорпусных

Тип преобразователя или агрегата	Сварочный генератор						Двигатель	
	Тип	Напряжение холостого хода в в	Номинальное рабочее напряжение в в	Номинальный КПД %	Номинальная мощность в а	Пределы регулирования в а	Тип	Мощность
ПСО-120 *	ГСО-120	48—65	25	45	120	30—60 60—120	Асинхронный короткозамкнутый АВ-42/2	4 кВт
ПСО-800 *	ГСО-800	60—90	63—92		800	200—500 500—800	АВ-82/4	55 кВт
АСО-20 **)	СГ-1000-II (два генератора)	1000			300—1200	ДАМ-6-114/4	115 кВт	
ПАС-100.)	СГ-1000-I				Дизельный 1Д6-150	150 л. с.		
ПС-500	ГС-500	60—90	40	65	500	120—300 300—600	Асинхронный короткозамкнутый А-72/4	28 кВт
ПСО-500 *	ГСО-500	58—86				125—300 250—600		
САМ-400	СГП-3-V	60—90				120—600	Асинхронный короткозамкнутый МАФ-82-73/4	32 кВт
САМ-400-I	СГП-3-V							
ПАС-400-VI и ПАС-400-VIII	СГП-3-VI	65—105	75—90			120—400 350—600	Автомобильный бензиновый ЗПП-120	55 л. с.
АСД-3-1 и АСДП-500 **	СГП-3-VIII	120—600				Дизельный ЯАЗ-204Г	60 л. с.	

* Указанные преобразователи и агрегаты переданы в серийное производство

** Агрегат АСДП-500 установлен на автоприцепе

Преобразователей и двухмашинных агрегатов постоянного тока

Рель			Преобразователь или агрегат					
Напряжение в в	Скорость вращения в об/мин	cos φ	Исполнение	К. п. д.	Вес в кг	Габариты в мм		
						Длина	Ширина	Высота
220/380	2900	0,88	Однокорпусный передвижной на колесах	0,47	155	1055	550	730
	1450	—	Однокорпусный стационарный	0,59	1040	1330	650	660
	1460	0,86	Стационарный, трехмашинный (два генератора и двигатель) на раме	—	~3500	4000	980	1180
—	1500	—	Двухмашинный передвижной на раме с крышей и шторами	—	4000	3920	1500	2100
220/380	1450	0,86	Однокорпусный передвижной на колесах	0,54	960	1400	770	1140
			780		1275	1080		
		1460	—	Стационарный двухмашинный на раме	—	1450	1770	650
220	1500	—	—		1600	1980	940	
—	1600	—	Двухмашинный передвижной на раме, с крышей и металлическими шторами	—	1900	2870	880	1920
—	1500	—		—	2500	2820	1100	2100

Тип преобразователя или агрегата	Сварочный генератор						Двигатель	
	Ген	Напряжение холостого хода в в	Номинальное рабочее напряжение в в	Номинальный КП%	Номинальный ток в а	Пределы регули- рования в а	Тип	Мощность
АСВ-300-2	ГСО-300	47—73	30	65	300	75—180 175—320	Автомобиль- ный бензино- вый ГАЗ-МК	30 л. с.
ПСО-300	ГСО-300					75—200 180—320	Асинхронный коротко- замкнутый АВ-62/4	14 квт
ПС-300-М	СГ-300-М	50—76	30— 35		340	80—380	Асинхронный коротко- замкнутый А-62/4	
ПС-300	СГ-300	50—76	35			70—380	Асинхронный коротко- замкнутый А-62/4	
САМ-250 и САМ-250-1	СМГ2М-1V СМГ2М-VI		30		300	70—340	Постоянного тока типа ПН-100	14,25 квт
СУГ-2р	СМГ-2г-II	50—68				45—100 75—175 130—320	Асинхронный коротко- замкнутый А-62/4	14 квт
САР-2м-VI	СМГ-2м-VI	50—76				75—340	Автомобиль- ный бензино- вый ГАЗ-МК	30 л. с.
САР-2г-III	СМГ-2г-III	50—68				45—100 75—175 130—320		
САР-2г-IV	СМГ-2г-IV					45—100 75—175 130—320		
Многопо- стовой ПСМ-1000	СГ-1000	60	60	100	1000	9 постов с регулиру- ванием от 10 до 200 а или 6 постов с регулиро- ванием от 15 до 300 а каждый	Асинхронный коротко- замкнутый ВДЭ-75 4 или АВ-91/4	75 квт

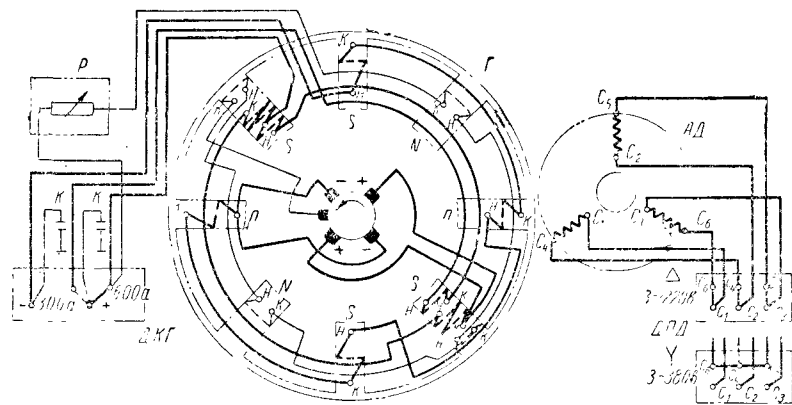
Напряжение в В	Скорость вращения в об/мин	cos φ	Преобразователь или агрегат					
			Исполнение	К. п. д.	Вес в кг	Габариты в мм		
220/380	1450	0,88	Двухмашинный переносный на раме, с крышей	—	850	2080	810	1730
			Однокорпусный передвижной на колесах	—	440	1015	590	980
		0,87		0,57	600 620	1200 1220	755	1180
220	1560	—	Двухмашинный стационарный, на фундаментной плите	0,5	850 825	1610	550	915 935
220/380	1450	0,87	Двухмашинный передвижной на тележке с колесами	—	550	1620	626	1080
—	1430—1550	—	Двухмашинный переносный на раме, с крышей	—	900	2080 2120	810 820 806	1730 1730
220/380	1470	0,89	Стационарный однокорпусный	—	1700	1470	865	910

будут с увеличением нагрузки уменьшаться до нуля, а затем изменять свой знак, возрастая при дальнейшем увеличении нагрузки. Таким образом, в результате взаимодействия независимого потока намагничивающей обмотки и размагничивающего потока последовательной обмотки напряжения на основных щетках U_{ab} равное алгебраической сумме напряжений U_{ac} и U_{cb} , будет с увеличением нагрузки уменьшаться, т. е. внешняя характеристика генератора будет падающей.

Настройка или регулирование режима в генераторах этой системы производится так же, как в сварочных генераторах с независимым возбуждением. Плавное регулирование в пределах каждой ступени осуществляется реостатом R в цепи намагничивающей обмотки, а ступенчатое — секционированием последовательной обмотки (фиг. 30).

В настоящее время в СССР применяются следующие сварочные преобразователи и агрегаты с генераторами рассматриваемой системы.

Преобразователи ПС-500 и ПСО-500. Передвижной однокорпусный преобразователь ПС-500, разработанный ВНИИЭСО и заводом «Электрик», состоит из однополюсного генератора ГС-500, имеющего общий вал и корпус с асинхронным короткозамкнутым двигателем типа А-72/4 (фиг. 31). Пре-

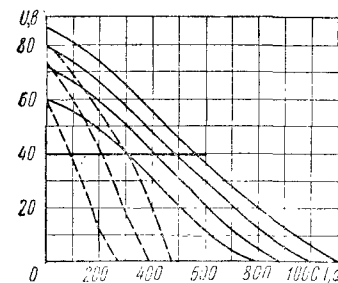


Фиг. 31. Электромагнитная схема генератора ГС-500 (Г) и схема включения двигателя (АД) сварочного преобразователя ПС-500 (вид со стороны коллектора); ДПД — клеммная доска для переключения двигателя; Δ — соединение клемм при включении обмоток двигателя в треугольник; Y — соединение клемм при включении в звезду.

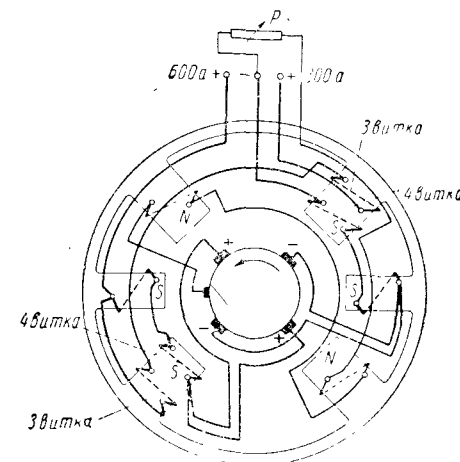
образователь ПС-500 предназначен для питания дуги при автоматической и полуавтоматической сварке под флюсом, а также может быть использован для ручной сварки открытой дугой и при сварке в среде защитных газов. Генератор ГС-500 имеет четыре основных полюса и четыре дополнительных. Намагничивающая обмотка расположена на всех основных полюсах размагничивающая — только на двух полюсах одинаковой полярности (см. фиг. 31). Вследствие такого размещения обмоток уменьшается взаимная индукция и улучшаются динамические свойства генератора. Настройка режима в генераторах ГС-500 комбинированная (плавная и ступенчатая). На щитке генератора ДРГ имеются четыре клеммы: одна отрицательная с выводом от щеток генератора, две положительных с выводами от секции последовательной обмотки и дополнительная положительная клемма. Сварочная цепь подключается к отрицательной и дополнительной положительной клеммам. Переключение ступеней производится при помощи переключки, соединяющей дополнительную клемму с одним из положительных выводов от последовательной обмотки. В более ранних выпусках ГС-500 переключение ступеней осуществлялось без переключки путем непосредственного присоединения сварочного провода к одному из положительных выводов на щитке генератора.

Внешние характеристики генератора ГС-500 изображены на фиг. 32, где пунктирные кривые относятся к первой ступени, а сплошные — ко второй ступени регулирования.

Передвижной однокорпусный преобразователь ПС-500 разработан ВНИИЭСО для серийного производства взамен преобразователя ПС-500. В комплект преобразователя ПСО-500 входит однополюсный сварочный генератор ГСО-500, являющийся усовершенствованной модификацией генератора ГС-500, которому он соответствует по своему назначению и номинальным данным. Генератор ГСО-500 (фиг. 33) имеет четыре основных полюса и только два дополнительных. Намагничивающая параллельная обмотка возбуждения расположена на одной паре одноименных основных полюсов; на другой паре размещены катушки секционированной последовательной обмотки. Благодаря такому рас-



Фиг. 32. Внешние характеристики генератора ГС-500 при комбинированном регулировании режима.



Фиг. 33. Электромагнитная схема генератора ГСО-500.

положению обмоток на основных полюсах улучшаются динамические свойства генератора. Кроме того, усиливается действие дополнительных полюсов одной полярности и ослабляется действие дополнительных полюсов другой полярности. Поэтому в генераторе ГСО-500 дополнительные полюсы с ослабленным действием не устанавливаются.

Сварочные агрегаты САМ-400 и САМ-400-1. Стапельные агрегаты этого типа состоят из однополюсного сварочного генератора СГП-3-V и электродвигателя, соединенных эластичной муфтой и смонтированных на сварной металлической раме. В агрегате САМ-400 применен трехфазный асинхронный двигатель типа МАФ-82-73/4, а в агрегате САМ-400-1 — двигатель постоянного тока типа ПН-290. Агрегаты САМ-400 и САМ-400-1 предназначены для дуговой сварки на судах морского и речного флота в условиях повышенной влажности.

По своей схеме, номинальным данным, методам и пределам настройки режима генератор СГП-3-V аналогичен генератору ГС-500 (см. табл. 8).

Сварочные агрегаты ПАС-400-VI, ПАС-400-VIII, АСБ-300-2, АСД-3-1 и АСДП-500. Агрегаты этого типа состоят из однополюсного генератора и двигателя внутреннего сгорания, соединенных эластичной муфтой и смонтированных на сварной металлической раме. За исключением АСДП-500 агрегаты защищены от атмосферных осадков железной кровлей и металлическими боковыми щитами.

Агрегаты ПАС-400-VI, ПАС-400-VIII, АСБ-300-2 укомплектованы бензиновыми двигателями автомобильного типа АСД-3-1 и АСДП-500 — дизельными.

Агрегаты предназначены для ручной сварки наплавки и резки металлических электродом. могут работать в полевых и монтажных условиях при отсут-

ствии электрических сетей. Агрегаты ПАС-400-VI и ПАС-400-VIII приспособлены также для дуговой сварки и резки металлов под водой.

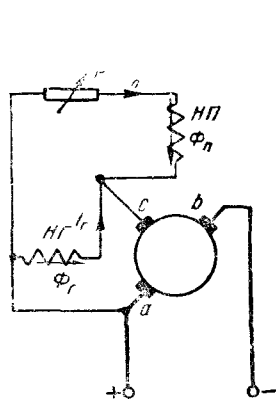
Агрегаты ПАС-400-VI и ПАС-400-VIII укомплектовываются сварочным генератором СГП-3-VI, а АСД-3-I и АСДП-500 — сварочным генератором СГП-3-VIII. Агрегат АСДП-500 установлен на автоприцепе. Сварочные генераторы СГП-3-VI и СГП-3-VIII по своей схеме, номинальным данным и пределам регулирования режима соответствуют генератору ГС-500 (см. табл. 8).

Агрегат АСБ-300-2 укомплектовывается генератором ГСО-300*, разработанным ВНИИЭСО. Электромагнитная схема генератора ГСО-300 аналогична схеме генератора ГСО-500 (см. фиг. 33). Генератор ГСО-300 предназначен для дуговой сварки металлическим электродом при номинальном токе 300 а и номинальном напряжении 30 в.

Преобразователь ПСО-300. На базе генератора ГСО-300 в 1959 г. начат серийный выпуск однокорпусных передвижных сварочных преобразователей ПСО-300 (см. табл. 8).

Сварочные генераторы с расщепленными полюсами

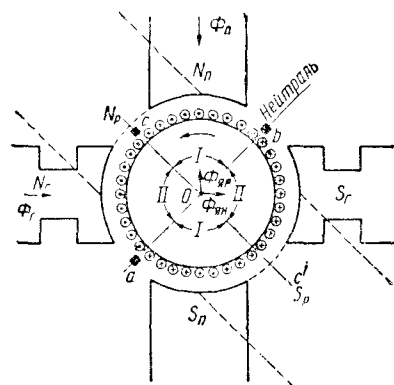
По принципу действия и схеме генераторы с расщепленными полюсами можно рассматривать как разновидность генератора с самовозбуждением, имеющего намагничивающие параллельные обмотки, питаемые от одной основной и одной дополнительной щеток (фиг. 34). Как известно, поперечный поток



Фиг. 34. Принципиальная схема генератора с расщепленными полюсами: НГ — намагничивающая обмотка главных полюсов; НП — намагничивающая обмотка поперечных полюсов; i_p — ток в обмотке главных полюсов; i_n — ток в обмотке поперечных полюсов; Φ_r — поток главных полюсов; Φ_n — поток поперечных полюсов.

реакции якоря подмагничивает одну половину основного полюса и размагничивает другую. Если одну половину полюса или весь полюс сделать насыщенным за счет потока намагничивающей обмотки, то подмагничивающее действие потока реакции якоря будет велико, а размагничивание при нагрузке может быть весьма интенсивным. Поэтому э. д. с. в якоре и напряжение на основных щетках генератора с увеличением нагрузки будут уменьшаться, т. е. внешняя

* Более ранние выпуски этого агрегата под маркой АСБ-300 были укомплектованы сварочным генератором с расщепленными полюсами типа СМГ-2М-VI (см. стр. 202).



Фиг. 35. Расположение основных полюсов и взаимодействие потоков в генераторе с расщепленными полюсами: $\Phi_{я}$ — намагничивающая составляющая потока реакции якоря; $\Phi_{н}$ — размагничивающая составляющая потока реакции якоря.

характеристика генератора будет падающей без применения специальной размагничивающей последовательной обмотки. Для усиления размагничивающего действия реакции якоря и увеличения насыщения той части полюса, поток которой желательно поддерживать при нагрузке неизменным, в генераторах с расщепленными полюсами обе части каждого полюса разделены (расщеплены) на два полюса одинаковой полярности, которые располагаются вдоль окружности якоря один за другим (N_g и N_n , S_g и S_n , фиг. 35). Таким образом, генератор с расщепленными полюсами, имея четыре основных полюса, в магнитном отношении является по существу двухполюсной машиной, так как каждая пара одноименных полюсов, расположенных рядом, образует один расщепленный полюс N_p или S_p (фиг. 35). Поэтому генератор с расщепленными полюсами имеет лишь одну нейтраль, расположенную перпендикулярно оси, проходящей между парой одноименных полюсов (см. фиг. 35). На этой нейтрали на принципиальной электрической схеме (фиг. 35) размещены основные щетки генератора а и б, между ними расположена дополнительная третья щетка с (фиг. 34 и 35).

Полюсы разной полярности, расположенные горизонтально, называются главными полюсами; полюсы, расположенные вертикально, называются поперечными. Главные полюсы более насыщены, чем поперечные. Каждая пара полюсов имеет отдельную намагничивающую обмотку, питаемую от щеток а — с.

Поток в воздушном зазоре под главными полюсами индуцирует в одной части проводников якоря э. д. с. E_{ac} . В свою очередь, поток в воздушном зазоре под поперечными полюсами индуцирует в другой части проводников якоря э. д. с. E_{cb} .

Суммарная э. д. с. в якоре E_a равна алгебраической сумме э. д. с. E_{ac} и E_{cb} , а напряжение U_{ab} на основных щетках генератора соответственно равно алгебраической сумме напряжений на щетках а — с и с — б.

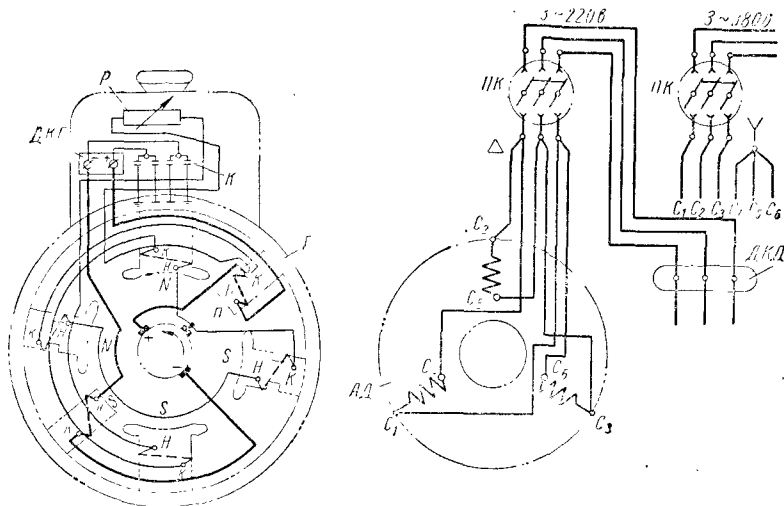
Подмагничивающее действие реакции якоря при нагрузке мало сказывается на изменении потока под главными полюсами из-за сильного насыщения этих полюсов. Вследствие этого напряжение U_{ac} на щетках а — с, от которых питаются намагничивающие обмотки полюсов, также мало изменяется при нагрузке. Размагничивающее действие реакции якоря на поток в воздушном зазоре под поперечными полюсами сказывается весьма сильно; по мере увеличения сварочного тока результирующий поток поперечных полюсов уменьшается до нуля и меняет свой знак, а затем возрастает при дальнейшем увеличении нагрузки. Поэтому напряжение на щетках с — б, зависящее от этого потока, соответственно изменяется при нагрузке.

Таким образом, напряжение U_{ab} на основных щетках генератора будет уменьшаться с увеличением сварочного тока в результате взаимодействия намагничивающих сил обмоток возбуждения и намагничивающей силы обмотки якоря, которая в генераторах с расщепленными полюсами действует так же, как размагничивающая последовательная обмотка в других системах сварочных генераторов.

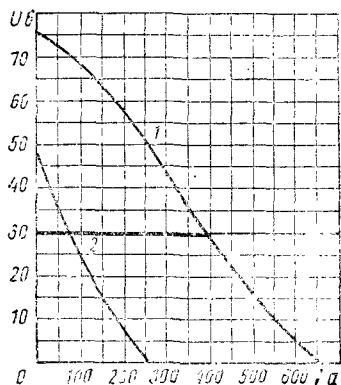
Настройка или регулирование режима производится плавно при помощи реостата P (см. фиг. 34), изменяющего ток в намагничивающей обмотке НП поперечных полюсов. При этом соответственно изменяется напряжение холостого хода генератора. В некоторых типах выпускаемых генераторов с расщепленными полюсами применяется также ступенчатое регулирование путем смещения щеток с нейтрали. В таких генераторах щетки устанавливаются на коллекторе в двух или трех фиксированных положениях, что дает две или три ступени настройки. При смещении щеток по направлению вращения генератора размагничивающее действие потока реакции якоря (поток $\Phi_{я}$, фиг. 35) увеличивается и соответственно уменьшается сварочный ток или напряжение дуги при том же токе возбуждения в намагничивающей обмотке НП и неизменном напряжении холостого хода. Наоборот, при смещении щеток против направления вращения генератора размагничивающее действие потока якоря уменьшается и соответственно сварочный ток или напряжение дуги увеличиваются.

В СССР широкое распространение получили следующие преобразователи агрегаты, укомплектованные сварочными генераторами с расщепленными полюсами.

Преобразователи ПС-300-М и ПС-300. Передвижной однокорпусный преобразователь ПС-300-М состоит из генератора СГ-300-М и асинхронного короткозамкнутого двигателя типа А-62/4. Схема соединения сварочного генератора СГ-300-М (фиг. 36) полностью отвечает принципиальной схеме генератора



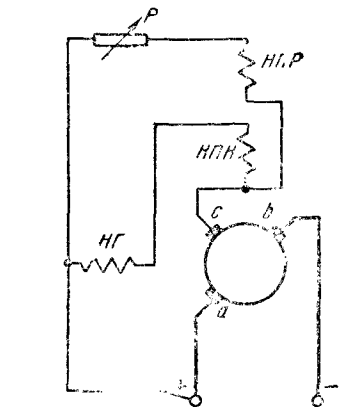
Фиг. 36. Электромагнитная схема генератора СГ-300-М (вид со стороны коммутатора) и схема включения двигателя преобразователя ПС-300-М: Г — сварочный генератор; АД — асинхронный двигатель; Р — регулировочный реостат; ДК1 — клеммная доска генератора; Б — конденсаторы фильтра для устранения радиопомех; ПК — пакетный выключатель; ДКД — клеммная доска двигателя; Δ — соединение обмоток статора в треугольник; Y — соединение обмоток статора в звезду



Фиг. 37. Внешние характеристики генератора СГ-300-М: 1 — максимальный режим, 2 — минимальный режим.

тора с расщепленными полюсами (см. фиг. 34). Регулирование режима производится только реостатом Р в намагничивающей обмотке поперечных полюсов. Внешние характеристики генератора СГ-300-М изображены на фиг. 37.

Преобразователь ПС-300 по конструкции, назначению и номинальным данным отличается от ПС-300-М лишь типом сварочного генератора, принципиальная схема которого изображена на фиг. 38. В генераторе СГ-300



Фиг. 38. Принципиальная электрическая схема генераторов СГ-300 и СГ-2г.

поперечных полюсах расположены две обмотки: нерегулируемая обмотка НПН, соединенная последовательно с обмоткой НГ главных полюсов, и регулируемая НПР, подключенная параллельно обмоткам НГ и НПН (фиг. 38). В цепь обмотки НПР включен реостат Р для плавного регулирования режима в пределах каждой ступени.

Ступенчатое регулирование производится смещением щеток с фиксацией их в двух положениях.

Сварочные агрегаты САМ-250М и САМ-250М-1 состоят из сварочного генератора с расщепленными полюсами типа СМГ 2М-IV (САМ-250М) или СМГ-2М-VI (САМ-250М-1) и электродвигателя постоянного тока типа ПН-100, соединенных эластичной муфтой и смонтированных на общей сварной раме. Они предназначены для ручной дуговой сварки и резки металлическим электродом в стационарных условиях при повышенной влажности, при температуре до +40°.

Агрегат САМ-250М отличается от САМ-250М-1 повышенной влагостойкостью изоляции машины и наличием контрольно-измерительных приборов в схеме генератора СМГ-2М-IV.

Схема генераторов СМГ-2М-VI и СМГ-2М-IV, в основном, аналогична схеме генератора СГ-300М (см. фиг. 36). Регулирование режимов в генераторах СМГ-2М-IV и СМГ-2М-VI производится только реостатом в цепи намагничивающей обмотки поперечных полюсов.

Сварочный агрегат СУГ-2Р состоит из сварочного генератора СМГ-2г-II, соединенного эластичной муфтой с асинхронным двигателем типа А-62/4 или МА-201-1/4. Машины смонтированы на общей сварной раме — тележке, снабженной тремя колесами.

Принципиальная схема генератора СМГ-2г-II соответствует схеме генератора СГ-300 (фиг. 38). Плавное регулирование производится реостатом в намагничивающей регулируемой обмотке поперечных полюсов, а ступенчатое — установкой щеток в трех фиксированных положениях, что дает три ступени регулирования.

Сварочные агрегаты САК-2М-VI, САК-2г-III и САК-2г-IV применяются в качестве стационарных или передвижных (при установке на автомашине) источников питания для ручной дуговой сварки, наплавки и резки металлическим электродом в полевых и монтажных условиях. Конструкция агрегатов однотипна: они состоят из сварочного генератора с расщепленными полюсами и бензинового двигателя типа ГАЗ-МК, соединенных эластичной муфтой и смонтированных на сварной раме. От атмосферных осадков агрегаты защищены железной кровлей.

В агрегате САК-2М-VI применен генератор СМГ-2М-VI, схема соединения которого соответствует схеме генератора СГ-300М (см. фиг. 36).

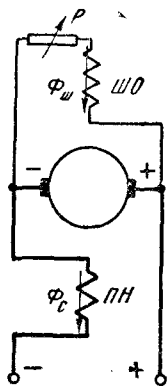
Регулирование режима производится только реостатом в намагничивающей обмотке поперечных полюсов. В агрегатах САК-2г-III и САК-2г-IV, являющихся более ранними моделями агрегатов этого типа, применены соответственно сварочные генераторы типа СМГ-2г-III и СМГ-2г-IV. Схема этих генераторов соответствует принципиальной схеме, приведенной на фиг. 38. Плавное регулирование режима производится реостатом в намагничивающей регулируемой обмотке поперечных полюсов, а ступенчатое — установкой щеток в трех фиксированных положениях.

Основные технические данные сварочных преобразователей и агрегатов, укомплектованных генераторами с расщепленными полюсами, приведены в табл. 8.

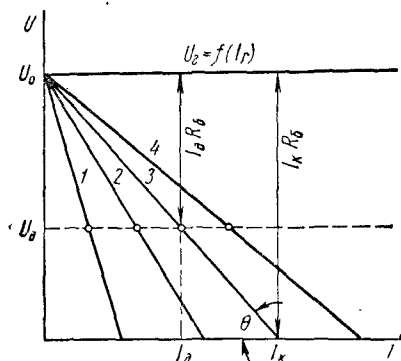
Многопостовые сварочные генераторы

Многопостовые генераторы имеют смысл применять в крупных цехах с компактно расположенными стационарными рабочими местами. Многопостовая система питания имеет следующие важные преимущества: значительно меньшие эксплуатационные расходы и стоимость оборудования, более высокий коэффициент использования оборудования, в случае необходимости возможность производить сварку большими токами и т. п.

Для независимой работы отдельных постов многопостовый генератор должен иметь постоянное напряжение на клеммах, мало изменяющееся при измене-



Фиг. 39. Принципиальная электрическая схема многопостового сварочного генератора.



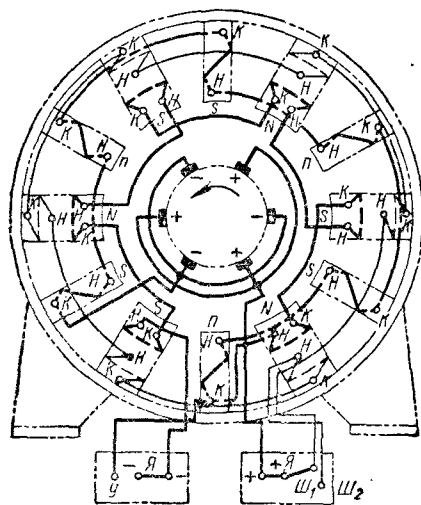
Фиг. 40. Внешняя характеристика многопостового генератора $U_2 = f(I_2)$ и характеристика системы питания поста для различных значений сопротивления R_6 балластного реостата (прямые 1—4); $R_{61} > R_{62} > R_{63} > R_{64}$.

нии нагрузки, т. е. внешняя характеристика его должна быть достаточно жесткой (см. фиг. 40). Этому требованию отвечают генераторы смещенного возбуждения согласного включения, в которых токи параллельной (шунтовой) обмотки ШО и последовательной обмотки ПН складываются (фиг. 39).

При нагрузке поток последовательной обмотки несколько подмагничивает генератор, поэтому напряжение U_T на клеммах генератора остается практически неизменным. Для регулирования напряжения генератора в цепь обмотки параллельного возбуждения ШО включен реостат R (фиг. 39).

Сварочные посты включены между собой параллельно и питаются от главной магистрали многопостового генератора. Каждый пост подключается к магистрали последовательно через специальный регулируемый балластный реостат (см. фиг. 42). При этом характеристика системы питания поста будет прямолинейно-падающей (фиг. 40, прямые 1—4). Регулирование тока сварочного поста производится изменением сопротивления при помощи балластного реостата R_6 .

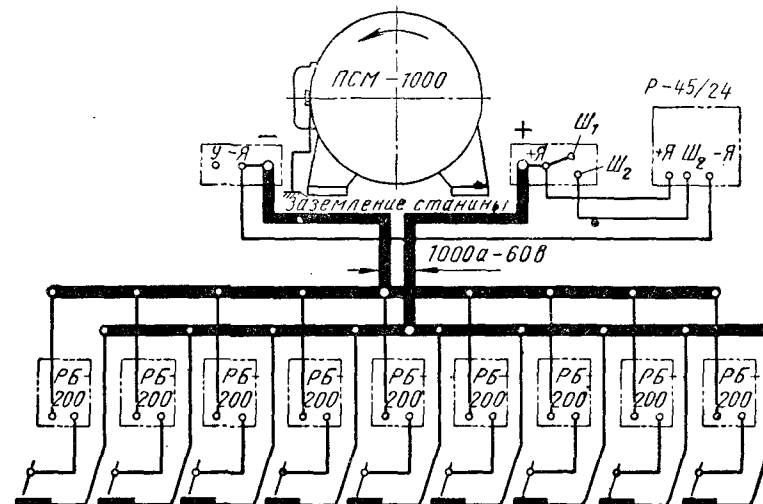
Многопостовый сварочный преобразователь ПСМ-1000. Однокорпусный преобразователь ПСМ-1000 состоит из многопостового сварочного генератора СГ-1000 и асинхронного короткозамкнутого двигателя типа ВДЭ-75 4 или АВ-91/4. Преобразователь предназначен для стационарной установки и рассчитан



Фиг. 41. Электромагнитная схема многопостового генератора СГ-1000 (вид со стороны коллектора).

на питание девяти или шести постов с максимальным током каждого до 200 или 300 а соответственно (с учетом коэффициента одновременности 0,6).

Электромагнитная схема многопостового генератора СГ-1000 изображена на фиг. 41. Генератор шестиполусный. На каждом основном полюсе расположены катушки параллельной и последовательной обмоток возбуждения. Генератор имеет два щитка, на клеммы которых сделаны выводы «+Я» и «-Я» от цепи якоря и два вывода Ш₁ и Ш₂ от концов параллельной обмотки возбуждения. Вывод и клемма «У» на левом щитке генератора предназначены для параллельного соединения многопостовых генераторов (см. стр. 211). Схемы включения многопостового преобразователя ПСМ-1000 с балластными реостатами типа РБ-200 изображены на фиг. 42. Для регулирования напряжения генератора в цепь параллельной обмотки включается реостат типа Р-45/24 или типа Р-30-6. На



Фиг. 42. Схема включения многопостового сварочного преобразователя ПСМ-1000.

реостате Р-30-6 нет клеммы «+Я» (фиг. 42), а в остальном схема включения остается такой же, как в случае применения реостата Р-45/24. В комплект преобразователя ПСМ-1000 входят 6 балластных реостатов типа РБ-300 или 9 балластных реостатов типа РБ-200. Схемы и конструкция балластных реостатов РБ-200 и РБ-300 одинаковы. Реостат типа РБ состоит из пяти чугунных секций, имеющих разное сопротивление. При помощи пяти рубильников, расположенных на кожухе реостата, можно включать параллельно различные комбинации отдельных секций, что дает 20 ступеней регулирования тока поста в пределах от 15 до 300 а через 15 а (РБ-300) или от 10 до 200 а через 10 а (РБ-200).

Основным недостатком многопостовой системы питания на постоянном токе являются значительные потери в балластных реостатах, в связи с чем снижается к. п. д. системы питания ($\eta = 0,3 \div 0,4$). Однако при большом количестве постов многопостовая система питания может дать более высокий экономический эффект по сравнению с однопостовой системой, имея в виду указанные выше ее преимущества.

Сварочные выпрямители

В связи с развитием производства полупроводников в сварочной технике все большее применение получают сварочные выпрямители как источники постоянного тока. Сварочные выпрямители собираются из полупроводниковых элементов — вентилей. В СССР для сварочных выпрямителей используются селективные вентили на алюминиевой основе типа АВС размером 100×100 или

100 × 400 мм, а также вентили типа ТВС размером 100 × 100 мм с повышенным обратным напряжением (30—36 в).

Полупроводниковый вентиль обладает свойством проводить ток только в одном направлении, называемом прямым; в обратном направлении он практически не пропускает тока вследствие весьма малой проводимости.

Свойства полупроводникового вентиля характеризуются следующими величинами.

Допустимое среднее значение выпрямленного тока $I_{ан}$ в вентиле при допустимая плотность этого тока, отнесенного к единице активной поверхности вентиля $I_{ан}$, определяют при заданном среднем значении $I_{ср}$ тока нагрузки по обходимое количество вентиля, включаемых параллельно. При искусственном воздушном охлаждении нагрузка вентиля может быть увеличена в 2—2,5 раза. Падение напряжения в вентиле в прямом направлении $\Delta U_{ан}$ при номинальном среднем значении выпрямленного тока $I_{ан}$ в значительной степени определяет потери энергии и к. п. д. вентиля.

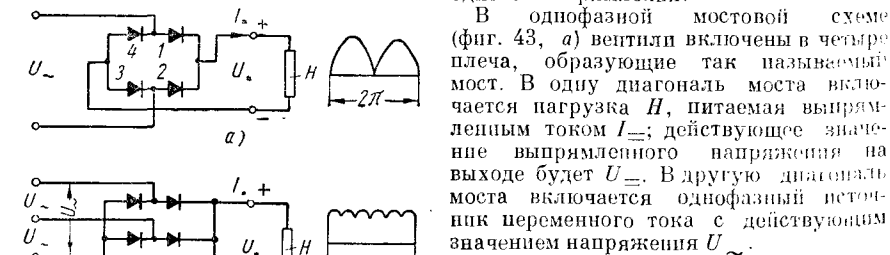
Допустимое действующее значение обратного напряжения $U_{ен}$ при заданном действующем значении напряжения переменного тока $U_{\sim}$, приложенного к выпрямителю, и соответствующем ему заданном среднем значении $U_{ср}$ выпрямленного напряжения, определяет количество вентиля, включаемых в выпрямителе последовательно.

Обратный ток $I_{ен}$ также характеризует выпрямительные свойства вентиля, он вызывает дополнительные потери энергии, снижающие к. п. д. вентиля. Основные технические данные селеновых вентиля типа АВС приведены в табл. 9.

9. Основные технические данные селеновых вентиля

$\Delta U_{ан}$ в в	$U_{ен}$ в в	$I_{ан}$ в ма/см ² при $T = 35^\circ$	$I_{ен}$ в ма/см ² при $T = 35^\circ$	К. п. д. вентиля	Допустимая температура нагрева в $^\circ\text{C}$	Гаранти- рованный срок службы в час.
1—1,2	16—18	20—25	0,7—1,0	0,95	<70	5000—10 000

Типовые схемы сварочных выпрямителей. В сварочных выпрямителях получили распространение однофазные и трехфазные мостовые схемы двухполупериодного выпрямления.



Фиг. 43. Типовые схемы выпрямителей: а — однофазная мостовая схема; б — трехфазная мостовая схема.

В трехфазной мостовой схеме вентили включены в шесть плеч трехфазного моста (фиг. 43 б). В мостовой трехфазной схеме выпрямляются обе полуволны переменных напряжений во всех трех фазах, поэтому пульсации выпрямленного напряжения уменьшаются; число их за период равно удвоенному числу фаз системы (шесть пульсаций за период или 300 гц, см фиг. 43, б).

Основные соотношения между напряжениями, а также между токами в однофазной и трехфазной мостовых схемах выпрямителей при активной нагрузке приведены в табл. 10.

10. Основные соотношения в типовых схемах выпрямителей при активной нагрузке

Тип схемы	$\frac{U_{ср}}{U_{\sim}}$	$\frac{U_{=}}{U_{\sim}}$	$\frac{I_{=}}{I_{ср}}$	$\frac{I_{н}}{I_{ср}}$
Однофазная мостовая	0,9	1	1,11	0,5
Трехфазная мостовая	1,35	~ 1,35	~ 1	0,33

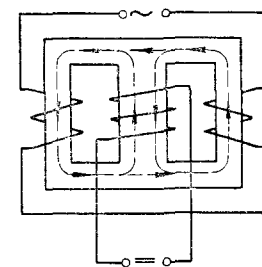
Примечание $I_{н}$ — средний ток в плече мостовой схемы.

Устойчивость дуги при питании ее от однофазной мостовой схемы меньше, чем при трехфазной схеме, вследствие большей пульсации выпрямленного напряжения и тока.

Общее количество вентиля в трехфазной схеме составляет около 75—80% количества вентиля, необходимых для однофазной схемы, при одинаковых заданных значениях выпрямленного напряжения и тока нагрузки. Кроме того, к преимуществам трехфазной схемы следует отнести равномерную нагрузку всех трех фаз силовой сети переменного тока и лучшее использование трансформатора, питающего выпрямитель. По этим причинам сварочные выпрямители в большинстве случаев выполняются по трехфазной мостовой схеме. Однофазная мостовая схема обычно применяется в комбинированных источниках питания, когда при включенном выпрямительном блоке сварка производится на постоянном токе, а при его отключении — на переменном токе.

Сварочные выпрямители ВСС-120 и ВСС-300. Наиболее широкое применение имеют сварочные выпрямители с падающими внешними характеристиками. Поэтому для питания выпрямительного блока используются трансформаторы с увеличенным рассеянием или с отдельными дросселями. Настройка или регулирование режима производится либо путем изменения индуктивности рассеяния при помощи раздвижения или сближения обмоток трансформатора, либо при помощи изменения индуктивного сопротивления отдельного дросселя.

В качестве отдельного дросселя в большинстве случаев применяют так называемые дроссели насыщения. Одна из типовых схем симметричного однофазного дросселя насыщения показана на фиг. 44. Дроссель имеет две обмотки: переменного тока, размещенные на крайних стержнях бронзового сердечника, а на среднем стержне расположена обмотка управления, питаемая от источника постоянного тока. Катушки обмоток переменного тока включены между собой последовательно с таким расчетом, чтобы потоки, создаваемые этими катушками в среднем стержне, взаимно компенсировали друг друга (фиг. 44); поэтому результирующая э. д. с., индуцируемая потоками обмоток переменного тока в обмотке управления, равна нулю. В симметричном трехфазном дросселе насыщения соответственно имеется три сердечника и шесть катушек переменного тока (по две катушки на фазу). Обмотка управления обычно охватывает все средние стержни сердечников.



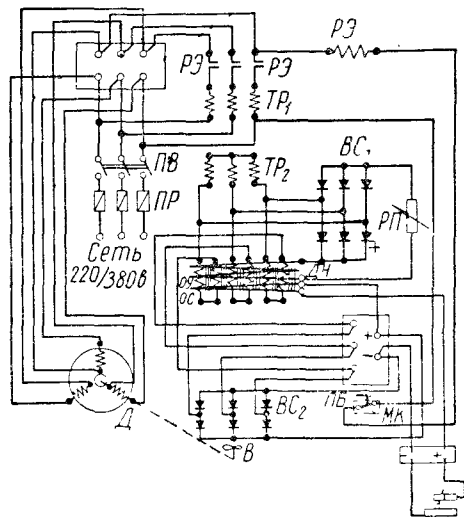
Фиг. 44. Схема дросселя насыщения.

Возможно также применение несимметричных трехфазных дросселей насыщения с одной обмоткой переменного тока на каждую фазу и одной обмоткой управления, охватывающей все средние стержни сердечников дросселя.

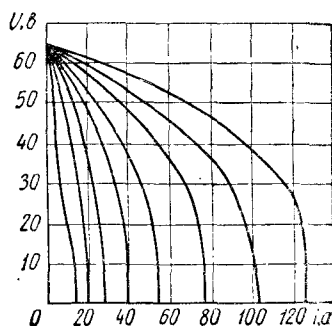
Обмотка управления, питаемая постоянным током, создает в сердечниках дросселя дополнительное магнитное поле одного и того же направления, что увеличивает индукцию и насыщение сердечников дросселя. Изменяя ток подмагничивания, можно изменять насыщение и соответственно индуктивное сопротивление дросселя насыщения, регулируя тем самым сварочный ток.

Основное различие симметричных и несимметричных дросселей заключается в том, что индуктивное сопротивление симметричного дросселя одинаково

для обоих направлений переменного тока, а в несимметричном дросселе индуктивное сопротивление меньше в течение того полупериода, когда намагничивающие силы постоянного и переменного тока совпадают. Вследствие этого в несимметрич-



Фиг. 45. Принципиальная электрическая схема сварочного выпрямителя BCC-120-II.



Фиг. 46. Внешние характеристики сварочного выпрямителя BCC-120-II.

ном трехфазном дросселе имеют место большие пульсации выпрямленного тока; устойчивость дуги несколько ниже, особенно при малых токах, а разбрызгивание металла при сварке увеличивается; несколько снижается к. п. д. выпрямителя.

ВНИИЭСО разработаны опытные сварочные выпрямители на 120 а с несимметричным дросселем (BCC-120-I) и симметричным (BCC-120-II), а также выпрямитель BCC-300 на 300 а с несимметричным дросселем.

Схема сварочного выпрямителя BCC-120-II изображена на фиг. 45.

Выпрямитель BCC-120-II состоит из понижающего трехфазного стержневого трансформатора (ТР), симметричного дросселя насыщения (ДН) с вспомогательным выпрямителем (ВС1) для питания обмотки управления (ВС2), блок выпрямителей сварочного тока (ВС2) и ускоренно регулирующей аппаратуры. Для охлаждения выпрямительного блока установка снабжена вентилятором (В) с приводом от асинхронного двигателя (Д) АОЛ-11-4 мощностью 120 вт. Установка подключается к трехфазной сети через плавкие предохранители (ПР), пакетный выключатель (ПВ) и распределительную доску с шестью клеммами для переключения обмоток трансформатора и статора асинхронного двигателя в звезду или треугольник в зависимости от напряжения питающей сети (380 или 220 в). Первичная обмотка трансформатора ТР1 подключается к сети через электромагнитное реле РЭ, нормально открытые контакты которого падают в первичной цепи трансформатора. В цепи катушки реле РЭ имеется нормально закрытый контакт микровыключателя МК теплового реле. Биметаллическая

пластина ПБ теплового реле прикрепляется к пластине выпрямительного блока. В случае перегрузки и перегрева сельновых шайб биметаллическая пластина теплового реле изгибается и нажимает на штифт микровыключателя МК, который размыкает цепь катушки электромагнитного реле и отключает трансформатор от сети.

В каждую фазу вторичной обмотки трансформатора ТР2 последовательно включена обмотка переменного тока дросселя насыщения, состоящая из двух катушек, включенных навстречу друг другу. Регулирование режима производится реостатом РИ, включенным в цепь обмотки управления ОУ. Дроссель насыщения имеет также обмотку положительной обратной связи ОС, включенную последовательно в цепь выпрямленного сварочного тока. Обмотка обратной связи изменяет подмагничивание дросселя в зависимости от величины сварочного тока, что позволяет несколько изменять крутизну и форму внешней характеристики сварочного выпрямителя (фиг. 46).

Симметричный дроссель насыщения выпрямителя BCC-120-II собирается из шести отдельных пакетов (по два пакета на каждую фазу), образующих три броневого сердечника. На каждом из шести пакетов среднего стержня расположена одна катушка обмотки переменного тока дросселя (см фиг. 45). Обмотка управления и обмотка обратной связи охватывают все шесть пакетов средних стержней.

Несимметричный дроссель выпрямителя BCC-120-I собирается из трех пакетов (сердечников). На трех средних стержнях сердечника расположены три катушки переменного тока (по одной на фазу). Обмотка управления и обмотка обратной связи также охватывают все средние стержни.

Сварочный выпрямитель BCC-300 на 300 а выполнен с несимметричным дросселем насыщения. Принципиальная схема выпрямителя BCC-300 аналогична схеме выпрямителя BCC-120-I. Основные технические данные выпрямителей BCC-120 и BCC-300 приведены в табл. 11.

11. Основные технические данные сварочных выпрямителей типа BCC

Тип выпрямителя	Напряжение сети в в	Напряжение холостого хода в в	Номинальное напряжение в в	Номинальный ток 11% в а	Пределы регулирования в а	К. п. д.	Коэффициент мощности	Габариты в мм			Вес в кг
								Длина	Ширина	Высота	
BCC-120-I и BCC-120-II	220/380	65	25	120	От 15 а при напряжении дуги 15 в до 140 а при напряжении дуги — 25 в	0.5	0.6	770	500	830	200
BCC-300			30	300	25-300	0.56	0.7	920	675	1020	375

Применение дросселей насыщения для регулирования режима сварочных выпрямителей целесообразно, когда необходимо иметь большую кратность и плавность регулирования, а также в случае необходимости дистанционного управления настройкой режима. Основным недостатком дросселей насыщения является относительно большой расход активных материалов, приводящий к увеличению веса и габаритов сварочного выпрямителя. Поэтому для ручной дуговой сварки рационально применение сварочных выпрямителей с транс-

форматорами, имеющими увеличенное рассеяние. Регулирование режима таких трансформаторов производится путем раздвигания и сближения обмоток. ВНИИАСО разработаны опытные образцы выпрямителей этого типа на 120 и 300 а.

Особенностью работы сварочных выпрямителей, питающих дугу, являются значительные пульсации сварочного тока, заметно превышающие пульсации выпрямленного напряжения, особенно при жестких и полого падающих внешних характеристиках.

При коротком замыкании дуги каплей расплавленного металла возможно возникновение значительных пиковых токов, что усиливает разбрызгивание металла и делает дугу более «жесткой», чем дуга, питаемая от генераторов постоянного тока.

В некоторых типах сварочных выпрямителей применяется включение дросселя в цепь выпрямленного тока для сглаживания пульсации тока и ослабления интенсивности нарастания тока короткого замыкания; вследствие этого дуга становится более стабильной и «мягкой».

Сварочные выпрямители имеют некоторые преимущества по сравнению с вращающимися преобразователями постоянного тока: меньший вес и габариты, несколько больший к. п. д., меньший удельный расход электроэнергии, более простой уход и обслуживание.

Следовательно, широкое применение сварочных выпрямителей в качестве источников питания дуги постоянного тока является весьма рациональным

ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

В случае необходимости производить сварку током, превышающим номинальный ток одного источника питания, применяется параллельное включение двух и более сварочных трансформаторов или генераторов с соблюдением следующих основных правил.

Все клеммы источников питания, имеющие в каждый данный момент одну и ту же полярность или одинаковую фазу, соединяются между собой, образуя две общие клеммы от которых питается сварочная дуга.

Э. д. с. и равные им напряжения холостого хода источников питания должны быть одинаковыми. В противном случае в замкнутых контурах, образованных обмотками параллельно соединенных источников питания, даже при отсутствии нагрузки могут возникнуть значительные неравномерные токи, нарушающие нормальную работу и могущие привести к аварии источников питания.

Общий ток нагрузки $I_{\text{нп}}$, равный сумме токов нагрузки отдельных источников питания (I_{u1} , I_{u2} и т. д.), распределяется между источниками обратно пропорционально их полным эквивалентным сопротивлениям z_0 (см. стр. 169). Следовательно, внешние характеристики или полные эквивалентные сопротивления параллельно включенных источников питания должны быть отрегулированы так, чтобы распределение общего тока нагрузки между ними соответствовало их номинальным токам.

На параллельную работу рекомендуется включать источники питания одинаковых систем и по возможности с одинаковыми номинальными данными.

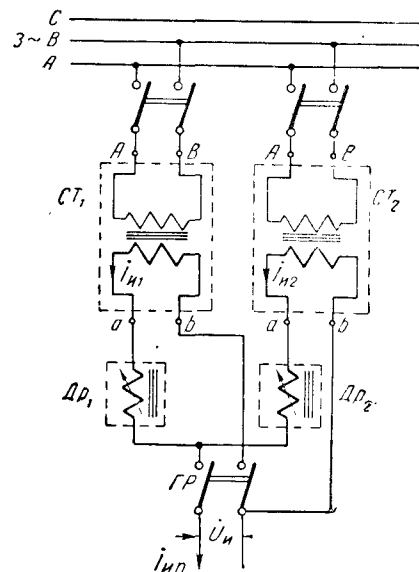
Кроме выполнения основных правил, при параллельном соединении отдельных систем источников питания следует учитывать некоторые особенности их схем.

Параллельное включение сварочных трансформаторов

Для того чтобы напряжения холостого хода параллельно включаемых трансформаторов были равны необходимо, чтобы коэффициенты трансформации их были одинаковыми. Это условие обычно выполняется только для однотипных трансформаторов.

Первичные обмотки сварочных трансформаторов СТ (фиг. 47) подключаются обязательно к одинаковым линейным проводам трехфазной питающей сети

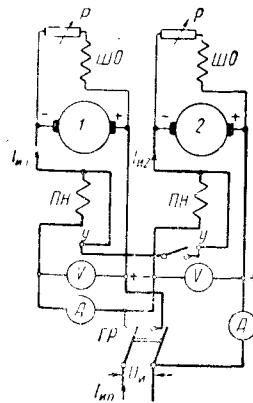
Со стороны вторичных обмоток необходимо соединить клеммы, имеющие в каждый момент времени одинаковую полярность (клеммы $a - a$ и $b - b$, фиг. 47). Одна пара клемм, например b , соединяется только при замыкании рубильника ГР, к которому подключается сварочный пост. При разомкнутом рубильнике ГР можно включать первичные обмотки трансформаторов в сеть раздельно и производить предварительную настройку режима каждого трансформатора. После этого замыкают рубильник ГР, включая тем самым трансформаторы на параллельную работу. На фиг. 47 изображена схема параллельного включения двухкорпусных трансформаторов с отдельными дросселями D_p . У однокорпусных трансформаторов клеммы a непосредственно соединяются между собой.



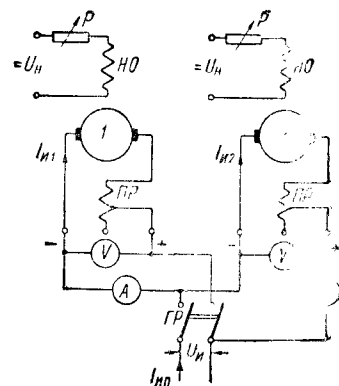
Параллельное включение сварочных генераторов

Схемы параллельного включения сварочных генераторов в зависимости от типа соединяемых генераторов имеют некоторые особенности (см. фиг. 48—50), хотя общие правила включения остаются без изменений.

Возбуждение генераторов перед включением на параллельную работу должно быть отрегулировано так, чтобы напряжения холостого хода в них были одинаковыми.



Фиг. 48. Схема параллельного включения многопостовых генераторов.

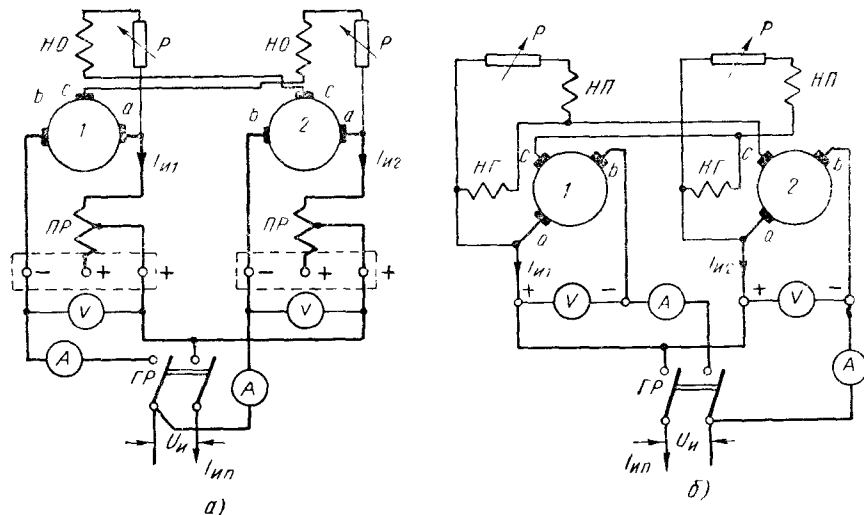


Фиг. 49. Схема параллельного включения генераторов с независимым возбуждением и размагничивающей последовательной обмоткой.

При случайном изменении скорости вращения приводного двигателя или изменении возбуждения какого-либо генератора э. д. с. этого генератора соот-

ветственно также изменяется, что приводит к изменению распределения нагрузки между всеми источниками питания. В многопостовых генераторах смешанного возбуждения, имеющих подмагничивающую последовательную обмотку, изменение э. д. с. в каком-либо из генераторов может привести к нарушению устойчивости параллельной работы. Для предупреждения этого необходимо включать последовательные обмотки многопостовых генераторов параллельно между собой при помощи уравнительного провода, соединяющего клеммы У этих генераторов (фиг. 43*).

Сварочные генераторы с независимым возбуждением и размагничивающей последовательной обмоткой включаются параллельно по схеме на фиг. 49** без уравнительного соединения.



Фиг. 50. Схемы параллельного включения: а — генераторов с намагничивающей параллельной и размагничивающей последовательной обмотками; б — генераторов с расщепленными полюсами.

Параллельное соединение генераторов с намагничивающей параллельной и размагничивающей последовательной обмотками возбуждения, а также генераторов с расщепленными полюсами производится по схемам, изображенным на фиг. 50***. Особенностью этих схем является так называемое перекрестное питание намагничивающих обмоток, при котором обмотки возбуждения одного генератора получают питание от щеток другого генератора. Поэтому в случае отклонения э. д. с. в одном из генераторов устойчивая параллельная работа не нарушается, так как э. д. с. генераторов уравнивается за счет соответствующего изменения тока возбуждения в том генераторе, э. д. с. которого внешне изменился.

В схемах параллельного включения сварочных генераторов предусмотрен также рубильник ГР, при замыкании которого генераторы включаются на параллельную работу.

Раздельный пуск двигателей генераторов, регулирование возбуждения для получения одинаковых напряжений холостого хода, а также предварительная настройка режима каждого генератора производится при разомкнутом рубильнике ГР.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каспржан Г. М., Рабинович И. Я., Слепушкин Е. И., Шитова В. М., Новые схемы автоматизации сварочного электрооборудования, Изд. филиала Всесоюзного института научной и технической информации АН СССР, 1957.
2. Никитин В. П., Основы теории трансформаторов и генераторов для дуговой сварки, Изд. АН СССР, 1956.
3. Новые источники питания для дуговой электрической сварки, сборник статей Изд. ЦБТИ НИИ электропромышленности и ВНИИЭСО, 1958.
4. Натон Б. Е. и Лебедев В. К., Элементы расчетов цепей и аппаратов переменного тока для дуговой сварки, Изд. АН СССР, 1953.
5. Перспективы развития электросварочного оборудования в СССР на 1959—1965 гг., сборник, Изд. ЦБТИ НИИ электропромышленности и ВНИИЭСО, 1958.
6. Рабинович И. Я., Оборудование для дуговой электрической сварки, Машгиз, 1958.
7. Слепушкин Е. И., Модернизация сварочных генераторов с целью применения их при сварке в среде защитных газов, Изд. филиала Всесоюзного института научной и технической информации АН СССР, 1959.

* Обозначения на фиг. 48 в основном соответствуют обозначениям на фиг. 39.

** Обозначения на фиг. 49 соответствуют обозначениям на фиг. 25.

*** Обозначения на фиг. 50 соответствуют обозначениям на фиг. 30 и 34.

По количеству электродов: а) одноэлектродные; б) многоэлектродные.

По способу передвижения: а) подвесные сварочные головки; б) самоходные сварочные головки; в) сварочные тракторы; г) безрельсовые аппараты и д) рельсовые аппараты для сварки с принудительным формированием.

РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКИ ПОД ФЛЮСОМ

Для получения качественных сварных соединений, выполняемых электродуговой сваркой, необходимо сохранять неизменными ток, напряжение дуги и скорость сварки или, в относительно редких случаях, изменять их по заранее заданному закону. Последнее осуществляется сварочными аппаратами, снабженными автоматическими регуляторами.

Применяемые при электродуговой сварке системы автоматического регулирования можно классифицировать по различным признакам. Основными из них являются: характер и число регулируемых величин (напряжение, ток дуги) и регулирующих воздействий (скорость подачи электродной проволоки, напряжение холостого хода и сопротивление сварочной цепи). Эти признаки и положены в основу приводимой ниже классификации.

К первой группе относятся системы саморегулирования¹, в которых процессы регулирования режима сварочной дуги происходят вследствие изменений скорости плавления электрода, вызываемых соответствующими изменениями тока и напряжения дуги.

Ко второй группе относятся системы регулирования одного параметра (напряжения или тока дуги) путем воздействия на одну из трех указанных выше регулирующих величин. Наиболее распространенной является система автоматического регулирования напряжения дуги путем воздействия на скорость подачи электродной проволоки.

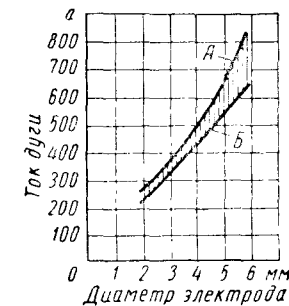
К третьей группе относятся системы регулирования двух параметров (напряжения и тока дуги) путем одновременного воздействия на две регулирующие величины.

При выборе рациональной схемы регулирования сварочной дуги прежде всего необходимо исходить из качества сварного соединения (обеспечение требуемой геометрии и отсутствие дефектов в шве).

Экспериментальные и расчетные данные, а также длительный производственный опыт эксплуатации сварочных аппаратов с постоянной скоростью подачи электродной проволоки и саморегулированием дуги, позволили установить пределы значений токов, ниже которых процессы установления заданного режима сварки недопустимо затягиваются (кривая А на фиг. 1), и пределы значений токов, ниже которых устойчивость горения дуги становится недостаточной для получения качественных сварных соединений (кривая Б на фиг. 1). Приведенные кривые соответствуют сварке на переменном токе под распространенными флюсами марок АН-348 и ОСЦ-45. При питании дуги постоянным током кривая Б на фиг. 1 несколько опускается.

При значениях тока, лежащих выше кривой А, обеспечиваются хорошие результаты при сварке аппаратами с постоянной скоростью подачи электродной проволоки. При значениях тока находящихся ниже кривой Б, устойчивый процесс сварки под флюсом на переменном токе вообще невозможен.

¹ Явление саморегулирования дуги при автоматической сварке под флюсом было открыто В. И. Дитловым в 1942 г.



Фиг. 1. Кривые предельных значений тока.

ГЛАВА VI

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ И ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ ПОД ФЛЮСОМ И ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКИ КЛАССИФИКАЦИЯ СВАРОЧНЫХ АППАРАТОВ

Существует автоматическая и полуавтоматическая сварка. При автоматической сварке механизирована подача электродной проволоки в зону сварки и передвижение сварочного аппарата вдоль шва либо перемещение свариваемого изделия относительно сварочного аппарата. При полуавтоматической сварке механизирована подача электрода, а его перемещение вдоль шва осуществляется вручную. Наиболее распространенным способом полуавтоматической сварки является сварка тонкой электродной проволокой диаметром 2 мм и менее, подаваемой в зону сварки по гибкому шлангу.

Для автоматической сварки со свободным формированием применяются одноэлектродные и многоэлектродные подвесные и самоходные сварочные головки, сварочные тракторы и различные специализированные аппараты.

Для полуавтоматической сварки под флюсом со свободным формированием широко применяются шланговые полуавтоматы с различными держателями, различные аппараты для сварки точечных швов, электрозаклепочники, пистолеты для приварки шпилек и др.

Для одноэлектродной и многоэлектродной электродуговой и электрошлаковой сварки с принудительным формированием применяются аппараты рельсового типа, безрельсовые аппараты с обычным электроприводом и магнитные шагающие, а также специализированные аппараты.

Питание аппаратов для сварки с принудительным формированием осуществляется постоянным и переменным токами от обычных сварочных генераторов и трансформаторов. При электрошлаковой сварке могут применяться сварочные трансформаторы с жесткими внешними характеристиками.

В редких случаях сварки под флюсом угольным или тугоплавким металлическим электродом применяются специальные сварочные автоматы и полуавтоматы.

Современные аппараты для сварки под флюсом можно классифицировать по следующим основным признакам:

По способу регулирования дуги: а) с саморегулированием; б) с автоматическим регулированием.

По степени автоматизации сварочного процесса: а) для автоматической сварки; б) для полуавтоматической сварки.

По типам свариваемых швов: а) универсальные (для сварки различных швов); б) специализированные (для сварки швов определенного типа).

По способу формирования металла шва: а) для сварки со свободным формированием (как правило, в нижнем положении); б) для сварки с принудительным формированием (как правило, на вертикальной, наклонной и криволинейной поверхностях).

По типу электродов: а) для сварки электродными проволоками; б) для сварки пластинчатыми и ленточными электродами.

Заштрихованное между кривыми *A* и *B* пространство соответствует тем значениям токов, при которых нельзя получить устойчивых результатов при сварке аппаратами с постоянной, независимой скоростью подачи электродной проволоки. Как видно, при сварке под флюсом на переменном токе электродами диаметром 2 и 3 мм аппараты с постоянной скоростью подачи и саморегулированием дуги могут работать при всех применяемых на практике значениях тока.

В шланговых полуавтоматах, как правило, применяются подающие механизмы с постоянной скоростью подачи электродной проволоки диаметром 1—2 мм. Время установления заданной длины дуги настолько мало, что даже при ручном ведении держателя вдоль свариваемого шва процесс сварки протекает вполне устойчиво.

Следовательно, для сварки электродными проволоками диаметром 1—3 мм наиболее целесообразно применять сварочные аппараты с постоянной скоростью подачи и саморегулированием дуги. Такие аппараты просты и надежны в эксплуатации.

При сварке электродами диаметром 4—6 мм и выше также целесообразно в первую очередь применять аппараты с постоянной скоростью подачи, однако в этих случаях следует несколько ограничивать выбор режимов сварки (см. фиг. 1). Заштрихованная область соответствует тем очень редко встречающимся на производстве случаям, когда необходимо применять сварочные аппараты с автоматическим регулированием дуги.

Анализ работы основных систем регулирования сварочной дуги

При анализе различных систем регулирования наиболее удобно пользоваться статическими характеристиками регуляторов и источников питания. В случае возникновения возмущений в дуге и в сварочном аппарате связь между напряжением и током дуги выражается уравнением номинальной внешней характеристики источника питания. Росту напряжения дуги соответствует уменьшение тока, и наоборот (фиг. 2, точки *B* и *Г*). Системы регулирования всех перечисленных выше групп обрабатывают эти возмущения, восстанавливая прежний режим сварки с заданной точностью.

Сложнее обстоит дело при обработке системами регулирования возмущений в источнике питания, приводящих к изменению его внешних характеристик. Изменения напряжения сети при сварке на переменном токе, а в ряде случаев и постоянном (например, при использовании сварочных выпрямителей), приводят к смещению внешних характеристик (фиг. 2, кривые 2, 3). Увеличение или уменьшение напряжения сети приводит к изменению напряжения и тока дуги. В этом случае восстановить заданный режим сварки при автоматическом регулировании напряжения или тока дуги только путем воздействия на скорость подачи электродной проволоки нельзя. Новые режимы сварки будут характеризоваться координатами точек, находящихся в заштрихованной области на фиг. 2. Режимы сварки, соответствующие системам саморегулирования дуги, определяются точками *A* и *B* на кривых 2 и 3 (фиг. 2). Таким образом, системы саморегулирования по свойствам сходны с системами автоматического регулирования тока дуги.

Изменения сопротивления сварочной цепи также приводят к соответствующим изменениям внешних характеристик. Здесь остаются справедливыми приведенные выше рассуждения.

Из сказанного можно сделать вывод о нецелесообразности применения систем автоматического регулирования тока дуги, так как в них нельзя согласовать регулирующие воздействия для обработки различных возмущений

(см. фиг. 2), что резко ухудшает динамические свойства таких систем. По этим же причинам нецелесообразно применение обычных систем автоматического регулирования двух параметров — напряжения и тока дуги.

Рассмотренные возмущения могут быть вполне удовлетворительно обработаны системами автоматического регулирования напряжения дуги путем воздействия на сопротивление сварочной цепи. Однако при падении напряжения в сети значительно ухудшаются условия повторных возбуждений сварочной дуги вследствие уменьшения напряжения холостого хода сварочной цепи.

Наиболее целесообразна и экономична система автоматического регулирования напряжения дуги путем воздействия на напряжение сварочной цепи. Необходимый ток дуги в таких системах задается скоростью подачи электродной проволоки. Эти системы обеспечивают неизменные условия повторных возбуждений сварочной дуги, так как напряжение холостого хода не падает ниже заданной величины. При достаточно высоких динамических свойствах автоматического регулятора напряжения дуги такая система одинаково хорошо отрабатывает возможные возмущения во всем диапазоне режимов сварки.

УСТАНОВКИ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКИ. КЛАССИФИКАЦИЯ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УСТАНОВОК ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ

В зависимости от назначения установки могут быть разделены на пять основных групп.

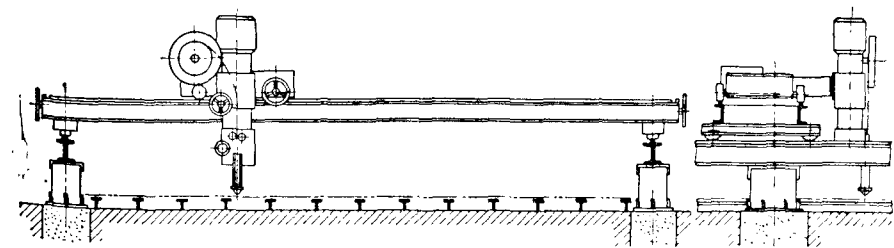
1. Установки для сварки плоскостных секций.
2. Установки для сварки балок или других изделий, имеющих один или несколько параллельных между собой швов.
3. Установка для сварки цилиндрических сосудов и других изделий, имеющих круговые, а часто и прямолнейные швы.
4. Специализированные сварочные станки и установки, предназначенные для сварки однотипных изделий в массовом производстве.
5. Наплавочные установки.

Конструкция и эксплуатационные данные установок во многом зависят от типа применяемой сварочной аппаратуры.

Установки для сварки плоскостных секций

Плоскостные секции, свариваемые из отдельных листов нормального размера, применяются в речном и морском судостроении, при изготовлении нефте-резервуаров и в других отраслях промышленности. Существуют следующие основные типы установок:

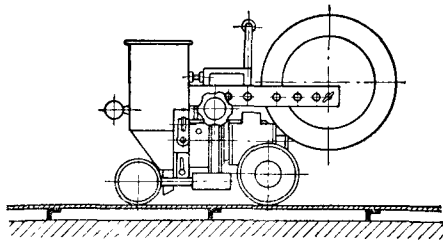
Установка с подвесной головкой (фиг. 3). Сварочный станок состоит из тележки с подвесной головкой, катушек балки, служащей рельсовым



Фиг. 3. Установка для сварки плоскостных секций с подвесной головкой.

путем для тележки, и рельсового пути, по которому передвигается сама катушечная балка от одного шва к другому. В первую очередь свариваются короткие

поперечные швы, после этого вся секция поворачивается на 90° для сварки продольных швов. Если применяется двухсторонняя сварка, то сваренная с одной стороны секция переворачивается и в той же последовательности сваривается с другой стороны.



Фиг. 4. Установка со сварочным трактором для сварки плоскостных секций.

Установка с самоходной головкой отличается от указанной выше отсутствием тележки для передвижения головки.

Установка со сварочным трактором (фиг. 4) не требует никаких устройств, кроме стеллажа для укладки секций. Обслуживание установки облегчается тем, что вместо передвижения тяжелой катушки балки переход от одного шва к другому производится перекачиванием или переносом легкого сварочного трактора. При переходе от сварки поперечных швов к сварке

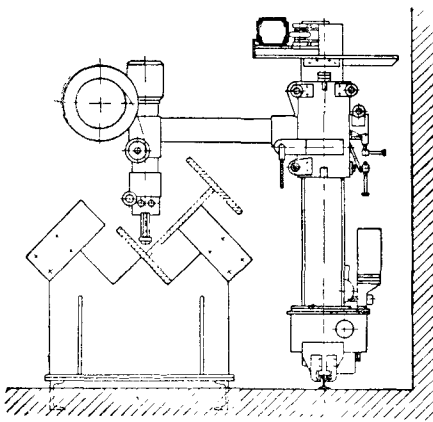
продольных, секцию не надо поворачивать на 90° , так как этот переход также осуществляется простой перестановкой легкого трактора.

Из приведенных примеров видно, что для сварки плоскостных секций выгоднее всего применять сварочные тракторы, так как они обеспечивают предельную простоту сварочной установки, а также удобство и экономичность ее обслуживания.

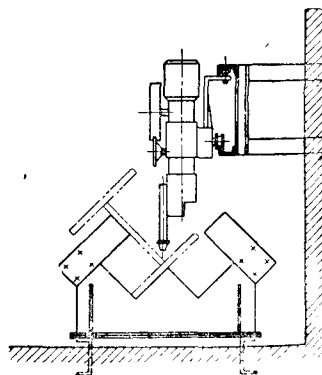
Установки для сварки балок

Обычно балки свариваются из листового проката угловыми швами, причем в ряде случаев сварка производится «в лодочку». Для сокращения количества кантовок крановые балки часто сваривают наклонным электродом. Можно указать следующие типы установок.

Установка с подвесной головкой (фиг. 5) состоит из тележки велосипедного типа, служащей для передвижения подвесной головки, рельсового пути, по кото-



Фиг. 5. Установка с подвесной головкой для сварки балок.

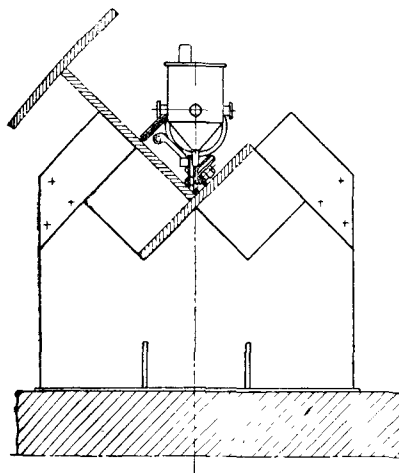


Фиг. 6. Установка с самоходной головкой для сварки балок.

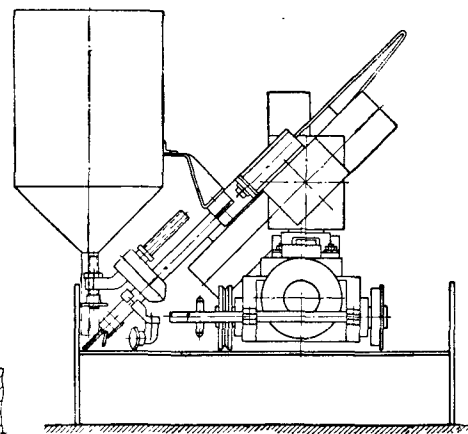
рому движется эта тележка, и стеллажа для укладки свариваемых балок. Эксплуатация установки усложнена тем, что свариваемую балку приходится укладывать очень точно по отношению к рельсовому пути тележки.

Установка с самоходной головкой (фиг. 6) значительно проще, чем с подвесной. Она состоит только из рельсового пути для самоходной головки и стеллажа для свариваемых балок. Однако такая простая конструкция установки применима только для балок определенных типоразмеров, так как сравнительно низкое расположение рельсового пути исключает возможность сварки гавров и двутавров с высокой стенкой. Кроме того, рельсовый путь для самоходной головки, расположенный над свариваемой балкой, затрудняет крановые операции по ее укладке и снятию.

Установка со сварочным трактором (фиг. 7) очень проста. Она оборудуется стеллажом для укладки свариваемых балок. Сварка самоко-



Фиг. 7. Установка с трактором для сварки балок «в лодочку».



Фиг. 8. Установка с трактором для сварки балок наклонным электродом.

лирующим трактором,двигающимся непосредственно по свариваемой балке, существенно упрощает обслуживание установки. При сварке трактором не требуется особо точной укладки балки, исключается возможность вертикальных и поперечных отклонений мундштука с электродом от линии шва и др.

Для устранения недогаров, по обоим концам балки прикрепляются специальные площадки, на которые трактор ставится в начале и выезжает в конце сварки.

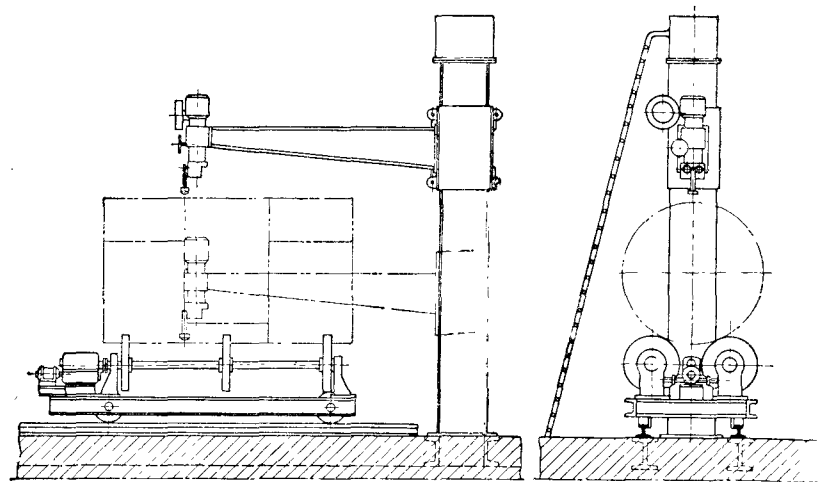
Установка с трактором для сварки угловых швов балок наклонным электродом (фиг. 8) также оборудуется стеллажом для свариваемых балок. Тележка и головка трактора направляются при помощи системы копирных роликов. При сварке наклонным электродом количество вспомогательных операций по кантовке балок сокращается в 3 раза.

Приведенные примеры показывают, что наиболее целесообразными аппаратами для сварки балок являются сварочные тракторы. Для сварки коротких балок и балок с малой высотой стенки, на которую нельзя поставить трактор, следует применять установки с самоходными или подвесными головками.

Установки для сварки цилиндрических сосудов

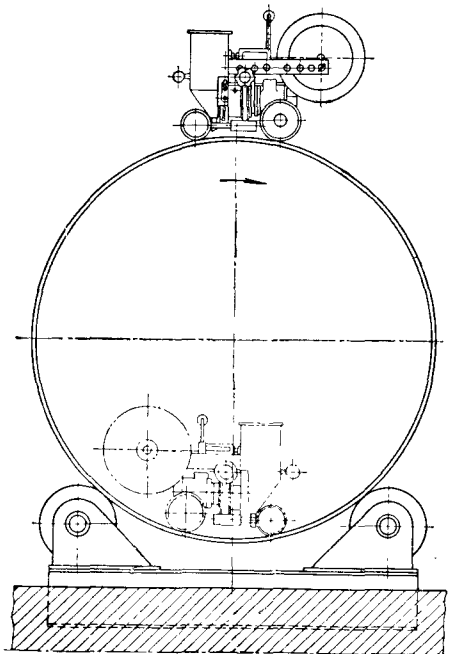
Котлы, резервуары, цистерны, газгольдеры и другие сосуды обычно собираются из отдельных обечасок. Вследствие высоких требований, предъявляемых к прочности и пластичности сварного соединения, сварка этих швов производится чаще всего с двух сторон — изнутри и снаружи.

Существуют следующие основные типы установок для сварки цилиндрических сосудов.



Фиг. 9. Установка с подвешенной головкой для сварки сосудов.

Установка с подвешенной головкой (фиг. 9) состоит из неподвижной колонны с консолью для закрепления головки, тележки с роликовым стендом осуществляющим движение сосуда относительно неподвижной головки, и рельсового пути для тележки. После сварки всех внутренних швов открытого сосуда стрела с головкой выводится из сосуда и устанавливается над ним. Эти операции занимают много времени и значительно снижают коэффициент использования установки.



Фиг. 10. Установка со сварочным трактором для сварки сосудов.

Вследствие неизбежной неконцентричности обечаек и ряда других причин, во время сварки кольцевых швов наблюдаются значительные перемещения точки сварки в пространстве. Это вызывает вертикальные и поперечные отклонения электрода от шва. Направление электрода по шву производится вручную или с помощью специальных сложных копирных устройств.

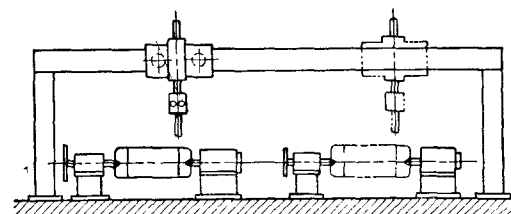
Установка с самоходной головкой не имеет существенных преимуществ по сравнению с установкой, снабженной подвешенной головкой.

Установка со сварочным трактором (фиг. 10) несравненно проще двух предыдущих. Сварка продольных швов осуществляется при движении трактора по неподвижному сосуду. Сварка кольцевых швов осу-

ществляется при вращении сосуда на роликовом стенде с окружной скоростью, равной и встречно направленной скорости движения трактора, который опирается на сосуда. Вследствие этого трактор не имеет поступательного движения относительно земли и «плавает» вместе с зоной сварки. Незначительные поперечные отклонения трактора легко корректируются.

Приведенные примеры наиболее распространенных установок для сварки цилиндрических сосудов большой емкости показывают, что наиболее целесообразным является применение сварочных тракторов. В противоположность головкам, тракторы допускают сварку внутри закрытых по краям сосудов. Необходимо только, чтобы в этих сосудах был люк, достаточный для прохода человека, трактора и для отвода газов.

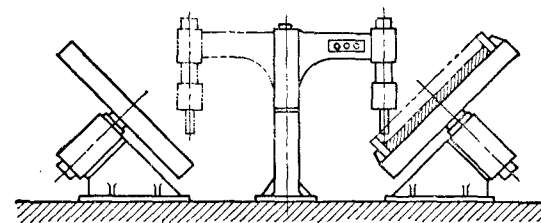
Установки с центровыми вращателями (фиг. 11), снабженные стационарно закрепленными подвесными головками, целесообразно применять для сварки кольцевых швов на сосудах малого диаметра.



Фиг. 11. Установка с центровым вращателем для сварки сосудов малого диаметра

Станки карусельного типа (фиг. 12) с горизонтальными или наклонными планшайбами для закрепления и вращения изделий рекомендуется применять для сварки кольцевых швов на относительно плоских изделиях (фланцах, колесах, шестернях и т. п.).

Во ВНИИЭСО разработаны станки для автоматической сварки изделий с замкнутыми (кольцевыми и овальными) швами, сконструированные на базе узлов сварочных тракторов, плановых полуавтоматов и другой серийной авто-сварочной аппаратуры. К числу таких станков относятся: автоматы АДСК-1000 для сварки ободов автомобильных колес; АДК-500 для сварки кольцевых



Фиг. 12. Установка карусельного типа.

швов в нижнем положении при горизонтальном, наклонном и вертикальном положении поворотного стога АДОБ-300 для приварки днищ овальной формы АДН 500 для наплавки по кольцевому контуру швов диаметром 50—350 мм.

Из сказанного следует, что сварочные тракторы являются наиболее подходящими аппаратами для сварки большинства изделий в индивидуальном и мелкосерийном производстве. Они особенно выгодны при сварке сравнительно тонкостенных сосудов большого диаметра, при сварке крупных плоскостных секций, длинных блоч и других металлоконструкций. Установки со сварочными тракторами наиболее просты, надежны и экономичны.

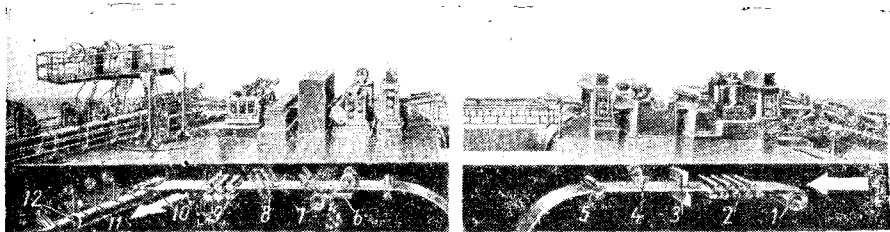
Подвесные головки целесообразно применять в станках специализированного типа в серийном и массовом производстве, самоходные — для сварки коротких прямолинейных швов

Специализированные установки для сварки однотипных изделий в массовом производстве

В зависимости от типа и габаритов изделий, конфигурации свариваемых швов и характера производства, сварочные установки этой группы бывают самой разнообразной конструкции. Сварочные аппараты для оснащения этих установок выбираются в каждом отдельном случае исходя из конкретных условий.

Развитие сварочной техники за последние годы привело к созданию сварочных станков-автоматов агрегатного типа. Характерными свойствами этих станков-агрегатов является их узкая специализация, высокая степень механизации вспомогательных операций, совмещение рабочих операций во времени и высокая производительность. В качестве наиболее характерных примеров таких станков-агрегатов можно привести следующие.

Трубоварочный стан «650» конструкции ЦНИИТМАШа для производства сварных труб большого диаметра со спиральным швом (фиг. 13). Этот стан находится в эксплуатации на одном из трубных заводов и представляет собой по-



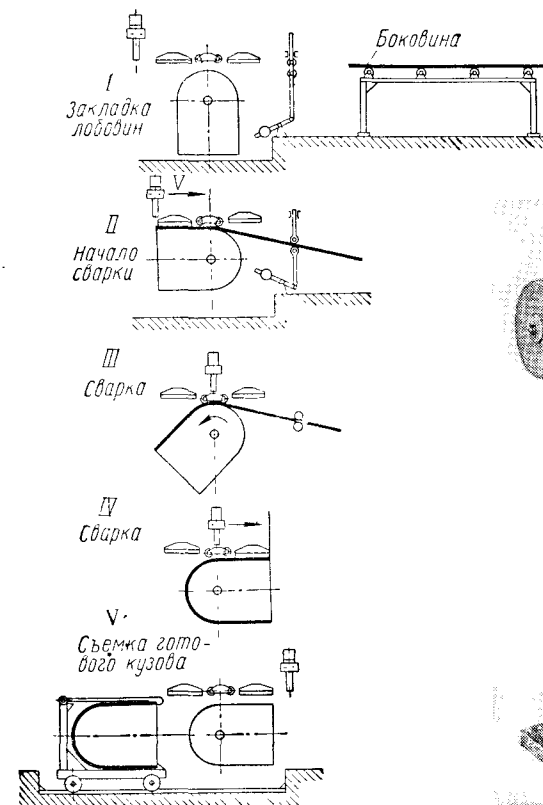
Фиг. 13. Трубоварочный стан 650: 1 — разматывание полосы; 2 — правка полосы; 3 — обрезка концов; 4 — сварка полос; 5 — образование компенсационной петли; 6 — обрезка кромок; 7 — очистка кромок дробью; 8 — снятие фаски резцами; 9 — подача полосы на формовку; 10 — формовка трубы; 11 — сварка спирального шва трубы; 12 — резка трубы

точную линию машин, устройств и механизмов, которые работают в строгой согласованности и технологической последовательности. На трубоварочном стане осуществляются следующие основные операции: разматывание рулонов, правка ленты, обрезка начала, а затем конца ленты, автоматическая сварка конца ленты заканчивающегося рулона с началом последующего, образование из ленты петли для непрерывного питания остальных механизмов стана во время стыковки концов, обрезка ленты с боков для получения одинаковой ее ширины, строжка продольных кромок для образования разделки шва и нанесение риски для автоматического направления сварочной головки по стыку при помощи следящей системы, сворачивание ленты по спирали для получения трубной заготовки, автоматическая сварка двух слоев спирального шва со скоростью 150—200 м/час, автоматическая разрезка бесконечной трубы на мерные отрезки, подача их на обработку торцов и для испытания.

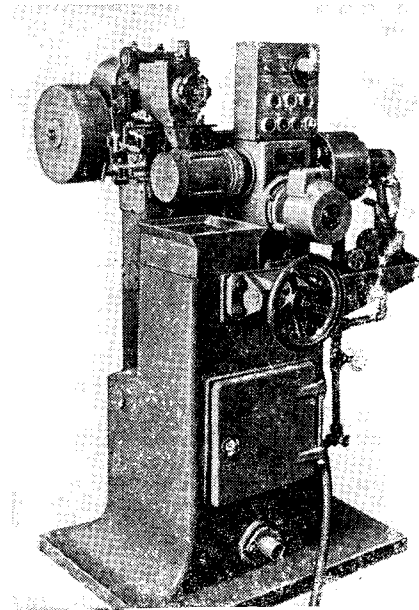
Вальцесварочный станок конструкции Института электросварки им. Е. О. Патона АН УССР для массового производства кузовов шахтных вагонок. Такие станки уже в течение нескольких лет успешно работают на заводах угольного машиностроения. Их особенностью является совмещение нескольких разнородных операций (фиг. 14), а именно: вальцовка боковины кузова вагонетки, сборка ее с лобовинами и одновременная автоматическая сварка двух швов, соединяющих лобовины с боковиной кузова. Все эти операции про-

изводятся с высокой производительностью (около 80 кузовов вагонеток за 8-часовую рабочую смену).

Станок-автомат для сварки корпусов шахтерских ламп конструкции Института электросварки им. Е. О. Патона АН УССР (фиг. 15). На этом станке детали корпуса (толщиной 1,5 мм) свариваются тремя швами: двумя кольцевыми и одним продольным. При сварке кольцевых швов вращается патрон с изделием, а головка неподвижна, при сварке продоль-



Фиг. 14. Схема работы вальцесварочного станка.



Фиг. 15. Станок-автомат для сварки корпусов шахтерских ламп.

ного шва — головка перемещается относительно изделия. Зажим корпуса лампы в патроне — пневматический.

Весь цикл сварки на станке (установка сварочной головки на первый кольцевой шов, переход ее во время сварки с кольцевого шва на продольный, с продольного — на второй кольцевой шов и выключение после завершения сварки этого шва) полностью автоматизирован. Таким образом, сварка всех трех швов происходит без выключения дуги. Указанный станок показал высокую производительность и уже несколько лет успешно эксплуатируется на одном из заводов угольного машиностроения.

Наплавочные установки

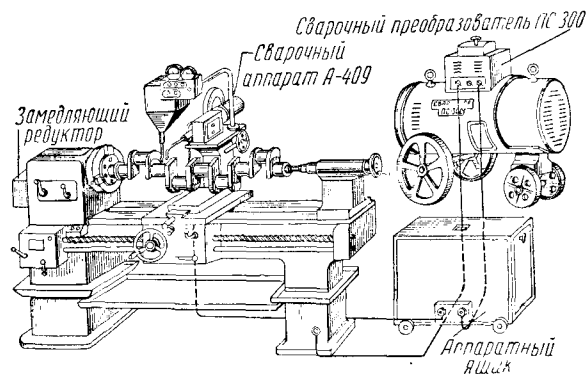
Автоматическая электродуговая наплавка является наиболее эффективным способом восстановления первоначальных размеров деталей, повышения их износостойкости, а также изготовления новых биметаллических изделий. В настоящее время наплавочные работы основываются на широкой автоматизации процесса, для чего необходимы специализированные установки.

В зависимости от конструкции и специфики наплавляемых изделий наплавочные установки могут быть разбиты на следующие группы:

- а) для наплавки плоских поверхностей;
- б) для наплавки цилиндрических поверхностей;
- в) для наплавки изделий сложной конфигурации.

В большинстве случаев наплавку можно производить аппаратурой, предназначенной для сварки под флюсом. Однако наплавочные установки имеют ряд особенностей, отличающих их от обычных сварочных установок. К числу этих особенностей относятся:

- а) наличие специальных устройств (чаще всего индукторов) для предварительного и сопутствующего подогрева наплавляемых деталей;
- б) возможность устанавливать наплавляемую поверхность в положение, близкое к горизонтальному, что обеспечивает высокое качество наплавки и минимальный припуск на обработку;



Фиг. 16 Токарный станок, приспособленный для наплавочных работ

- в) необходимость длительной непрерывной работы;
- г) наличие устройства, перемещающего аппарат на шаг наплавки за один оборот наплавляемого изделия. Регулирование величины шага наплавки позволяет изменять долю основного металла в наплавленном слое, а также получать равномерную поверхность, часто даже не требующую механической обработки;
- д) наличие опорных деталей (например, центров вращателя с пружинными устройствами, позволяющими компенсировать расширение изделий в результате нагрева при наплавке).

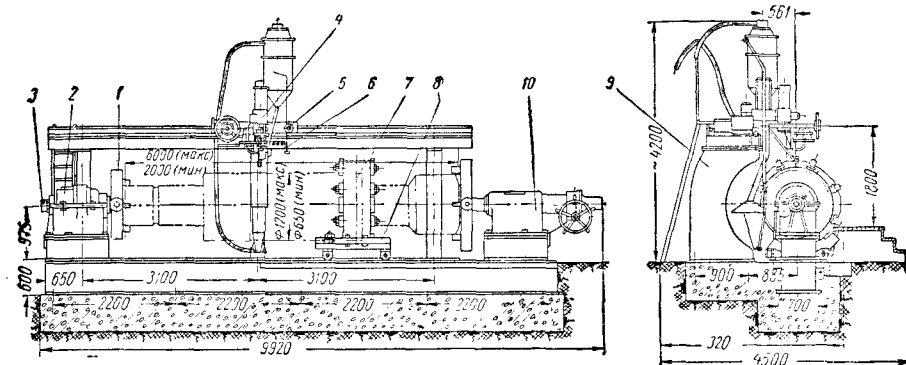
Наплавочные установки весьма разнообразны. Почти каждое наплавляемое изделие требует создания специализированных установок. Однако наличие большого количества однотипных изделий, подлежащих наплавке, делает в некоторых случаях целесообразным выпуск унифицированных станков или установок. В качестве наплавочных установок могут быть использованы соответствующим образом приспособленные токарные станки. На фиг. 16 показан пример использования такого станка для наплавки цилиндрических шеек колесных валов. На таком станке могут наплавляться ролики гусеничных тракторов, внутренние поверхности шатунов и другие детали.

Станок типа Р-901 (фиг. 17) разработан и выпускается промышленностью для наплавки деталей металлургического оборудования весом 10—30 т. На этом станке можно наплавлять стальные валки листопркатных и сортопркатных станков, блюмингов и слябиногтов. Станок может быть также использован для наплавки плоских деталей.

Предварительно подогретый валок устанавливается в патронах 1 или в центрах передней 2 и задней 10 бабок. Привод передней бабки обеспечивает вращение валка с регулируемой в широких пределах скоростью наплавки.

Сопутствующий подогрев валка в процессе наплавки осуществляется током промышленной частоты с помощью кольцевого индуктора 7. Индуктор установлен на тележке 8 и может перемещаться вдоль валка. Для компенсации теплового удлинения валка шпиндель задней бабки снабжен пружиной.

Специально приспособленная сварочная головка 4 типа А-384 крепится в самоходной тележке 5, которая может перемещаться вдоль оси станка 9 с различными скоростями. При наплавке тел вращения тележка медленно перемещается на шаг наплавки за один оборот валка; при наплавке плоских и линейных деталей (для чего на станину достаточно установить стол соответствующей высоты) перемещение тележки осуществляется со скоростью наплавки.



Фиг. 17. Установка Р-901 для наплавки пркатных валков и деталей металлургического оборудования.

И в том и в другом случае предварительная настройка скорости производится сменными шестернями приводного механизма тележки и переключением двухскоростного двигателя.

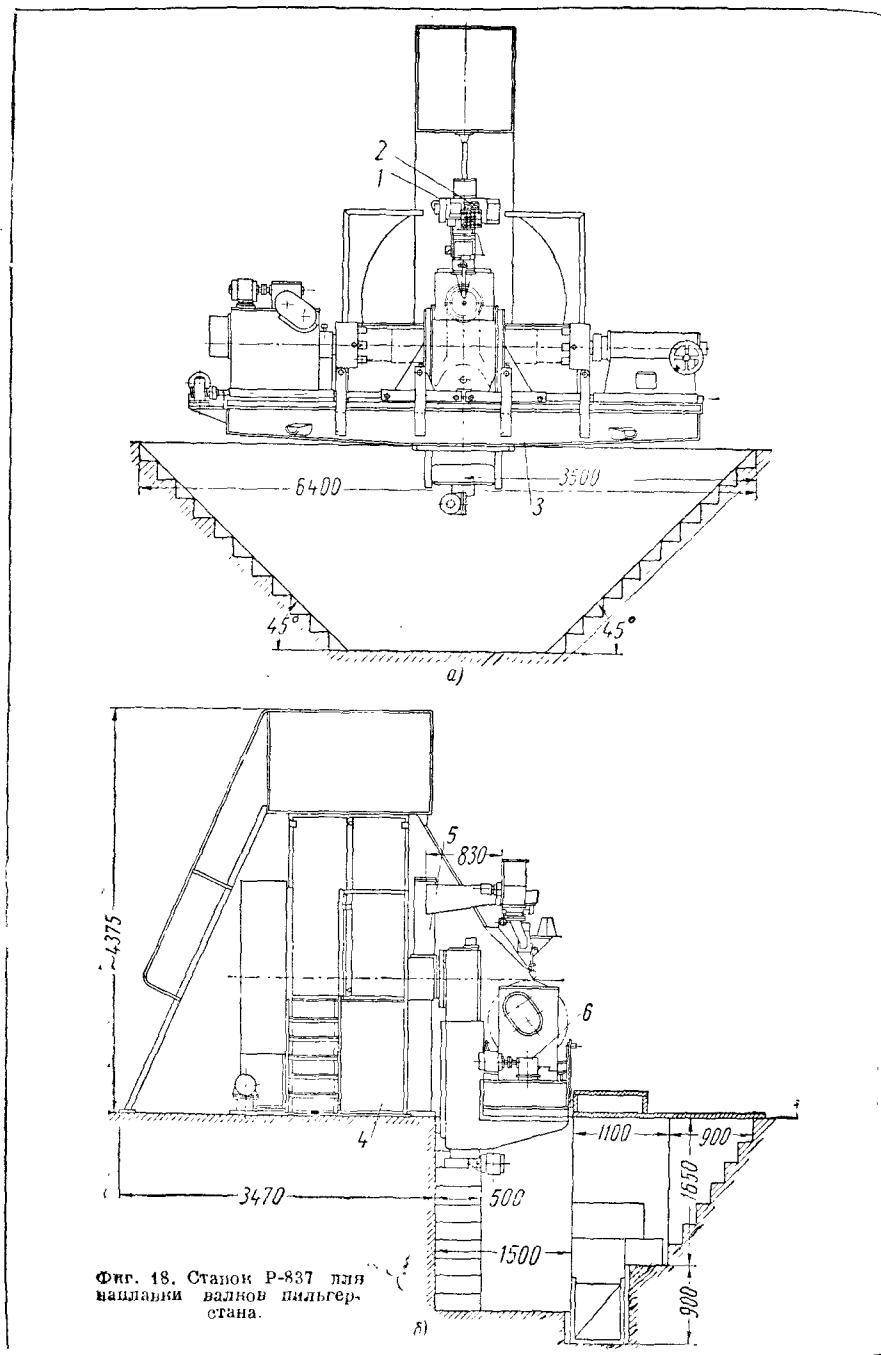
Электрическая схема установки обеспечивает полную автоматизацию процесса наплавки. Для этого в схеме предусмотрено программное устройство в виде электромеханического коммутатора 3, осуществляющего автоматическое включение и выключение механизмов установки в заранее установленной последовательности. Предусмотрена также возможность кнопочного 6 управления настройкой и процессом наплавки валка.

Технические данные установки Р-901

Вес валков в т	10—30
Скорость наплавки в м/час:	
валков диаметром 650 мм	16—58
валков диаметром 1200 мм	25,4—73
Плоских деталей	4,5—66,5
Скорость перемещения тележки на шаг наплавки в мм/мин (при наплавке тел вращения)	1,5—22
Номинальный сварочный ток при ПВ=100% в а	1000
Вес электродной проволоки в катушке в кг	20—25
Вес сварочного станка в т	20

Для наплавки таких же валков могут быть приспособлены обычные вальцовочные станки.

Станок Р-837 для наплавки рабочих поверхностей валков пильгестана показан фиг. 18. При наплавке валков с калибрами сложной формы желательно устанавливать наплавляемую поверхность в положение, близкое к горизонтальному. Для этой цели станок снабжается устройством, позволяющим поворачивать изделие во время наплавки.



Фиг. 18. Станок Р-837 для наплавки валков пильгер-стана.

Сварочная головка 2 типа А-384 крепится на суппорте горизонтальной настройки 1 (фиг. 18, а) и вместе с ним монтируется на поворотной консоли колонны 5 (фиг. 18, б), установленной на станине 4. Основным узлом станка является траверса 3. На ней крепятся передняя и задняя бабки, в центрах которых устанавливается валок. В процессе наплавки траверса поворачивается вокруг оси, совпадающей с центром кривизны профиля вала. Таким образом, каждый участок поверхности калибра вала направляется в горизонтальном или близком к нему положении.

Совмещение центра кривизны профиля калибра с осью поворота траверсы осуществляется механизмами вертикальной и горизонтальной настройки вала 6.

Электрическая схема установки обеспечивает полную автоматизацию процесса наплавки. Для этого в схеме предусмотрено электромеханическое следящее устройство, которое обеспечивает точное копирование электродом наплавляемой поверхности. Это копирное устройство представляет собой кинематическую систему из трех суппортов, позволяющих перемещать головку в пространстве по трем взаимно-перпендикулярным осям. Суппорты снабжены электроприводами, которые управляются специальным коммутатором, осуществляющим заданную программу пространственных перемещений головки. Программа задается в соответствии с кривизной наплавляемой поверхности.

Технические данные станка Р-837

Размеры наплавляемых валков в мм:

длина	2120
диаметр бочки 8"	740
» 10"	780
» 12"	860
Вес валков в кг	2750—3260
Сварочный ток в а	200—650
Скорость наплавки в м/час	30—50
Шаг наплавки в мм/об	3—15
Максимальный угол наклона траверсы в град.	± 65
Вес станка в т	15

Установка Р-802 (фиг. 19) для наплавки больших и малых конусов засыпного аппарата доменной печи.

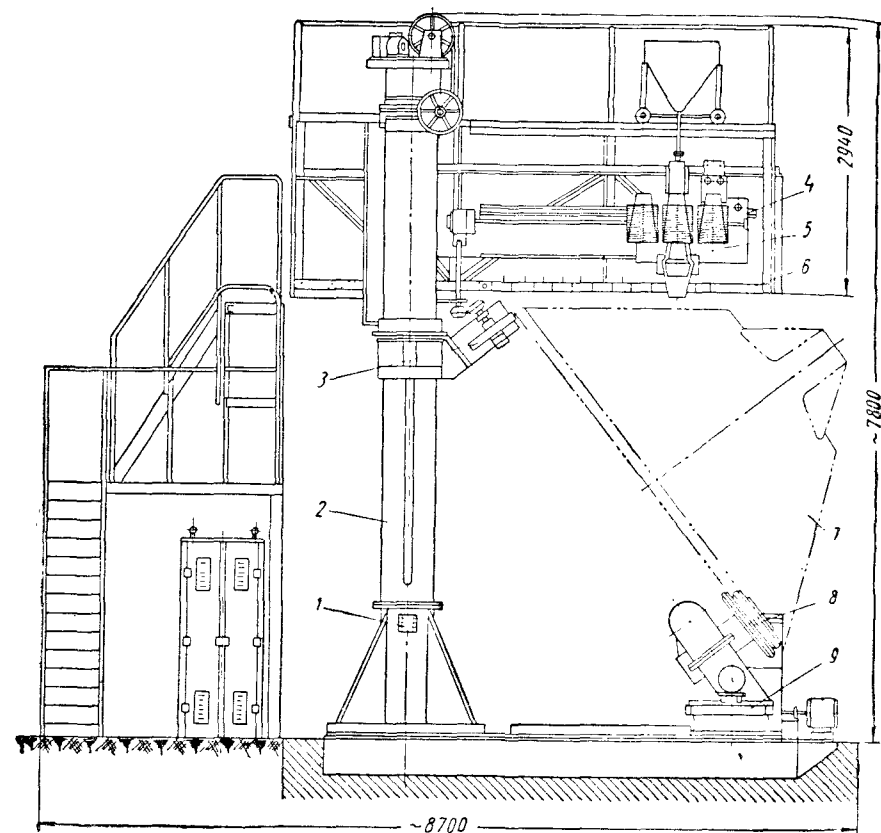
Наплавка производится под флюсом порошковой проволокой, одновременно тремя электродами, для чего установка снабжена трехэлектродной головкой типа А-513.

В состав установки входят: сварочная головка 5; роликовый вращатель, состоящий из пары приводных роликов 8 и холостого верхнего опорного ролика 3; колонна 2 с подъемно-поворотным балконом 6, на котором смонтирована траверса 4 с кареткой; шкаф; пульт управления 1 и другие узлы.

Наплавляемый конус устанавливается на роликовые опоры. Ролики смонтированы на суппортах 9 и могут устанавливаться в зависимости от размера конуса. Сверху опорой для конуса служит холостой ролик 3, который кинематически связан с ходовым роликом, приводящим в движение каретку со сварочной головкой. При вращении конус 7 увлекает за собой холостой ролик и, вращая ходовой винт, обеспечивает перемещение головки на шаг наплавки за один оборот конуса.

Ось конуса наклонена под углом 35—40°, вследствие чего наплавляемая поверхность находится в положении, близком к горизонтальному, что обеспечивает минимальный припуск на обработку и высокое качество наплавки.

Электрическая схема предусматривает полную автоматизацию процесса наплавки. Постоянство скорости наплавки независимо от диаметра наплавки обеспечивается автоматическим регулятором числа оборотов конуса. Предусмотрена также возможность кнопочного управления настройкой установки на процесс наплавки.



Фиг. 19. Установка для наплавки конусов доменных печей.

Технические данные установки Р-802

Размеры наплавляемых конусов в мм:

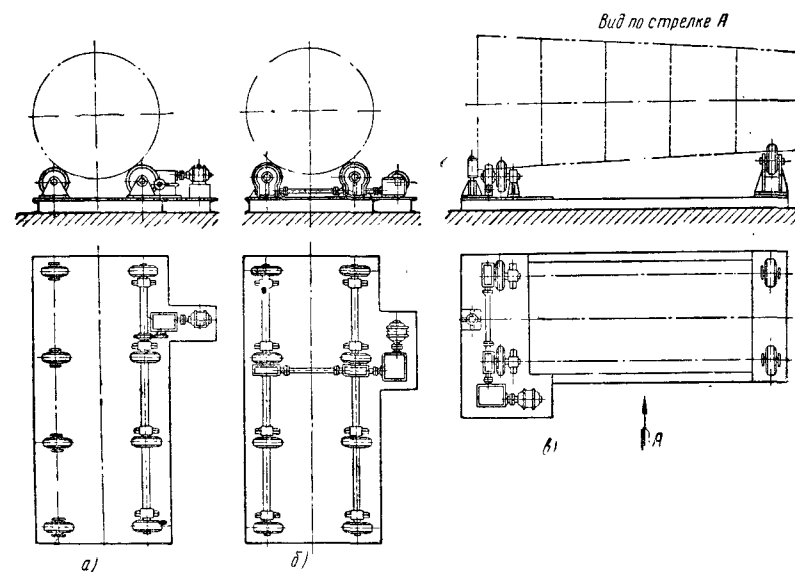
диаметр основания	1500—4800
высота	780—2570
Угол между образующей и основанием в град.	50—55
Вес наплавляемых конусов в т	2,6—20
Прониводительность наплавки в кг/час при работе тремя электродами	40—20
Номинальный сварочный ток в а при ПВ = 100%	1500
Вес электродной проволоки в барабанах в кг	До 200
Габаритные размеры сварочной установки в мм:	
длина	8700
ширина	1400
высота	7800
Вес в т	10

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СВАРОЧНЫХ УСТАНОВОК

В состав сварочной установки входят: электрическое оборудование (источники питания, сварочный аппарат и др.), механическое (стенды, вращатели, кондукторы и т. п.) и вспомогательное (флюсовая аппаратура, направляющие устройства, скользящие токоподводы и др.).

Механическое оборудование установок по конструктивным и эксплуатационным признакам делится на оборудование, предназначенное для закрепления электросварочных аппаратов или их перемещения по заданному направлению, и оборудование, предназначенное для закрепления или перемещения изделия в процессе сварки.

Вспомогательным оборудованием является: флюсовая аппаратура для подачи флюса в зону сварки и удаления его после сварки, а также кассеты (ка-



Фиг. 20. Типовые схемы роликовых стендов.

тушки) для электродной проволоки; приводные или иные устройства для поджима флюса; флюсоудерживающие устройства; приспособления для подвода тока к движущимся частям установок; копирные ролики, световые указатели и следящие системы для автоматического направления электрода по свариваемым крокам.

В настоящее время эти основные узлы и элементы сварочных установок достаточно тщательно разработаны, а некоторые из них выпускаются промышленностью. Поэтому целесообразно комплектовать сварочные установки из отдельных стандартных элементов.

Роликовые стенды служат для вращения цилиндрических изделий во время сварки круговых швов, а также для их кантовки. Обычно роликовый стенд состоит из системы холостых и приводных роликоопор, смонтированных на общей фундаментной плите (фиг. 20). Существуют также роликовые стенды, смонтированные на тележках.

На фиг. 20, а представлен роликовый стенд, имеющий один ряд ведущих и второй ряд холостых роликов. Ведущие ролики снабжены резиновыми шинами для увеличения силы сцепления с вращаемым барабаном.

На фиг. 20, б изображен роликовый стенд для вращения барабана с эксцентрично расположенными массами. Все ролики стенда приводные и снаб-

1. Основные технические данные сварочных манипуляторов

Технические данные	Тип манипулятора			
	Т-25	СМ-1000М	УСМ-1200	УСМ-5000
	Института им. Патона АН УССР	Конструкции ВПТИ Тяжмаша		
Назначение	Автоматическая сварка кольцевых швов	Ручная и полуавтоматическая сварка узлов с раз- ными шва- ми	Ручная и полуавтоматическая сварка раз- ных швов и автомати- ческая свар- ка кольце- вых швов	Ручная и полуавтоматическая сварка узлов с раз- ными шва- ми
Грузоподъемность в кг	500	1000	1200	5000
Наибольшие габаритные размеры свариваемых из- делий в мм (длина × ши- рина × высота)	Диаметр 1000; высота 1000	2500 × 2500 × × 1000	2500 × 2500 × × 1000 или диаметр 1000—2000	3500 × 3500 × × 1500
Стол Угол поворота (наклона) вокруг горизонтальной оси в град.	135	360	145	135
Скорость вращения в об/мин:				
рабочая	0,2—1	2	0,056—2,26	0,986
маршевая	—		6,03	
Скорость наклона в об/мин	—	2	1,05	0,6
Скорость подъема в м/мин	—	—	0,385	0,3
Привод вращения	Электроме- ханический	Пневмати- ческий	Электроме- ханический	Электроме- ханический
Привод наклона	Ручной	Ручной		
Привод подъема	—			
Допускаемый момент в кг · см:				
на оси стола	20 000		17 500	70 000
на цапфах			70 000	300 000
Размеры манипулятора с планшайбой в мм:				
длина	1350	2000	1830	2575
ширина	1040	1600	1260	1650
высота	1012	1000	1100	1300
Вес в кг	—	570	1627	3925
Высота стола над по- лом в мм	862	1000—1125	1100—1600	1300—2000

жены резиновыми шинами. Сила сцепления его с изделием (одинакового веса) вдвое больше, чем у стэнда по фиг. 20, а.

На фиг. 20, в представлен роликовый стэнд для вращения конических или ступенчатых барабанов сравнительно небольшой длины. Он имеет только два приводных ролика, расположенных в одной поперечной плоскости, остальные ролики — холостые.

При вращении изделий на роликовых стэндах наблюдается их осевое смещение. Поэтому рекомендуется применять упорные ролики, а сварку вести головками плавающего типа и сварочными тракторами, опирающимися непосредственно на барабан.

Кантователи и манипуляторы применяются для кантовки изделий в процессе сварки. Они позволяют устанавливать свариваемое изделие в требуемое положение, а иногда и вращать его во время сварки.

Кантователи можно разделить на три типа: для балок и колонн; для цилиндрических изделий и универсальные манипуляторы.

Кантователи для балок бывают цепные (фиг. 21) или центровые (фиг. 22). Кантователи для труб и цилиндрических сосудов в большинстве случаев представляют собой роликовые стэнды или центровые вращатели.

В установках карусельного типа применяются манипуляторы с вращающейся планшайбой. Установочные манипуляторы служат для приведения изделия в удобное для сварки положение. Сварочные манипуляторы служат не только для кантовки изделия, но и для вращения его с заданной скоростью. На фиг. 23 приведен универсальный манипулятор типа Т-25 конструкции Института электросварки. В табл. 1 приводятся технические данные некоторых манипуляторов выпускаемых в настоящее время.

Флюсовая аппаратура. При сварке на обычных режимах расплавляется около $\frac{1}{3}$ всего количества флюса покрывающего шов. Остальной флюс необходимо собирать в специальный бункер для повторного использования.

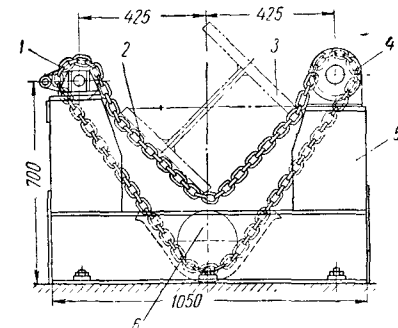
Флюс собирается в бункер чаще всего при помощи пневматического устройства.

Для создания разрежения во всасывающей трубе применяется пневматический эжектор, действующий от сети сжатого воздуха или от вакуум-насоса с электродвигателем.

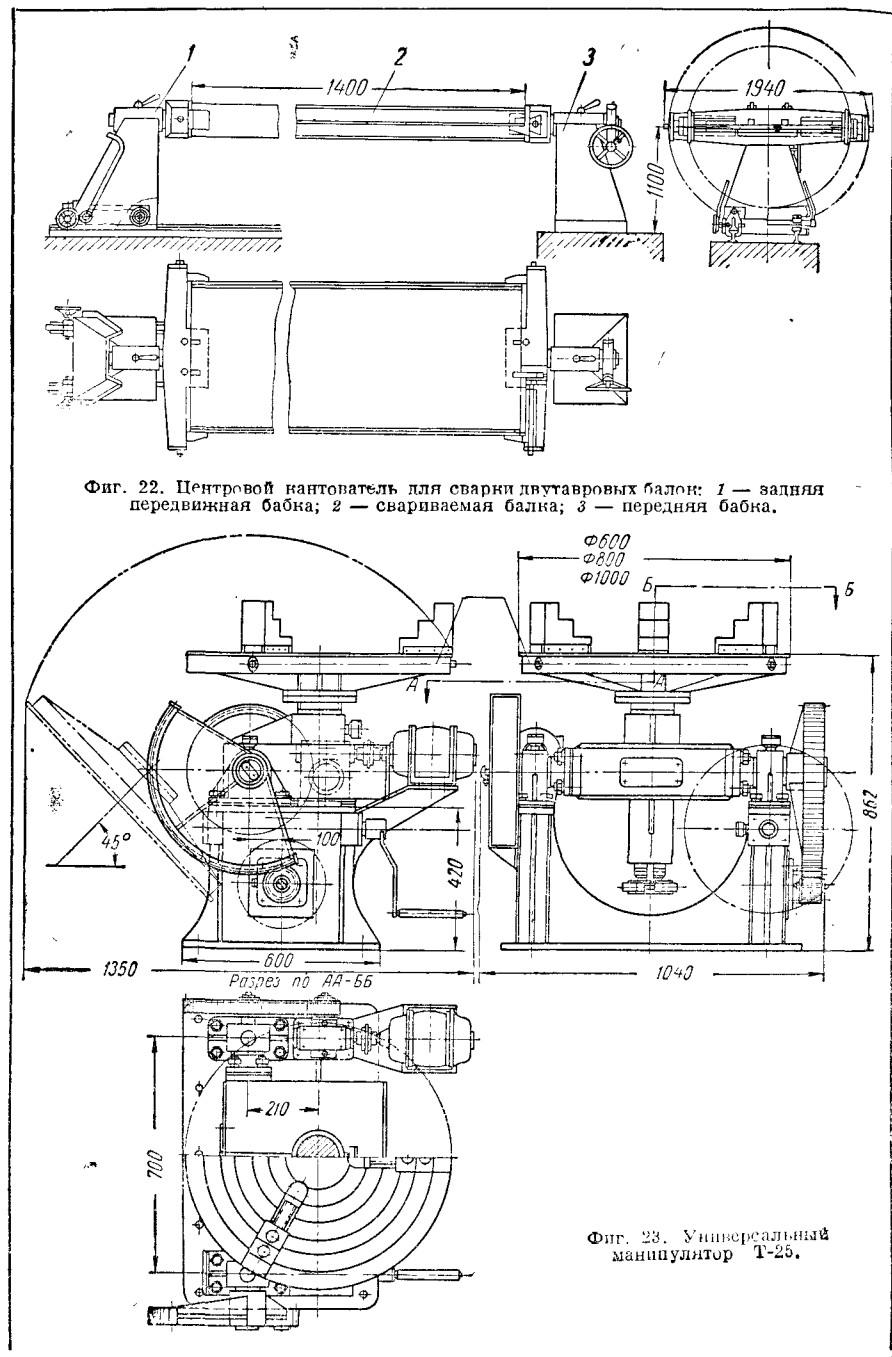
Применяются две схемы циркуляции флюса. В первой — отсос флюса производится непосредственно со шва на расстоянии не менее 300 мм от дуги, когда шлак уже успеет затвердеть. Во второй — флюс отсасывается из флюсоприемника, куда он сыпается во время сварки. Первая схема применяется в установках для сварки относительно длинных прямых и круговых швов, вторая — при сварке наружных круговых швов малого диаметра.

Пневматические флюсоаппараты бывают двух систем: 1) всасывающего действия, у которых вся полость бункера находится под разрежением; 2) всасывающе-нагнетательного (смешанного) действия, у которых только всасывающая труба находится под вакуумом, а весь бункер находится под атмосферным или даже избыточным давлением.

Флюсоаппарат всасывающего действия (фиг. 24) представляет собой небольшой бункер с пневматическим эжектором и флюсоотделяющим устройством. К верхней части бункера присоединена всасывающая труба 1. Шибер 3 перекрывает сыпной патрубок 2 во время отсоса флюса. Бункер закрыт герметичной крышкой 4, на которой смонтирован эжектор, состоящий из вакуум-



Фиг. 21. Цепной кантователь: 1 — холостая звездочка; 2 — цепь; 3 — свариваемая балка; 4 — ведущая звездочка; 5 — рама; 6 — холостой блок.



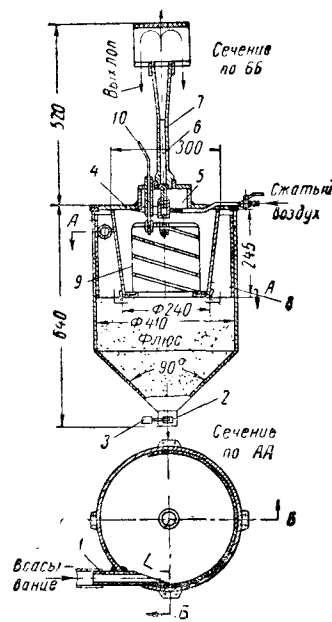
Фиг. 22. Центровой кантователь для сварки двутавровых балок: 1 — задняя передвижная бабка; 2 — свариваемая балка; 3 — передняя бабка.

Фиг. 23. Универсальный манипулятор Т-25.

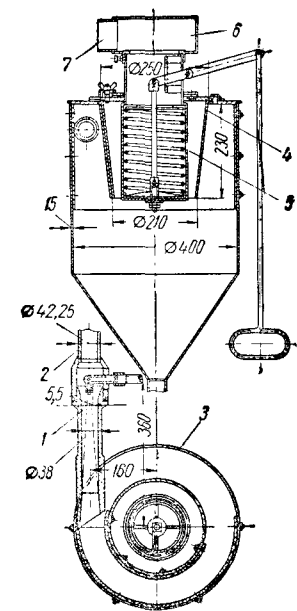
камеры 5, сопла 6 и диффузора 7. В бункере создается разрежение, благодаря которому и засасывается флюс.

Крышка бункера снабжена циклоном 8 с фильтром 9. При входе в бункер флюс отделяется от воздуха и падает на дно. После отделения крупного флюса воздух попадает в фильтр 9, где отделяется пыль. Далее воздух через диффузор 7 уходит наружу. Для периодической очистки фильтра от пыли предусмотрена специальная рукоятка 10. Бункер с внутренней стороны облицован резиной, предохраняющей его стенки от износа и уменьшающей измельчение флюса.

При высоте всасывания до 4 м, длине всасывающего трубопровода до 7 м и давлении в сети сжатого воздуха 4,5—5 атм производительность флюсоаппарата достигает 10—12 кг флюса в минуту.



Фиг. 24. Флюсоаппарат всасывающего действия.



Фиг. 25. Флюсоаппарат смешанного действия.

В аппаратах всасывающего действия вместо эжектора можно применять эксгаустеры или вакуум-насосы. Такие устройства не нашли у нас практического распространения.

Существенным недостатком аппаратов всасывающего действия является ненадежность, а иногда и невозможность одновременного отсоса и сыпки флюса, так как вследствие разрежения в бункере создается противодействие в сыпной трубе, задерживающее сыпку флюса. Поэтому аппараты всасывающего действия следует применять только в тех случаях, когда не требуется одновременный отсос и сыпка флюса.

Для обслуживания постов полуавтоматической сварки под флюсом или сварочных тракторов выпускаются флюсоаппараты Р-550 (конструкция Института электросварки им. акад. Е. О. Патона АН УССР). В этом аппарате всасывающий флюсовой бункер установлен на двухколесной тележке.

Наиболее действенной мерой борьбы с зависанием флюса является устройство двухкамерного бункера, у которого верхняя полость отделяется от нижней заслонкой. Из верхней полости флюс попадает в нижнюю часть

периодически открываемой заслонки. Недостатками этих бункеров являются: их большой габарит и необходимость периодического пересыпания флюса.

Флюсоаппарат смешанного действия (фиг. 25) снабжен пневматическим эжектором (1), размещенным непосредственно у входа всасывающего трубопровода 2 в бункер 3. При этом в полости бункера отсутствует вакуум и устраняется опасность заивания флюса. Бункер снабжен флюсоотделяющим устройством, состоящим из циклона 4, матерчатого фильтра 5 и съемного колпака 6 с выхлопным патрубком 7. В бункерах смешанного действия обеспечена надежная ссыпка флюса одновременно с отсосом, что делает целесообразным их применение при сварке длинных швов. К их недостаткам относятся: дробление флюса, повышенный износ стенок, возможность увлажнения флюса струей сжатого воздуха. Для устранения последнего целесообразно устанавливать осушители сжатого воздуха.

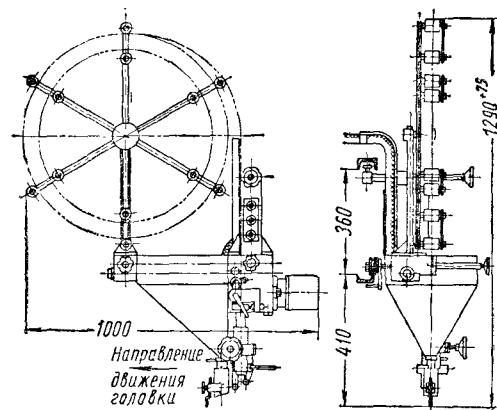
В сварочных установках флюсоаппараты обычно закрепляются на подвеске сварочной головки и движутся вместе с ней вдоль шва. Для обслуживания переносных автоматов и полуавтоматов целесообразно применять флюсоаппараты всасывающего действия, смонтированные на легких тележках.

Остальное вспомогательное оборудование приведено в описании автосварочной аппаратуры.

СВАРОЧНЫЕ ГОЛОВКИ

Ниже дано описание некоторых конструкций самоходных и подвесных сварочных головок, применяемых на заводах Советского Союза. Технические данные этих конструкций приведены в табл. 2. В качестве подвесных головок применяются также сварочные головки универсальных тракторов.

Самоходные головки типа САГ являются сварочными аппаратами упрощенного типа с одним электродвигателем для подачи электрода и горизонтального сварочного движения вдоль шва. Головка САГ-4 (фиг. 26) предназначена для сварки под флюсом относительно коротких швов, стыковых, угловых и нахлесточных соединений.



Фиг. 26. Самоходная головка САГ-4.

Ходовая часть аппарата представляет собой трехколесную тележку, которая движется по двум рельсам, расположенным в вертикальной плоскости. При перекатывании аппарата по рельсам вручную ведущие бегунки тележки отключаются от привода.

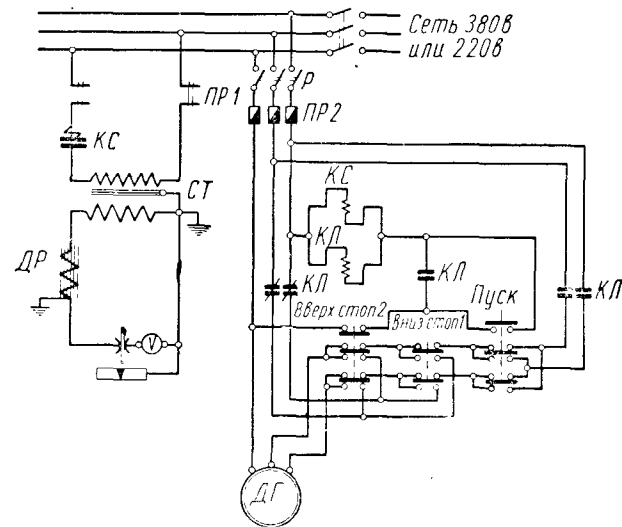
В конструкции мундштука предусмотрен механизм, позволяющий регулировать положение электрода по высоте и изменять его вылет. Вертикальная конструкция мундштука может производиться в пределах 75 мм. Направление электрода по шву осуществляется вручную с помощью поперечного винтового корректора. Мундштук головки снабжен контактными роликами.

Электрическая схема управления головкой САГ-4 приведена на фиг. 27. Кнопки «Вниз-стоп 1» и «Вверх-стоп 2» выполняют по две функции каждая. Это обеспечивается соответствующим включением нормально замкнутых и нормально разомкнутых блок-контактов контактора КЛ. При отключенной сварочной цепи кнопки «Вниз-стоп 1» и «Вверх-стоп 2» выполняют соответственно функции кнопок «Вниз» и «Вверх» и служат для вспомогательных операций. При включенной сварочной цепи эти кнопки выполняют функции «Стоп 1» и «Стоп 2» и служат для выключения головки.

Универсальный сварочный аппарат типа АБС предназначен для автоматической дуговой сварки продольных и кольцевых швов, стыковых, угловых и нахлесточных соединений металла толщиной 5 — 30 мм. Сварка может производиться под флюсом или в среде защитного газа. Аппарат может быть снабжен специальными приставками, позволяющими осуществлять широкослойную наплавку ленточным электродом или гребенкой из трех электродов, сварку алюминия и меди, сварку расщепленным электродом и т. п.

Аппарат АБС (фиг. 28) состоит из трех комплектных узлов — А, Б и С, каждый из которых предназначен для выполнения определенных операций.

Узел А представляет собой простейшую подвесную сварочную головку, состоящую из подающего механизма 1, мундштука 2, правильного механизма 3, пульта управления 4 и подвески с корректировочным механизмом 5.



Фиг. 27. Электрическая схема головки САГ-4.

Узел Б состоит из подъемного механизма 6, флюсоаппарата 7 с отсасывающим устройством и катушки для электродной проволоки 8.

Узел С представляет собой тележку велосипедного типа 9 с отдельным электроприводом.

Из перечисленных узлов можно комплектовать аппараты трех типов:

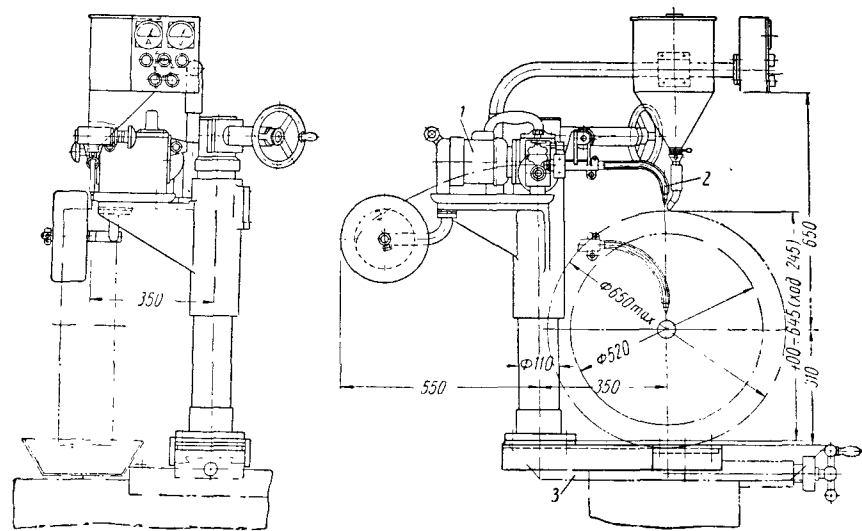
1. Подвесную головку А.
2. Подвесную головку АБ с подъемным механизмом и флюсоаппаратом.
3. Самоходный аппарат АБС, осуществляющий все операции, необходимые при автоматической сварке.

Правка проволоки в головке А производится шестипроликковым правильным механизмом. Конструкция мундштука обеспечивает достаточно точное направление проволоки. Контакты допускают значительный износ до их замены.

Корректирование направления движения электрода по шву производится либо вручную при помощи поперечного корректора и указателя, либо при помощи специального трехроликового копира, прилагаемого к головке. Оригинальным является расположение оси шарнира механизма поперечной корректировки. Обычно ось шарнира располагается параллельно шву, при этом поперечное перемещение электрода перпендикулярно шву. Ось шарнира головки А расположена под углом 45° к направлению шва. Такое расположение шарнира дает возможность сваривать швы, расположенные во взаимно-перпендикуляр-

токарных станков. Функция станка в этом случае сводится к вращению наплавляемой детали и продольной подаче головки на необходимый шаг винтовой наплавки.

Для установочных перемещений головки по высоте в колонке аппарата предусмотрен добавочный суппорт с ручным винтовым приводом.



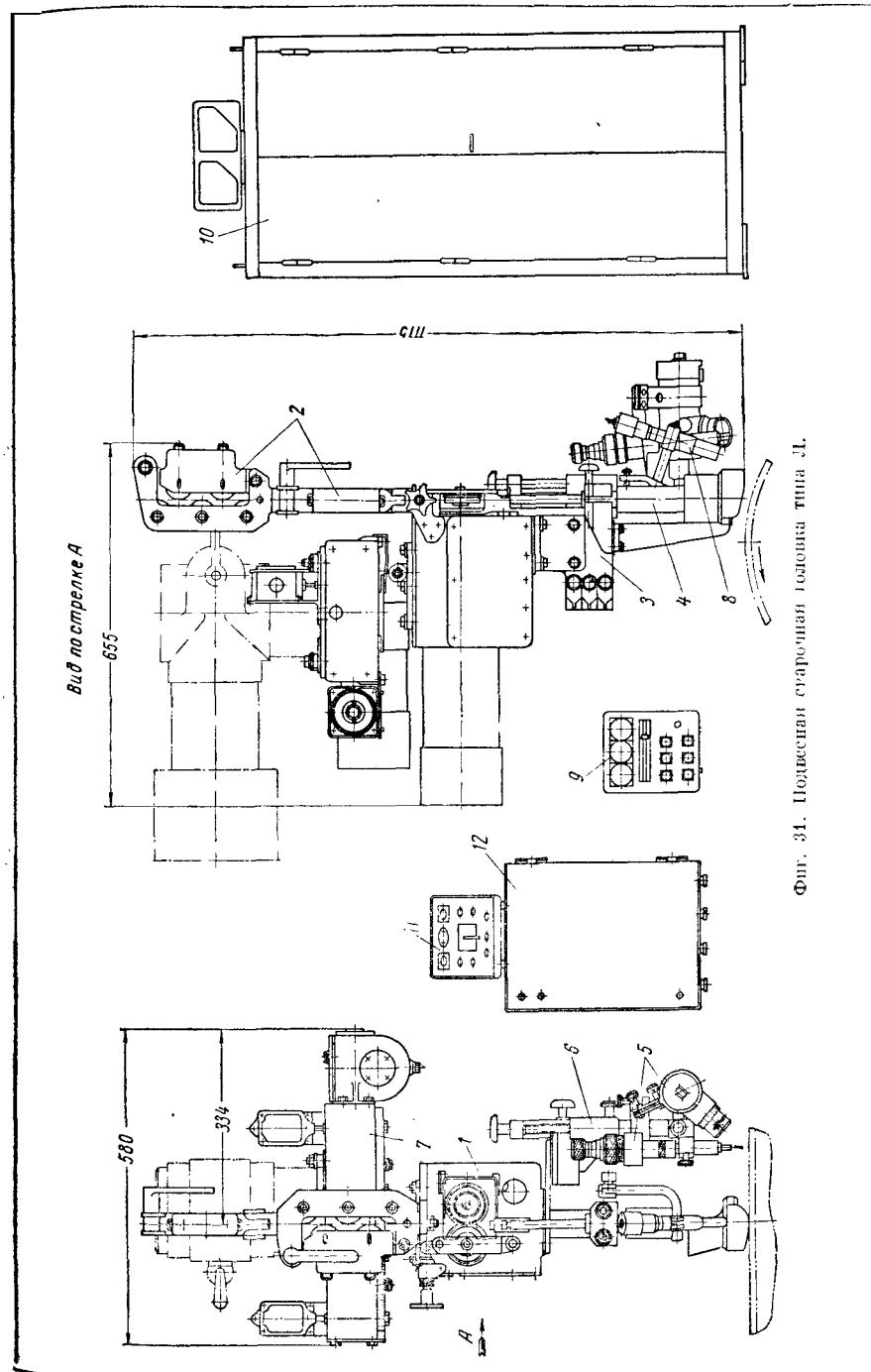
Фиг. 30. Наплавочная головка А-580: 1 — подающий механизм ПП-54 с пониженными скоростями; 2 — муфштук для наплавки шеек коленчатых валов; 3 — поддон для флюса.

Подвесная сварочная головка типа Л конструкции ЦНИИТМАШ предназначена для автоматической сварки под флюсом кольцевых и продольных, одно- и многопроходных швов на стационарных установках при работе на форсированных режимах. Головка (фиг. 31) состоит из механизма подачи электродной проволоки 1 с двигателем постоянного тока, двух правых устройств 2, расположенных во взаимно-перпендикулярных плоскостях, токоподводящей колодки 3 с воронкой для удержания флюса, муфштuka 4, фотоголовки 5, следящей за риской, нанесенной параллельно свариваемой кромке, кронштейна 6, исполнительного механизма поперечного перемещения 7 с электродвигателем следящей системы для направления электрода по стыку, световозвращателя 8 для визуального контроля положения электрода, выносного пульта управления 9 и аппаратного шкафа 10.

Фотоэлектрическая следящая система (включающая еще пульт управления 11 и аппаратный шкаф 12, которые вместе с фотоголовкой поставляются Московским электромашиностроительным заводом в виде комплекта ФКУ-30) обеспечивает посредством исполнительного механизма автоматическое направление электрода по свариваемой кромке с точностью до 1 мм.

Подача электрода — независимая, с плавным регулированием скорости при помощи электромашинного усилителя, который обеспечивает постоянство установленного числа оборотов двигателя.

Вертикальное перемещение головки осуществляется при помощи установочных механизмов сварочного станка, на котором располагаются также бункер для флюса и катушка для электродной проволоки.



Фиг. 31. Подвесная сварочная головка типа Л.

2. Основные технические данные сварочных головок

Технические данные	Тип сварочной головки					
	Л	САГ-4	АВС	А-384	А-409	А-580
	ЦНИИТМАШ	Института электросварки им. Е. О. Патона АН УССР				
Диаметр электродной проволоки в мм	4—6	4—6	2—6	3—5	1,5—2	1—3
Скорость подачи электродной проволоки в м/мин	0,9—7,2	0,66—2,5	0,48—3,65		1,3—10	0,8—6,8
Скорость сварки в м/час	—	20—74	14—110	—	—	—
Величина сварочного тока в а	до 1750	300—1000	до 1500	до 1000а	100—400	100—600
Род сварочного тока	Переменный или постоянный					
Вертикальная настройка мундштука в мм	—	75	200	250	245	
Настройка скорости сварки	—	Сменными шестернями		—	—	—
Настройка скорости подачи электрода	Регулированием числа оборотов двигателя	Сменными шестернями				
Система подачи электрода	С постоянной скоростью подачи					
Характер связи подачи электрода с движением дуги	Отдельный привод	Общий привод	Отдельный привод			
Габариты в мм						
длина	655	1000	760	610	900	925
ширина	580	450	710	700	500	1200
высота	1115	1310	1750	1840	1150	1250
Вес в кг	175	52	100	135	80	81

СВАРОЧНЫЕ ТРАКТОРЫ

Сварочными тракторами принято называть сварочные аппараты, которые могут перемещаться непосредственно по изделию. Трактор представляет собой самоходную тележку, несущую на себе механизм подачи электродной проволоки с токоподводящим мундштуком, бункер для флюса, кассету с электродной проволокой и пульт управления.

Универсальность и удобство применения сварочных тракторов привели к созданию разнообразных конструкций этой аппаратуры. ГОСТ 8213-56 на «Автоматы одноэлектродные тракторного типа для сварки под флюсом» предусматривает три типа конструкций.

В соответствии с этим ГОСТом выпускаемые модели сварочных тракторов могут быть отнесены к легкому (500 а), среднему (1000 а) или тяжелому (2000 а) типам. Напряжение холостого хода автомата со стороны сварочной дуги должно быть не больше 80 в при переменном токе и не больше 90 в при постоянном токе. По требованию потребителя допускается и повышенное напряжение холостого хода. В этом случае должно быть обеспечено автоматическое отключение напряжения при холостом ходе автомата. Тракторы должны равномерно двигаться при периодическом подтаскивании питающих проводов через каждые 3 м шва.

Устройство трактора должно обеспечивать возможность выполнения следующих движений вручную: горизонтального перемещения сварочной головки на ± 25 мм перпендикулярно шву, перемещения каретки, подъема сварочной головки или мундштука на 50 мм, установки конца электродной проволоки для сварки и наклона ее на угол не менее 45° к вертикали в плоскости, перпендикулярной к оси шва. Конструкция трактора и его схема должны предусматривать возможность управления растяжкой дуги для заплавления кратера в конце шва и наблюдения за движением электрода по шву.

Номинальное напряжение в цепях кнопочного управления равно 12 или 36 в для переменного тока и 48 в для постоянного тока. Длина проводов, соединяющих трактор с остальной аппаратурой сварочной установки, должна быть не менее 10 м.

Технические данные приведенных ниже конструкций сварочных тракторов представлены в табл. 3 и 4.

Универсальный сварочный трактор типа ТС-17-М предназначен для сварки прямолинейных и кольцевых швов стыковых (с разделкой и без разделки кромок), угловых и нахлесточных соединений металла толщиной 2—20 мм. Минимальный диаметр внутренних кольцевых швов 1200 мм. Сварка угловых соединений может осуществляться «в лодочку» наклонным электродом.

Сварка производится на переменном или постоянном токе с постоянной скоростью подачи электродной проволоки.

Характерной особенностью тракторов ТС-17-М (фиг. 32) является наличие в них только одного электродвигателя 1, который приводит в движение механизм 2 подачи электрода и ходовой механизм 3. Вал двигателя трактора одним своим концом соединен с механизмом подачи, а другим — с механизмом движения трактора. Оба механизма смонтированы комплектно с электродвигателем в один блок, служащий несущим корпусом трактора, на котором закреплены все остальные узлы: мундштук для подвода сварочного тока к электроду 4, пульт управления 5, катушка с электродной проволокой 6 и бункер 7 для флюса (без отсасывающего устройства).

Универсальность тракторов типа ТС-17 достигается сменностью узлов и деталей, при помощи которых можно настроить трактор на необходимый тип шва. Сварка большинства швов (за исключением некоторых стыковых, не имеющих разделки или зазора) производится по копиру, однако предусмотрена возможность ручного направления дуги по шву с помощью специального корректора 8.

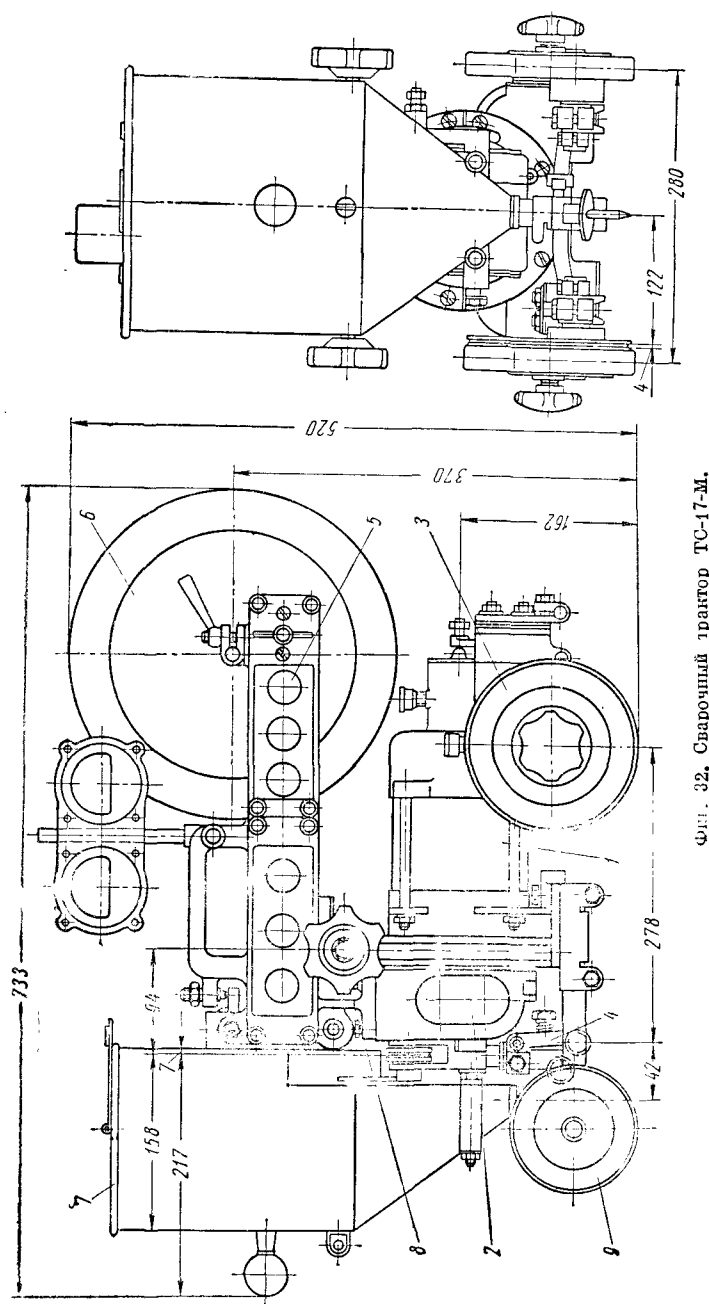
При сварке стыковых швов, собранных с зазором, или разделкой кромок и угловых швов «в лодочку», передние ролики ходового механизма, которые устанавливаются вместо бегунков 9, двигаются по разделке шва или по углу, образованному свариваемыми листами, и, таким образом, автоматически направляют весь трактор по шву. Настройка конца электрода относительно копирующих

8. Основные технические данные тракторов типа ТС Института электросварки им. акад. Е. О. Патона АН УССР

Технические данные	Тип сварочного трактора				
	ТС-17-М	ТС-17-Р	А-554	ТС-26	ТС-32
	Универсальные		Специальные	Универсальные	Специальные
Назначение	Для сварки стыковых (с разделкой и без нее), нахлесточных и угловых («в лодочку» и наклонным электродом) швов		Для сварки изделий из алюминия	Для сварки стыковых швов металла толщиной до 40 мм	Для сварки стыковых швов листовых конструкций из металла толщиной 2—12 мм
Диаметр электродной проволоки в мм	1,6—5		2—4	3—6	2—5
Скорость подачи электродной проволоки в м/мин	0,84—6,7	0,95—7,3	1,4—10,6	0,7—7,8	2,3—4,7
Скорость сварки в м/час	16—126		7,8—61	9—80	24—50
Величина сварочного тока в а	200—1200		100—700	300—1500	до 900
Род тока	Постоянный или переменный		Постоянный	Переменный	Постоянный
Настройка скорости подачи электрода	Сменными шестернями				
Настройка скорости сварки	Сменными шестернями				
Система подачи электрода	С постоянной скоростью подачи				
Характер связи скорости подачи электрода с движением дуги	Общий электропривод механизмов подачи и движения				
Габариты в мм:					
длина	720	740	820	805	
ширина	350	300	400	495	
высота	520	520	535	440	
Вес в кг	42	46	50	68	

4. Основные технические данные тракторов типа АДС, УТ и АСУ Тип сварочного трактора

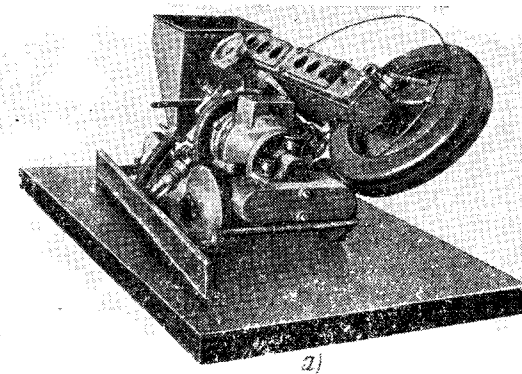
Технические данные	Тип сварочного трактора				
	АДС-1000-2	АДС-500	АДФ-500	УТ-1250-3	АСУ-2
	Универсальный				
Назначение	Специальный				
	Для сварки кольцевых швов внутри сосудов диаметром больше 800 мм				
	Для сварки стыковых швов листовых конструкций из металла толщиной 2—12 мм				
	Для сварки стыковых швов листовых конструкций из металла толщиной 2—12 мм				
	Для сварки стыковых швов листовых конструкций из металла толщиной 2—12 мм				
Диаметр электрода в мм	3—6	1,6—2	1,2—2,5	1,6—6	2
Скорость подачи электродной проволоки в м/мин	0,5—2	1,8—7	1,5—16	0,75—16	1,7—6,6
Скорость сварки в м/час	15—70	15—70	15—80	10—80	24—50
Величина сварочного тока в а	400—1200	120—600	150—500	150—1250	до 900
Род тока	Постоянный или переменный	Постоянный	Постоянный	Переменный (возможен постоянный)	Постоянный
Настройка скорости подачи электрода	Автоматическим изменением числа оборотов двигателя	Изменением числа оборотов двигателя	Изменением числа оборотов двигателя	При помощи фрикционного вариатора	Центробежным регулятором
Настройка скорости сварки	Изменением числа оборотов двигателя	Изменением числа оборотов двигателя	Изменением числа оборотов двигателя	Общий электро-двигатель для каждого механизма	Отдельный для каждого механизма
Характер связи скорости подачи электрода с движением дуги	Отдельный двигатель для каждого механизма	Отдельный двигатель для каждого механизма	Отдельный двигатель для каждого механизма	Общий электро-двигатель для каждого механизма	Отдельный для каждого механизма
Система подачи электрода	С зависимой скоростью	С зависимой скоростью	С зависимой скоростью	С постоянной скоростью подачи	С постоянной скоростью подачи
Вылет сварочной головки от центра колеи в мм	365	—	—	400	—
Габариты в мм:					
длина	1010	530	570	1220	670
ширина	350	330	260	350	300
высота	662	440	420	590	480
Вес в кг	65	30	28	50	37



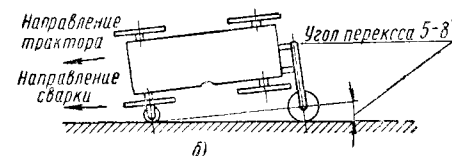
Фиг. 32. Сварочный трактор ТС-17-М.

роликов производится при помощи поперечного корректора 8. При сварке угловых швов наклонным электродом (фиг. 33), в особенности малокалиберных швов, направление дуги по шву должно быть особенно точным. Обычного копирования движением всего трактора по шву в этом случае недостаточно. Поэтому для сварки угловых швов наклонным электродом применяется двойное копирование: грубое — направлением трактора по шву (самокопирование) и точное — качающимся мундштуком трактора.

Ручное направление электрода по шву осуществляется специальной рукояткой на бункере трактора.



а)



б)

Фиг. 33. Настройка трактора ТС-17-М для сварки угловых швов наклонным электродом: а — общий вид; б — схема копирования угловых швов.

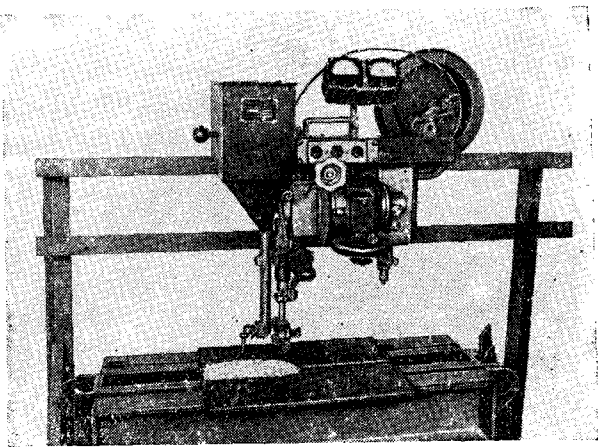
Трактор ТС-17-М приспособлен также для передвижения по направляющей линейке, укладываемой параллельно шву. В этом случае возможные отклонения электрода от оси шва устраняются вручную при помощи поперечного корректора 8 (см. фиг. 32). Направляющая линейка неудобна в эксплуатации, так как требует предварительной точной укладки; поэтому применять ее рекомендуется лишь в исключительных случаях. — например при сварке очень коротких изделий или когда передвижение трактора непосредственно по поверхности изделия невозможно.

Электрическая схема управления двигателем трактора ТС-17-М совершенно аналогична схеме управления головкой САГ-4 (см. фиг. 27). Трактор снабжен добавочным кнопочным пультом, который используется для управления двигателем вращателя при сварке кольцевых швов.

Кроме нормального исполнения, трактор ТС-17-М может быть смонтирован в различных специальных модификациях. На фиг. 34 показано применение трактора ТС-17-М в качестве самоходной головки. Такое исполнение носит название ТС-17-С.

Имеются модификации трактора для сварки поворотных стыков газопроводных труб, для многослойной сварки металла толщиной до 50—60 мм и т. д.

В обычном исполнении тракторы типа ТС-17-М предназначены для сварки стали под флюсом. Однако при необходимости они могут быть снабжены специальными приставками для сварки плавящимся электродом в защитной газовой среде, для сварки расщепленным электродом и т. д.

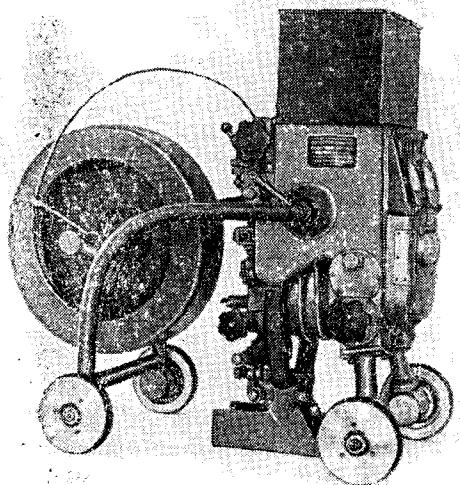


Фиг. 34. Сварочный трактор ТС-17-М, смонтированный в виде самоходной головки (исполнение ТС-17-С).

Для сварки алюминия и его сплавов сварочный трактор может быть оборудован специальной приставкой типа А-554. В этом случае сварка производится полукруглой дугой специальным муфштуком.

Сварочный трактор ТС-17-М является наиболее распространенным в промышленности сварочным аппаратом. Институтом электросварки им. Е. О. Патона АН УССР была произведена модернизация трактора, в результате чего разработана модель трактора ТС-17-Р. Одной из конструктивных особенностей его является то, что электрод может находиться не только в пределах колесной базы трактора, но и вне ее, т. е. может быть вынесен на сторону, что необходимо, например, при приварке сферического днища к обечайке сосуда.

Для стыковой сварки металла большой толщины Институтом электросварки создан мощный сварочный трактор типа ТС-26 (фиг. 35), который при сохранении всех преимуществ портативного переносного сварочного аппарата (вес 50 кг) имеет большое сечение токоведущих частей, а его двигатель и редуктор

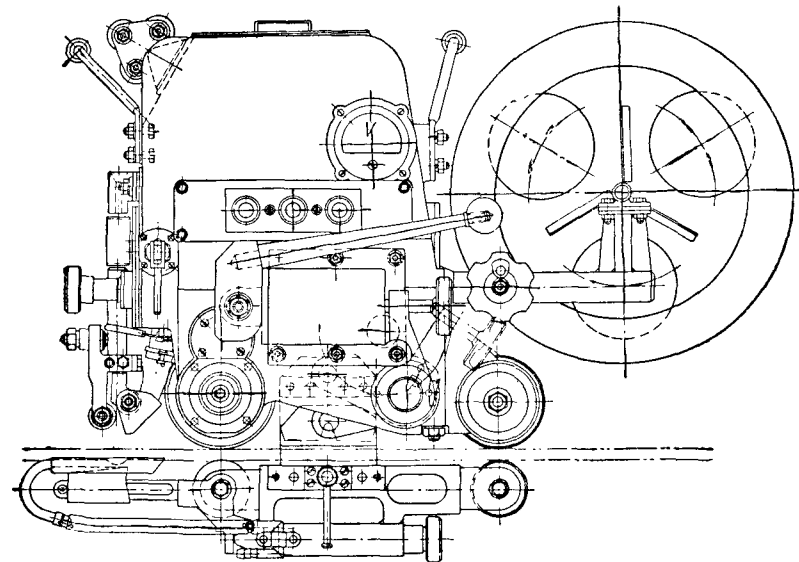


Фиг. 35. Сварочный трактор ТС-26.

предохранены от нагрева сварочной дугой. Общая компоновка и регулируемое шасси трактора позволяют сваривать наружные и внутренние кольцевые швы в сосудах диаметром от 1200 мм. Электрическая схема трактора ТС-26 не отличается от схемы трактора ТС-17-М.

Сварочный трактор типа ТС-32 (фиг. 36), разработанный в институте электросварки им. Е. О. Патона АН УССР, служит для сварки листовых конструкций (полотнищ судовых секций, заготовок резервуаров, железнодорожных цистерн и т. п.).

Он предназначен для односторонней автоматической сварки под флюсом стыковых швов листового металла толщиной 2—12 мм на скользя-



Фиг. 36. Сварочный трактор ТС-32.

щем медном охлаждаемом водой ползуне, который принудительно формирует обратный (нижний) валик шва.

Применение скользящего ползуна позволяет отказаться от дорогостоящих магнитных стенов и сложных зажимных устройств.

При сварке трактором ТС-32 листы собираются с зазором 2—3 мм и скрепляются короткими пластинами, так называемыми гребенками, прихваченными к свариваемым листам. Во время сварки эти пластины легко удаляются оператором при приближении к ним трактора.

Сварочный трактор состоит из собственно сварочного трактора, находящегося над швом, и нижней тележки с формирующим ползуном. Обе части связаны между собой толким стальным ножом, проходящим через обязательный зазор между свариваемыми кромками и прижимаются друг к другу мощной пружиной (усилием до 450 кг). Совместная работа этих элементов трактора обеспечивает: а) совмещение свариваемых кромок в зоне сварки в одну плоскость; б) механическую подачу электродных проволок; в) поджим и перемещение формирующего ползуна с нижней стороны стыка; г) перемещение сварочной дуги вдоль свариваемого шва; д) направление электрода по стыку. е) подачу флюса в зону сварки.

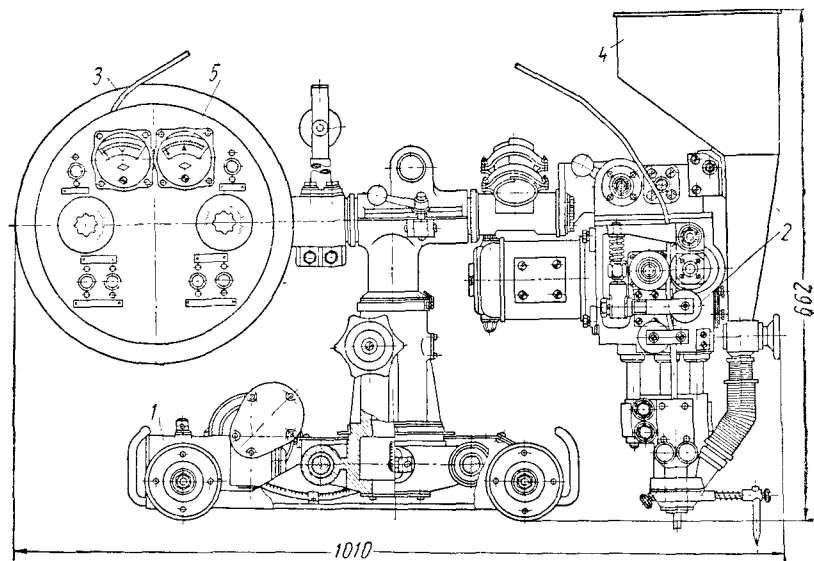
В процессе сварки формирующий ползун скользит по шву находясь все время под сварочной ванной. Таким образом, ползун формирует шов снизу и предохраняет стык от прожогов.

Сварочный трактор имеет постоянную скорость подачи электродной проволоки и снабжен одним асинхронным электродвигателем, осуществляющим подачу электрода и движение по изделию. Для удобства управления и настройки трактора на нужный скоростной режим оба механизма (подачи и движения) снабжены коробками скоростей.

Конструкция сварочного трактора предусматривает возможность сварки швов, расположенных на горизонтальных и наклонных (до 15° к горизонту) поверхностях.

Наряду с одномоторными тракторами типа ТС, наша промышленность выпускает универсальные двухмоторные тракторы АДС, УТ и др. В них оба рабочих механизма (подачи электрода и движения) снабжены отдельными электродвигателями. Наличие отдельных двигателей позволяет применять автоматические регуляторы дуги.

Трактор АДС-1000-2 завода «Электрик» (фиг. 37) представляет собой тележку 1, на которой укреплена сварочная головка 2 с механизмом подачи



Фиг. 37. Сварочный трактор АДС-1000-2.

электродной проволоки, кассета 3 для электродной проволоки, бункер 4 для подачи флюса и пульт 5 для управления процессом сварки. Тележка трактора представляет собой шасси на четырех колесах с резиновыми ободьями. Движение тележки осуществляется по рельсовому пути либо непосредственно по изделию электродвигателем постоянного тока с плавной регулируемой скоростью.

Сварочная головка может быть наклонена для сварки угловых швов. Верхняя часть сварочного трактора поворотная, что дает возможность производить сварку внутри и вне колес. Это дает широкие возможности для настройки автомата на сварку швов, расположенных на разном расстоянии от рельсового пути тележки.

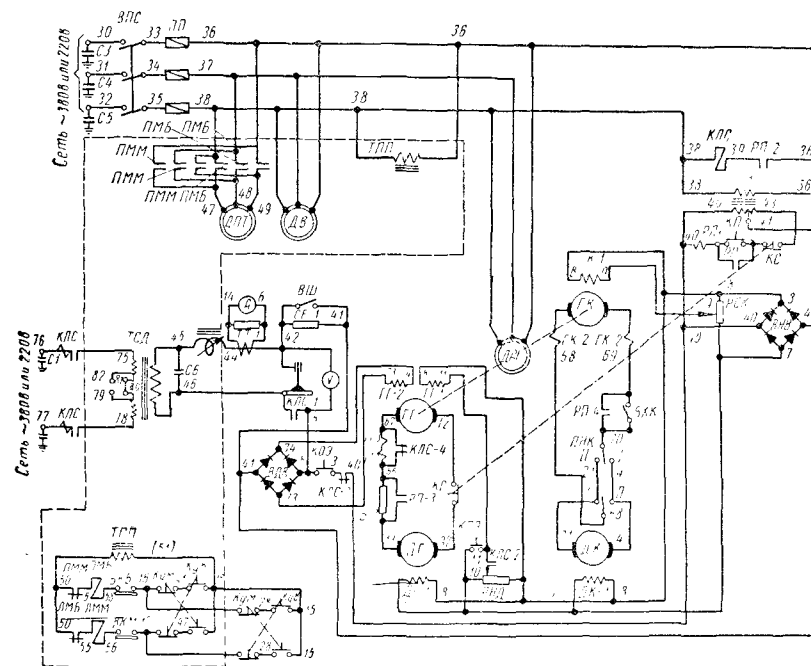
Электрическая схема трактора (фиг. 38) снабжена автоматическим регулятором напряжения дуги.

Генератор ГГ, питающий якорь двигателя головки ДГ, подающего электродную проволоку, снабжен двумя основными обмотками возбуждения: независимой ГГ-1, питаемой неизменным напряжением сети через выпрямитель, и встречной ГГ-2, питаемой через выпрямитель от напряжения дуги.

Направление и скорость вращения двигателя головки, а следовательно, направление и скорость подачи электродной проволоки, зависят от соотношения ампер-витков обмоток ГГ-1 и ГГ-2 генератора головки; под влиянием обмотки ГГ-1 двигатель головки отводит электрод от изделия, а под действием обмотки ГГ-2 электрод подается к изделию.

Генератор головки ГГ дополнительно снабжен третьей обмоткой возбуждения ГГ-3 последовательной, которая действует согласно с наиболее сильной в данный момент обмоткой возбуждения ГГ-1 и ГГ-2.

В момент начала сварки, когда электрод касается изделия, напряжение на обмотке ГГ-2 близко к нулю и генератор под воздействием обмоток ГГ-1 и ГГ-3



Фиг. 38. Электрическая схема трактора АДС-1000-2.

подает на якорь двигателя напряжение такой полярности, что при этом происходит отрыв электрода от изделия.

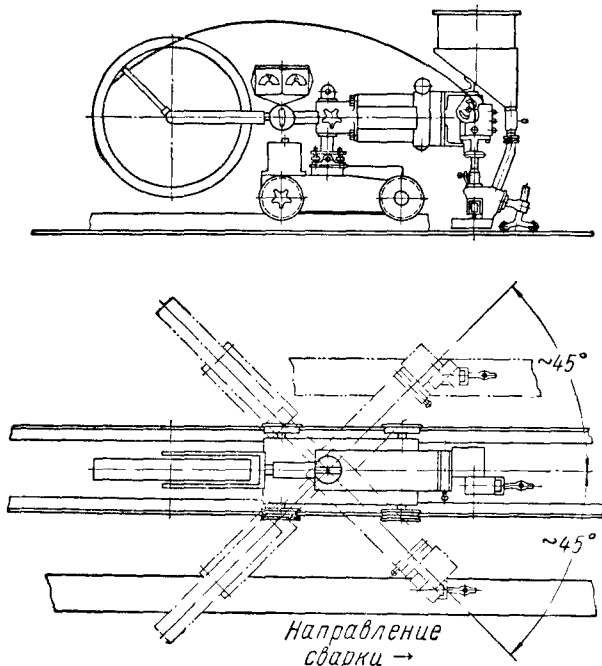
С момента возбуждения дуги возрастают ампер-витки обмотки возбуждения ГГ-2, в результате чего изменяется полярность на зажимах генератора головки ГГ и направление тока в последовательной обмотке ГГ-3. Двигатель головки ДГ меняет направление вращения и начинает подавать электродную проволоку в сторону изделия. Изменением напряжения, подаваемого на обмотку ГГ-1 (при помощи потенциометра РНД), устанавливается необходимое напряжение дуги.

Для перемещения трактора служит двигатель ДК, якорь которого питается напряжением генератора каретки ГК. Изменение направления движения трактора осуществляется пакетным переключателем ПНК.

В случае необходимости двигатель ДК может быть выключен выключателем ВХК.

Главное регулирование скорости движения трактора (скорости сварки) производится с помощью потенциометра РСК.

Универсальный сварочный трактор типа УТ-1250-3 конструкции ЦНИИТМАШа предназначен для автосварки стыковых и угловых швов как под флюсом, так и в углекислом газе. Стыковые швы могут свариваться также двумя электродными проволоками расщепленным электродом, различным образом расположенным по шву. Трактор может перемещаться непосредственно по свариваемому изделию или по рельсовому пути. Основанием тракторов УТ-1250-3 (фиг. 39) является тележка с четырьмя ведущими колесами, на которой установлена колонка с коромыслом. На одном конце коромысла подвешена свароч-



Фиг. 39. Универсальный трактор УТ-1250-3.

ная головка с бункером для флюса, на другом — кассета для электродной проволоки. Настройка положения головки относительно тележки производится при помощи ряда настроечных и регулировочных устройств.

Характерным для сварочных тракторов УТ является сочетание постоянной скорости подачи электрода с возможностью бесступенчатого изменения этой скорости во время сварки. Сварочная головка и тележка трактора УТ-1250-3 снабжены двигателями постоянного тока, которые регулируются при помощи магнитных усилителей конструкции ЦНИИ Электром АН СССР. Это обеспечивает широкий диапазон скоростей и жесткую механическую характеристику привода.

Направление электрода по шву у тракторов УТ может быть ручным и автоматическим. Ручное направление осуществляется поперечным корректором при контроле положения электрода по световому указателю, а автоматическое — копирным устройством. При сварке стыковых швов с разделкой кромок применяются копирные ролики. При сварке угловых швов наклонным электродом тележка и головка трактора направляются специальными копирными роликами.

Универсальные сварочные тракторы типа УТ можно использовать и как самоходные головки, перемещающиеся по стационарному рельсовому пути. Для этой цели колонка с коромыслом монтируется под кареткой (фиг. 40).

Очень удобны в работе выпускаемые заводом «Электрик» по проекту ВНИИЭСО самые легкие тракторы типа АДС-500 и АДФ-500 для сварки тонкой электродной проволокой стыковых и угловых швов металла толщиной до 10—14 мм.

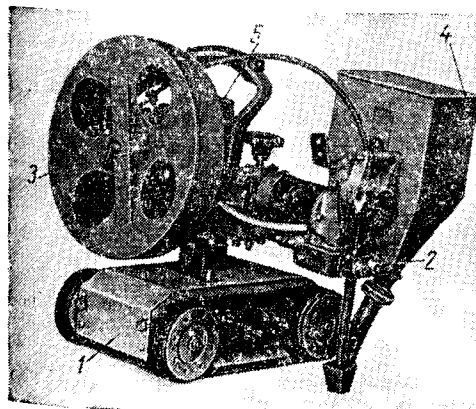
Сварочный трактор АДС-500 предназначен для дуговой сварки под флюсом стыковых швов с разделкой и без разделки кромок, а также для угловых швов. Сварка производится постоянным током, электродной проволокой диаметром 1,6; 2; 2,5 мм.

Трактор (фиг. 41) представляет собой тележку 1, на которой укреплены: сварочная головка 2 с механизмом подачи электродной проволоки, кассета 3 для электродной проволоки, бункер 4 для подачи флюса и пульт 5 для управления процессом сварки. Пульт управления — съемный, что дает возможность укреплять его на тракторе или держать непосредственно в руке во время сварки. Тележка движется на четырех колесах с резиновыми ободьями, связанными клиновыми ремнями, вследствие чего все четыре колеса являются ведущими. Для сварки угловых швов сварочная головка трактора соответственно наклоняется.

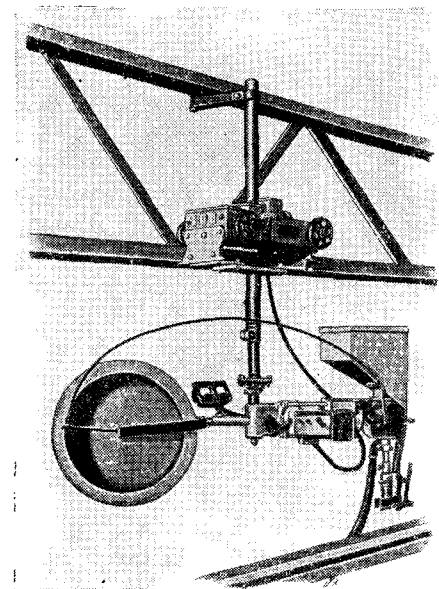
Верхняя часть трактора является поворотной, что дает возможность производить сварку внутри и вне колеи колес. Вес аппарата 30 кг (без электродной проволоки и флюса). Электрическая схема трактора обеспечивает возможность плавного регулирования скорости подачи электродной проволоки и скорости сварки.

Малогабаритный трактор АДФ-500 (фиг. 42) предназначен для дуговой сварки под флюсом постоянным током прямолинейных нахлесточных и стыковых швов с разделкой и без разделки кромок. Путем замены ряда узлов и деталей трактор может быть переоборудован в аппарат типа АДПГ-500 для сварки плавящимся электродом в среде защитных газов. Так как трактор вместе с проводами и шлангами весит всего 28 кг, для большей надежности его передвижения все четыре бегунка являются ведущими.

Для трактора АДФ-500 характерно расчленение механизма подачи на две части: электрододвигатель 1 с редуктором 2 находится на одном конце коромысла 3 трактора, а механизм подачи 4 — на другом.



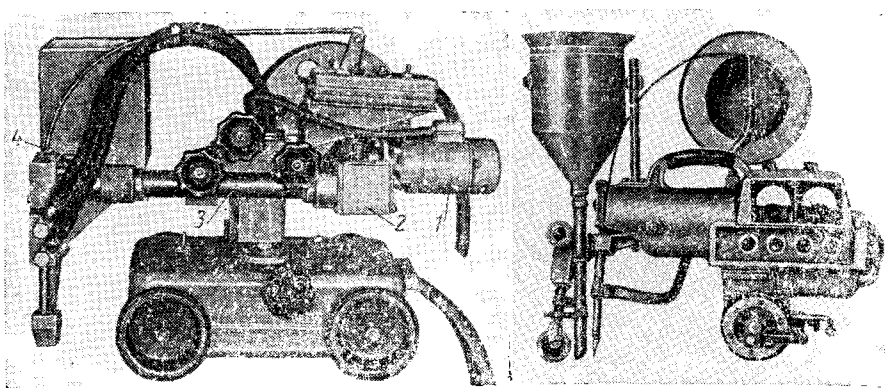
Фиг. 41. Сварочный трактор АДС-500.



Фиг. 40. Универсальный трактор УТ-1250, примененный в качестве самоходной головки.

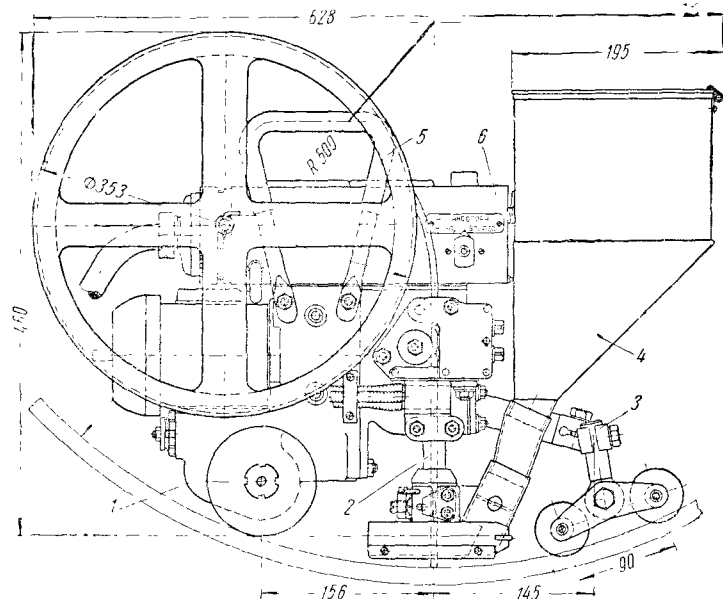
Подача электродной проволоки и перемещение каретки трактора производятся двигателями постоянного тока.

Трактор АСУ-2 (фиг. 43) предназначен для сварки стыковых и угловых швов в судостроении.



Фиг. 42. Сварочный трактор АДФ-500.

Фиг. 43. Сварочный трактор АСУ-2.



Фиг. 44. Сварочный трактор ССГ-3: 1 — корпус трактора; 2 — мундштук; 3 — копирные ролики; 4 — бункер; 5 — кассета; 6 — пульт управления.

Конструкция ходовой тележки трактора обеспечивает направление его движения вдоль линии углового шва без направляющих путей. Направление движения аппарата при сварке стыковых швов контролируется световым указателем.

Трактор ССГ-3 конструкции ЦНИИТМАШа (фиг. 44) предназначен для сварки внутренних кольцевых швов сосудов диаметром от 800 мм и выше. Трактор пригоден также для сварки прямолинейных стыковых швов с разделкой кромок.

МНОГОЭЛЕКТРОДНЫЕ СВАРОЧНЫЕ АППАРАТЫ

В последние годы в промышленности широко применяется многояэлектродная и многодуговая сварка и наплавка под флюсом, что позволяет значительно повысить производительность процесса, а также качество свариваемых соединений и наплавляемых деталей. В связи с этим создан ряд специализированных сварочных автоматов. Технические данные некоторых из них приведены в табл. 5 и 6.

Самоходный сварочный аппарат типа А-330 конструкции Института электросварки им. Е. О. Патона АН УССР предназначен для трехэлектродной сварки прямых стыковых швов металла толщиной от 8 мм и выше. Аппарат позволяет производить сварку двумя дугами с дополнительной присадочной проволокой или тремя дугами (трехфазная сварка), причем все дуги могут иметь общую сварочную ванну или раздельные.

Аппарат А-330 (фиг. 45) состоит из самоходной тележки велосипедного типа, снабженной электроприводом с маршевой и рабочей скоростью движения. К корпусу тележки подвешена вертикальная штанга с траверсой, на которой укреплены три сварочные головки. Подъем и опускание штанги осуществляется электроприводом. Предусмотрена возможность плавной раздельной и совместной корректировки электродов в поперечном ко шву направлении.

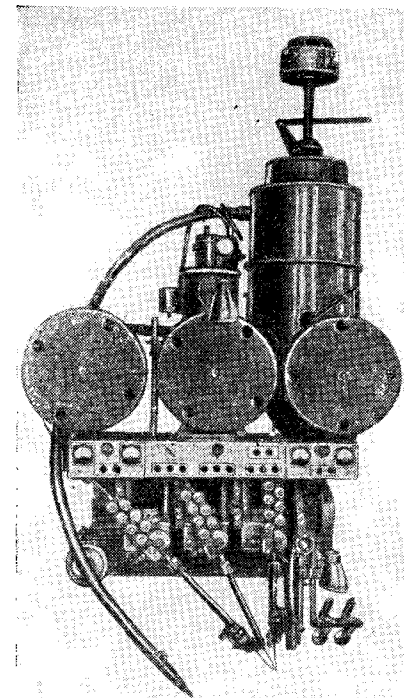
Сварочный аппарат А-330 выпускается в двух исполнениях: для работы с постоянной, независимой от напряжения дуги, скоростью подачи и для работы с автоматическими регуляторами напряжения дуги.

Аппарат позволяет производить сварку при сварочных токах в каждом электроде до 1200 а. Электроды устанавливаются вертикально или наклонно.

Аппараты А-330 широко используются для сварки продольных швов труб большого диаметра. Кроме того, они могут быть рекомендованы для сварки односторонних прямых швов на разного рода балках и других конструкциях.

Головка типа ТГЦ-2 конструкции ЦНИИТМАШа предназначена для сварки трехфазной дугой и двумя последовательными дугами. Она смонтирована из двух одноэлектродных головок, подъемной штанги с электроприводом, двух кассет для электродной проволоки, флюсоаппарата, световых указателей и электромеханического копира.

Подвешенная головка АТГ-3 (фиг. 46) также может применяться для сварки трехфазной дугой. В этой головке две дуги горят между проволоками



Фиг. 45. Многояэлектродный автомат А-330.

5. Основные технические данные многоэлектродных сварочных головок

Технические данные	Тип сварочной головки			
	А-330	А-513	АТГ-3	ТГЦ-2
	Института электросварки АН УССР		Минтрансаш	ЦНИИТМАШ
Назначение	Для сварки двумя дугами, горящими в общем плавильном пространстве. Возможна подача приса- дочной прово- локи и сварка тремя дугами	Для высо- копроизво- дительной широко- слоистой наплавки гребенкой электродов	Для сварки трехфазной дугой двумя электро- дами	
Тип головки	Самоходная	Подвесная		
Количество электродов	3		2	
Расположение электро- да по отношению к направлению сварки	Вдоль шва	Поперек шва	Вдоль шва	
Диаметр электродной проволоки в мм	3—5	2—4	5—8	3—8
Скорость подачи электродной прово- локи в м/мин	1—5	0,5—2,5	0,62—2,9	0,55—4,6 и 1,7—14
Количество электро- двигателей для по- дачи проволоки	3	1	2	
Скорость сварки в м/час	40—120	—		
Сварочный ток в а	До 1500 на каждую электродную проволоку	До 3000 на все электроды	1500—1800 на каждую электрод- ную проволоку	300—2000
Настройка скорости подачи	Сменными шестернями		Сменными роликами и шестер- нями	Сменными шестерня- ми и вари- атором скоростей
Настройка скорости сварки	Сменными шестернями	—		
Система подачи элек- тродов	С постоянной скоростью подачи			

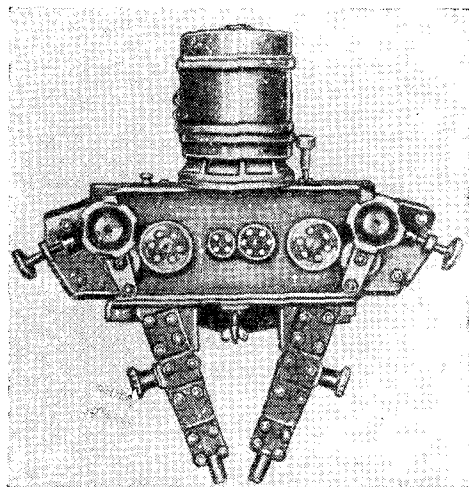
6. Основные технические данные двухэлектродных сварочных тракторов

Технические данные	Тип сварочного трактора		
	ДТС-24	АДСД-500	ТЗФ-УЗТМ
	Института электро- сварки им. акад. Е. О. Патона	Конструкции «ВНИИЭСО»	Уралмашзавода
Назначение	Для сварки двумя дугами, горящими в общей ванне; двумя раздвинутыми дугами и трехфазной дугой, а также для наплавки	Для сварки двумя дугами, горящими в общей ванне; для трехфазной сварки; для наплавки и для ванно-шлаковой сварки	Для трехфазной сварки
Количество электродов	2		
Расположение электродов по отношению к направлению сварки	Вдоль шва. При использовании трактора в качестве подвесной головки возможно расположение поперек шва	Вдоль и поперек шва	
Диаметр электродной проволоки в мм	1,6—4	1,6—2	3—5
Скорость подачи электродной проволоки в м/мин	0,8—3,4	2,5—10	0,65—5
Скорость сварки в м/час	15,5—85 (23,2—127)	8—40	7—64
Сварочный ток на каждом электроде в а	До 1000	До 500	До 1000
Настройка скорости подачи	Ступенчатая при помощи сменных шестерен	Плавная за счет изменения числа оборотов двигателей головки и тележки	Ступенчатая при помощи сменных шестерен и коробки скоростей
Настройка скорости сварки			
Система подачи электродов	С постоянной скоростью		
Характер связи скорости подачи электрода с движением дуги	Общий электродвигатель	Отдельный электродвигатель для каждого механизма	Общий электродвигатель

и изделием, а третья — только между проволоками. Головка подает обе проволоки с постоянной скоростью.

Многоэлектродный аппарат типа А-513 (фиг. 47) предназначен для высокопроизводительной широкослойной наплавки несколькими электродами (расщепленный электрод).

Аппарат А-513 представляет собой наплавочную головку подвешенного типа и, следовательно, не имеет сварочного самохода. Сварочное движение осуществляется механизмами наплавочного станка (например, вращение валика в вальцонаплавочных станках).



Фиг. 46. Подвесная головка АТГ-3.

Головка рассчитана на подачу электродных проволок с постоянной скоростью, которая заранее устанавливается сменными шестернями приводного механизма головки.

Аппарат снабжен механизмом для горизонтальной поперечной корректировки (смещения с зенита) в пределах 200 мм и механизмом вертикального перемещения в пределах 300 мм, причем механизм подъема допускает установку на подъемной штанге бункера с флюсом емкостью до 200 кг. Головка аппарата может поворачиваться на 90° в обе стороны. Расстояние между электродами изменяется с помощью сменных мундштуков.

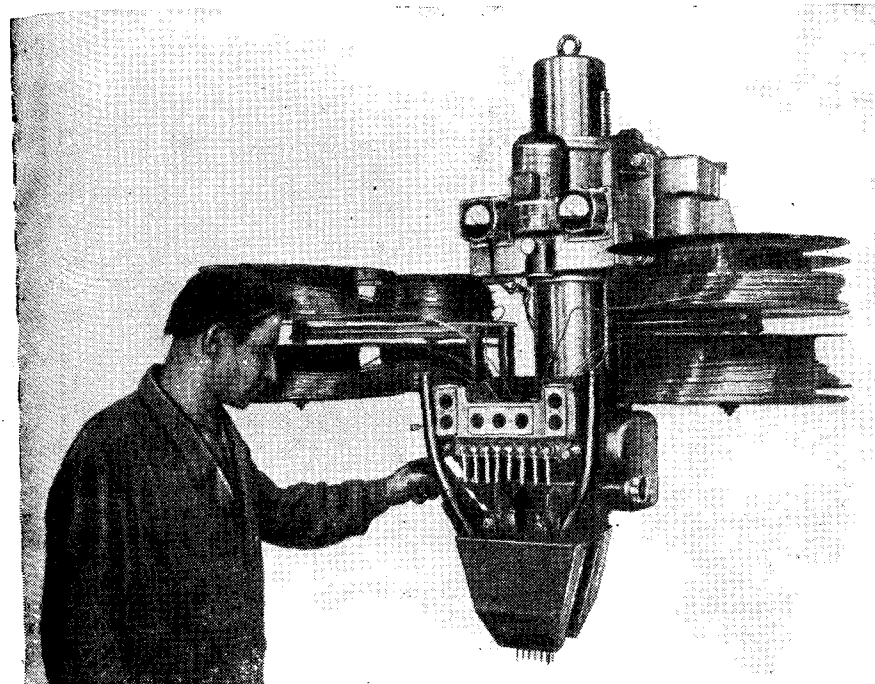
При многоэлектродной сварке наряду со сварочными головками широко применяются и сварочные тракторы. Однако, принимая во внимание, что сварочный трактор должен быть легким, число электродов, как правило, ограничивается двумя.

Двухдуговой сварочный трактор ДТС-24 конструкции Института электро-сварки им. Е. О. Патона АН УССР предназначен для двухдуговой двухслойной сварки двумя раздвинутыми электродами, для сварки на больших скоростях двумя электродами в общем плавильное пространство, для трехфазной сварки, а также для наплавочных работ.

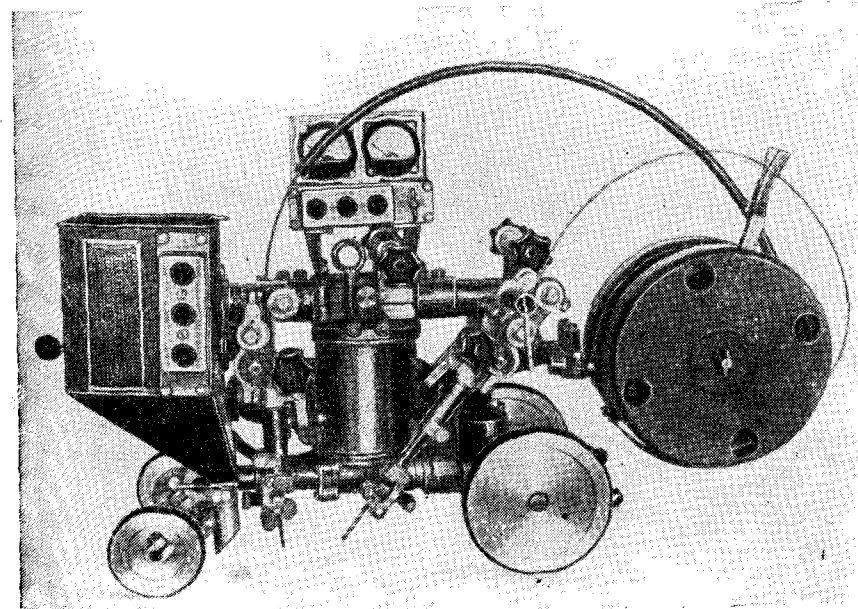
Трактор ДТС-24 (фиг. 48) является переносным сварочным аппаратом универсального типа. Его вес без проволоки и флюса составляет 60 кг. Аппарат со снятым ходовым механизмом может быть использован как подвесная сварочная головка.

При сварке трактором электроды располагаются один за другим по направлению сварки. При использовании трактора в качестве подвесной головки электроды могут располагаться также и поперек шва.

Так же, как и во всех тракторах типа ТС, подача проволок и сварочное движение осуществляются посредством одного электродвигателя. Трактор состоит из головки с двумя механизмами подачи проволоки, ходового механизма, двух кассет для проволоки и флюсового бункера. Электроды могут взаимно располагаться следующим образом: оба электрода вертикальны — передний электрод вертикален, задний наклонен углом вперед и оба электрода наклонены навстречу друг другу.



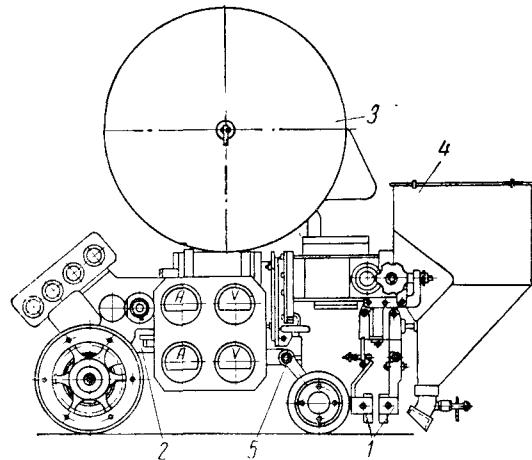
Фиг. 47. Многоэлектродный наплавочный аппарат А-513.



Фиг. 48. Двухдуговой сварочный трактор ДТС-24.

Для питания трактора ДТС-24 создан специальный двухдуговой сварочный трансформатор типа СТ-2Д.

Сварочный трактор типа ТЗФ-УЗТМ создан в результате многолетней совместной работы Уралмашзавода им. С. Орджоникидзе и кафедры сварки Уральского политехнического института.

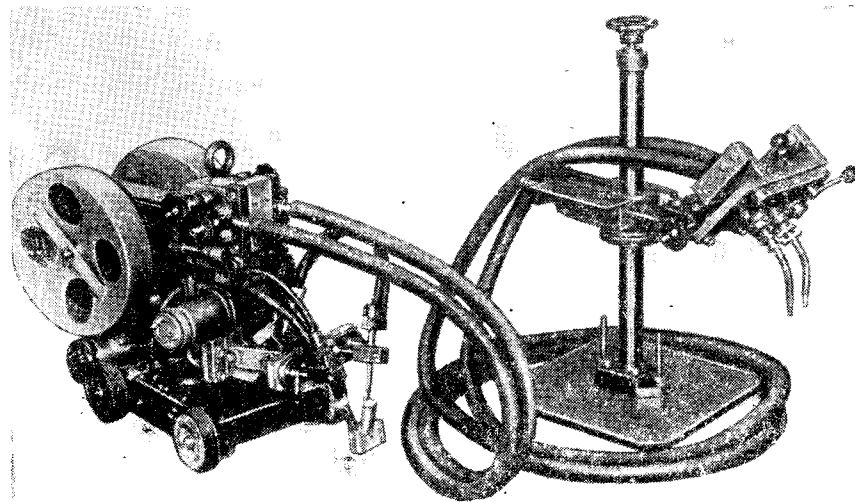


Фиг. 49. Трехфазный сварочный трактор ТЗФ-УЗТМ.

флюсом может передвигаться по рельсам или по самому изделию

Сварка и наплавка могут производиться двумя раздвинутыми дугами или электродами, подаваемыми в общее плаvilное пространство.

По своей компоновке трактор АДСД-500 (фиг. 50) аналогичен трактору АДС-500. Он состоит из тележки, на которой укреплены: механизм для подачи двух



Фиг. 50. Трактор АДСД-500.

Трактор (фиг. 49) предназначен для сварки стыковых и угловых швов в нижнем положении, а также стыковых швов «в лодочку». При толщине металла до 50 мм сварка может производиться в один проход.

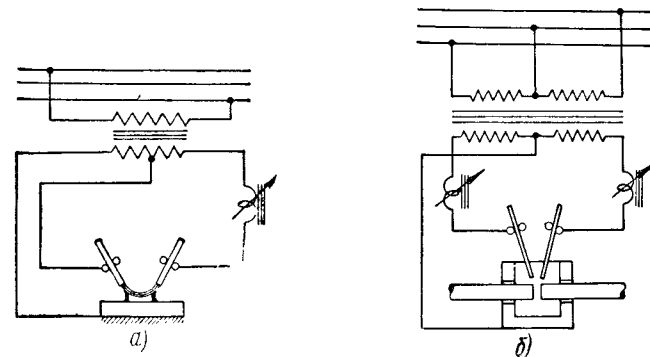
Наибольший эффект достигается при сварке металла больших толщин.

Трактор ТЗФ-УЗТМ состоит из следующих основных узлов: сварочной головки 1, самоходной тележки 2, кассет 3, бункера 4 для флюса и механизма 5 для регулирования вылета электродов.

Трактор типа АДСД-500 конструкции ВНИИЭСО для двухэлектродной сварки стыковых швов и наплавки под

проволок с изолированными друг от друга мунштуками, бункер для флюса, переключатель направления движения трактора, две кассеты для проволоки и съемный пульт управления.

Трактор может быть также снабжен специальной приставкой, позволяющей осуществлять электрошлаковую сварку. В этом случае используется только подающий механизм, который подает в зону сварки электродную проволоку через два гибких шланга. По такому же принципу к подающему механизму трактора может быть пристроен стандартный шланговый провод с ручным держателем для шланговой полуавтоматической сварки.



Фиг. 51. Схема питания дуг трактора АДСД-500: а — для наплавочных работ; б — при ванне-шлаковой сварке.

Электрическая схема трактора предусматривает два варианта включения сварочной цепи: а) для наплавочных работ и б) для электрошлаковой сварки. При наплавочных работах целесообразным является питание обеих дуг сварочного трактора по схеме, приведенной на фиг. 51, а с применением сварочного трансформатора со средней точкой подключения во вторичной обмотке (тип СТЭ-34-4 с реактором РТС-500). При этом в зоне дуги между концом основного электрода (присоединенного к одному из концов вторичной обмотки трансформатора) и изделием выделяется большое количество тепла по сравнению с количеством тепла, выделяющегося под дополнительным электродом (присоединенным к средней точке сварочного трансформатора).

При электрошлаковой сварке питание сварочной цепи осуществляется от двух трансформаторов типа СТЭ-34-4 и двух реакторов типа РТС-500, включенных по схеме открытого треугольника (фиг. 51, б).

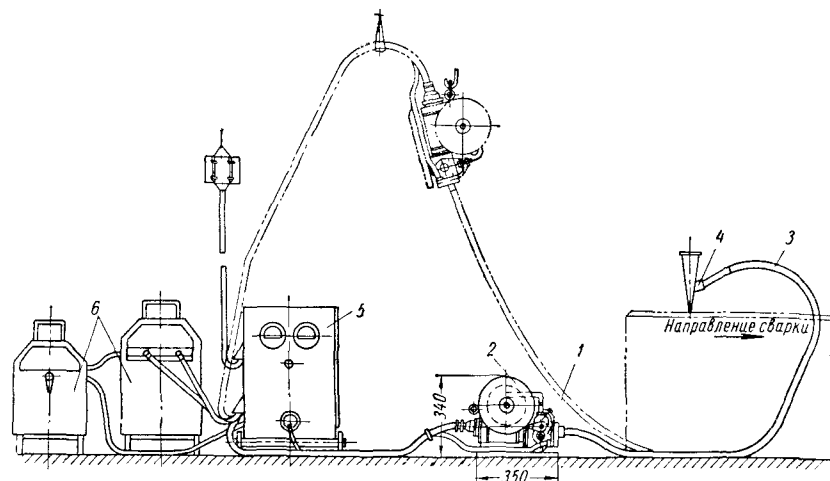
В настоящее время нет специальных тракторов для сварки расщепленным электродом. Для этой цели могут быть приспособлены все многоэлектродные тракторы. Кроме того, универсальные тракторы ТС-17-М и УТ-1250-3 могут быть снабжены для этой цели специальными приставками.

ШЛАНГОВЫЕ ПОЛУАВТОМАТЫ И АВТОМАТЫ

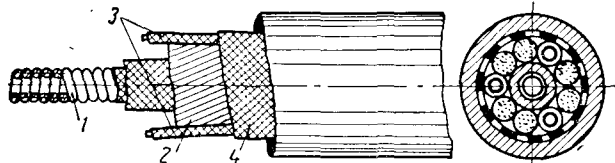
Шланговый полуавтомат ПШ-5 (фиг. 52) конструкции Института электро-сварки им. Е. О. Патона состоит из следующих основных частей: переносного подающего механизма 1 с катушкой для электродной проволоки 2, шлангового провода 3, держателя 4, шкафа управления 5 и источника питания 6 (сварочного трансформатора или преобразователя).

Шланговый полуавтомат ПШ-5 предназначен для сварки проволокой диаметром 0,8—2 мм на токах до 600 а.

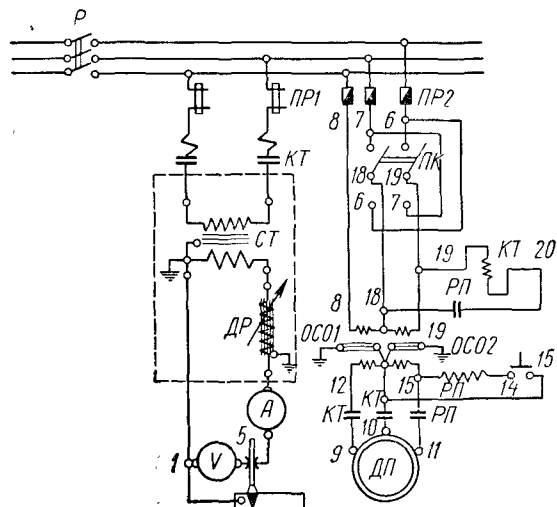
Подача электродной проволоки в шланговый провод производится переносным подающим механизмом, снабженным асинхронным двигателем мощностью 0,1 кВт. Настройка подающего механизма на заданную скорость подачи электродной проволоки осуществляется сменными шестернями.



Фиг. 52. Универсальный шланговый полуавтомат ПШ-5.



Фиг. 53. Конструкция шлангового провода.



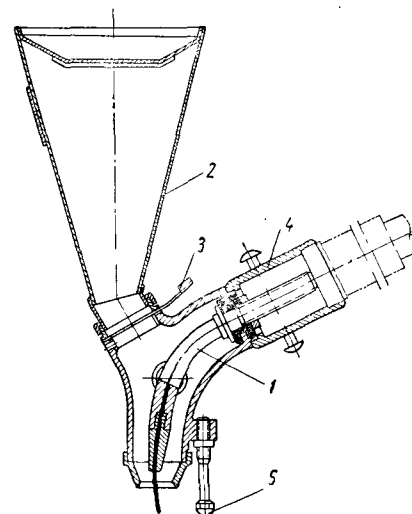
Фиг. 54. Электрическая схема полуавтомата ПШ-5.

Конструкция шлангового провода показана на фиг. 53. Шланговый провод служит не только гибким направляющим каналом для электродной проволоки, но также и для подвода сварочного тока к мундштуку держателя и проводов цепей управления, к пусковой кнопке. Внутри провода находится спираль 1, изолированная от токоподводящей части 2 бензостойкой изоляцией. Вместе с токоведущей частью проложены изолированные проводники 3 цепей управления. Провод заключен в хлопчатобумажную оплетку 4 и покрыт резиновой изоляцией. Вследствие гибкости шлангового провода и большой его длины (3,5 м) сварщик может легко оперировать держателем на значительной площади.

Электрическая схема полуавтомата ПШ-5 представлена на фиг. 54. Схема обеспечивает дистанционное включение и выключение сварочного тока и двигателя механизма подачи. Для безопасности обслуживания полуавтомата двигатель подающего механизма и провода управления находятся под напряжением 36 в.

Шланговый полуавтомат ПШ-5 комплектуется сменными держателями, тип которых выбирается в зависимости от характера свариваемых швов и изделий.

Держатель ДШ-5. В большинстве случаев полуавтомат ПШ-5 снабжается простейшим и наиболее универсальным держателем типа ДШ-5 (фиг. 55), который состоит из изолированного от других его частей криволинейного трубчатого мундштука 1, воронки для флюса 2 с шиббером 3 и ручки 4, внутри которой смонтированы пусковая кнопка и соединение шланга с держателем. Для сварки стыковых и угловых швов держатель ДШ-5 снабжается простейшим опорным копытлом 5 или медной насадкой на воронку, которые фиксируют расстояние между мундштуком и изделием и позволяют копировать конфигурацию шва.



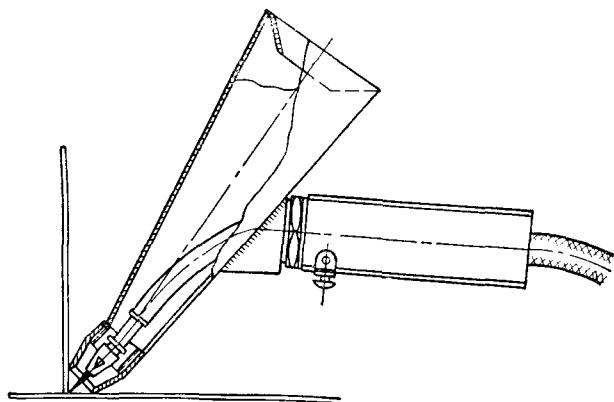
Фиг. 55. Универсальный держатель ДШ-5.



Фиг. 56. Сварка держателем ДШ-14.

Держатель ДШ-14 применяется для сварки малокалиберных угловых швов, расположенных в труднодоступных местах (например, в клетках судового набора) (фиг. 56). Он состоит из длинной трубчатой рукоятки, присоединенной к шланговому проводу. На конце рукоятки установлен изогнутый мундштук, помещенный внутри трубки. Трубка служит для подачи флюса из бункера в зону дуги. Ссыльная трубка оканчивается съемным копытным наконечником, изготовленным из красной меди в виде кольцевой пазанки, устанавливаемой кон-

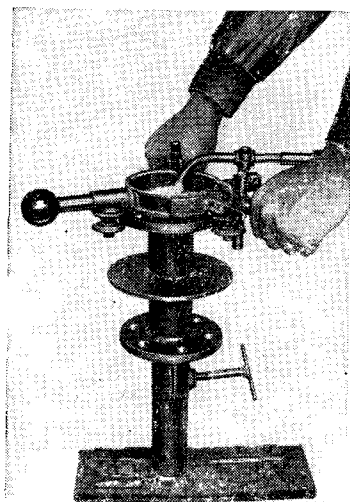
центрично электроду. Во время сварки держатель опирается насадкой на обе кромки углового соединения, что позволяет довольно точно копировать шов. Общая длина держателя около 1,5 м, вес 3 кг. Все наружные части изолированы



Фиг. 57. Держатель ДШ-15.

от электрода. Во время сварки сварщик держит полуавтомат обеими руками и работает стоя.

Держатель ДШ-15 предназначен для сварки малокалиберных угловых и стыковых швов в труднодоступных местах. По конструкции держатель (фиг. 57) аналогичен универсальному держателю ДШ-5, но отличается значительно меньшими размерами и весом. снабжен более гибким шланговым проводом с сечением токоведущих медных проводников 40 мм². В большинстве случаев держатель ДШ-15 снабжается медной насадкой на воронку. Этой насадкой держатель опирается на обе кромки свариваемого углового соединения. Наибольшее распространение держатель ДШ-15 получил в речном и морском судостроении.



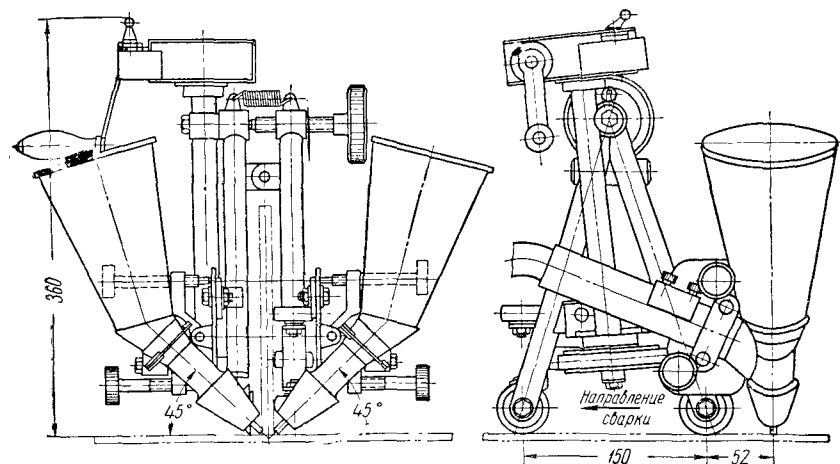
Фиг. 58. Держатели ДШ-16, ДШ-17.

С помощью держателей ДШ-5, ДШ-15 и ДШ-14, снабженных копирными наконечниками, можно вести сварку не только сплошных, но и прерывистых, а также точечных швов с любым шагом. Эти держатели относятся к категории универсальных, предназначенных для сварки разных швов и разных изделий. Кроме них, полуавтомат ДШ-5 может снабжаться узкоспециализированными держателями предназначенными для сварки в массовом производстве одного, вполне определенного типа шва. К таким держателям относятся ДШ-16, ДШ-17, ДШ-22, ДШ-29, ДШ-31 и др.

Держатели ДШ-16 и ДШ-17 предназначены для приварки фланцев к трубам. Держатель ДШ-16 (фиг. 58) применяется при сварке труб диаметром 32—76 мм, а ДШ-17 — диаметром 76—160 мм. Держатели позволяют сваривать внутренние и наружные швы соединения фланца с трубой. Для сварки труба устанавливается неподвижно в вертикальном положении, а держатель размещается на фланце и вращается вокруг трубы вручную.

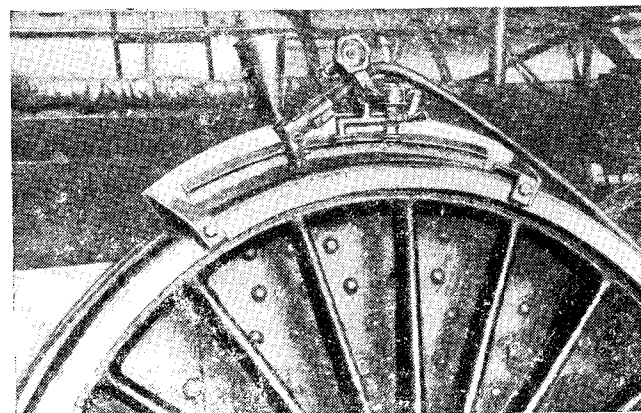
Держатель состоит из разъемного кольцевого корпуса и мундштука, соединенного с гибким шланговым проводом. Корпус держателя имеет три опорных ролика, охватывающих наружную кромку фланца и удерживающих держатель. Корпус снабжен тремя рукоятками для вращения держателя во время сварки. Держатель снабжен корректорами для настройки мундштука и выключателем для пуска и остановки полуавтомата.

Держатель ДШ-22 применяется для приварки ребер жесткости одновременно двумя угловыми швами (фиг. 59). Предельные размеры ребер: высота



Фиг. 59. Держатель ДШ-22.

195—420 мм, толщина 40 мм. Держатель представляет собой тележку, состоящую из двух треугольных трубчатых рамок, шарнирно связанных вверху



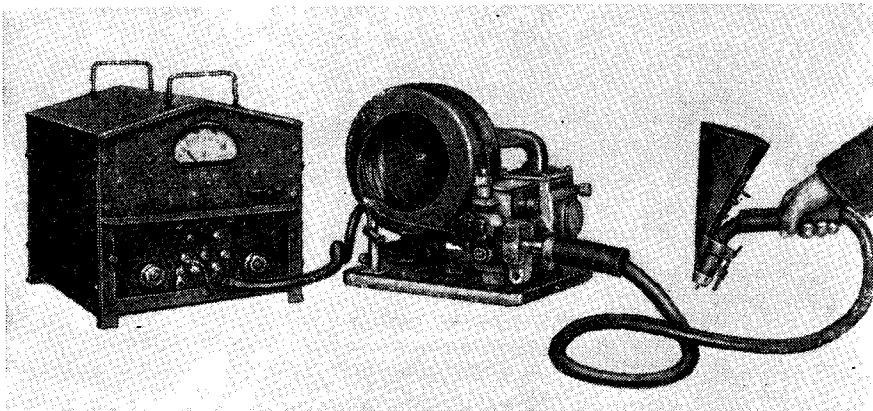
Фиг. 60. Держатель ДШ-29.

части. Одна из рамок заканчивается двумя роликами, катящимися по горизонтальной стенке углового соединения. Вторая рамка тележки имеет три

ролика, катящихся по боковой поверхности ребра. Передвижение ДШ-22 вдоль свариваемого шва осуществляется ручным приводом через червячную передачу на ведущий бегунок.

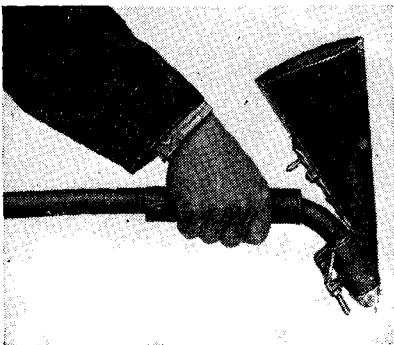
К тележке ДШ-22 на специальных кронштейнах крепятся два держателя ДШ-5. Шланговые провода присоединены к обычным подающим механизмам ПШ-5.

Держатель ДШ-29 применяется для наплавки местного проката бандажей паровозных колес без выкатки колесных пар (фиг. 60). Он состоит из тележки, перекачивающейся по специальному пути, закрепленному на бандаже. Передвижение осуществляется ручным приводом. Бегунки тележки передвигаются по направляющей линейке, сменной для различных диаметров колес. К тележке крепится держатель ДШ-5. Для перемещения электрода поперек бандажа предназначен корректор. Применение держателя ДШ-29 позволяет повысить производительность наплавки по сравнению с ручным способом в 3—4 раза.



Фиг. 61. Шланговый полуавтомат ПШ-54.

Держатель ДШ-31 предназначен для полуавтоматической сварки открытой дугой неответственных конструкций, где обычно применялась ручная дуговая сварка тонкообразованными или меловыми электродами. Этот держатель отличается от ДШ-5 отсутствием воронки и удлиненным мундштуком.



Фиг. 62. Держатель ДШ-54.

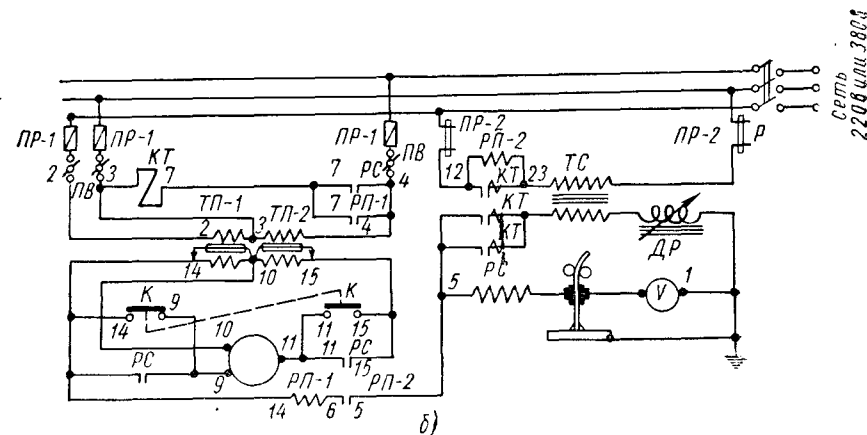
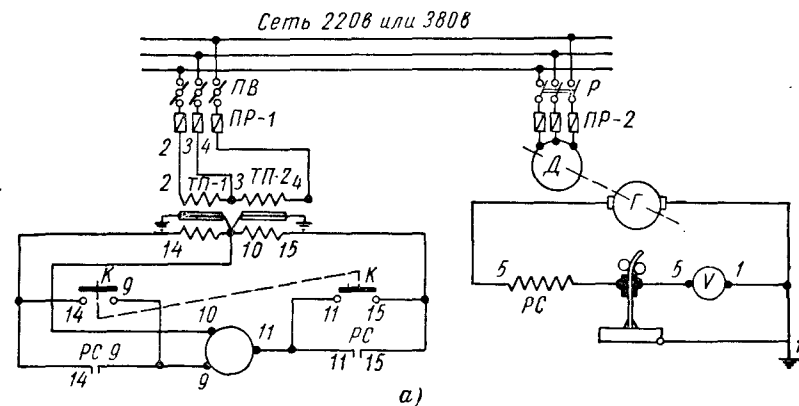
Шланговый полуавтомат ПШ-54 (фиг. 61) конструкции Института электросварки им. Е. О. Патона АН УССР отличается от прежней модели ПШ-5 следующими преимуществами:

1. Значительно упрощена конструкция держателя (фиг. 62). Он не имеет кнопки «Пуск», прост по устройству и легче держателя ДШ-5 на 350 г. Крепление сварочного провода к держателю и подающему механизму осуществляется коническими зажимами (взамен пайки), что упрощает ремонт держателя.

2. Изменение скорости подачи электродной проволоки осуществляется

помощью коробки скоростей, вмонтированной в подающий механизм, что в значительной мере облегчает наладку полуавтомата на заданный режим сварки. Подающий механизм ПШ-54 имеет тот же диапазон скоростей подачи, что и в полуавтомате ПШ-5.

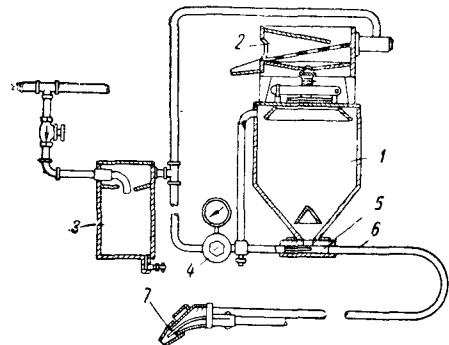
3. Упрощена электрическая схема полуавтомата (фиг. 63), обеспечивающая его работу без кнопки «Пуск». Начало сварки и подачи проволоки осуще-



Фиг. 63. Электрическая схема полуавтомата ПШ-54: а — для сварки на постоянном токе б — для сварки на переменном токе.

ствляется закорачиванием электрода на изделие. В конце сварки при обрыве дуги подача электродной проволоки автоматически прекращается. Полуавтомат ПШ-54 может быть использован для сварки на постоянном и переменном токе электродной проволокой диаметром 1,6—2 мм на тех же режимах, что и полуавтомат ПШ-5. Для сварки на постоянном токе полуавтомат ПШ-54 комплектуется только малогабаритным облегченным аппаратным ящиком. Для сварки на переменном токе к этому аппаратному ящику подключается силовой контактор, обеспечивающий отключение холостого хода сварочного трансформатора.

Шланговый полуавтомат ПДШ-500 завода «Электрик» состоит из шкафа с электроаппаратурой, механизма подачи с катушкой для электродной проволоки, флюсоаппарата с вибрационным ситом для пневматической подачи и просева флюса и гибкого шлангового провода с держателем на конце.

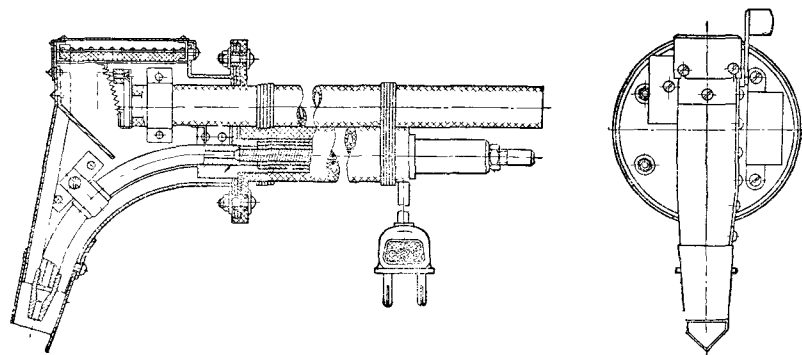


Фиг. 64. Флюсовый аппарат к шланговому полуавтомату ПДШМ-500.

Характерной особенностью шланговых аппаратов ПДШ-500 является принудительная пневматическая подача флюса, производимая по специальному каналу в шланговом проводе. Она освобождает сварщика от необходимости заполнять воронку флюсом и повышает эксплуатационные данные аппаратов. Флюсовый аппарат (фиг. 64) представляет собой бункер 1, на котором укреплено вибрационное пневматическое сито 2 для просева флюса, воздушный фильтр 3 для очистки поступающего воздуха от влаги и масла и воздушный редуктор 4. Засыпанный в бункер 1 флюс поступает в камеру инжектора 5,

откуда струей воздуха с большой скоростью переносится по специальной резиновой трубке 6 в сварочный ручной держатель 7.

Держатель ПДШ-500 (фиг. 65) представляет собой флюсоприемник прямоугольного сечения, внутри которого проходит изогнутый мундштук, закрепленный на конце шланга. Струя воздуха с флюсом попадает по шлангу в флюсоприемник. Флюс сыпается по воронке на шов, а воздух выходит через крышку



Фиг. 65. Держатель ПДШ-500.

флюсоприемника наружу. Для очистки выходящего воздуха от пыли крышка флюсоприемника выполнена из мелкой фильтрующей сетки. Прекращение подачи флюса производится заслонкой, закрывающей выходное отверстие флюсовой трубки.

Полуавтомат ПДШ-500 снабжен схемой автоматического регулирования напряжения дуги, подобно описанной выше схеме сварочного трактора АДС-1000-2.

Полуавтомат ПДШ-500 в настоящее время заменен более совершенным полуавтоматом типа ПДШМ-500, отличающимся тем, что проволока подается с постоянной скоростью, которая может настраиваться изменением числа оборотов двигателя. Технические данные шланговых полуавтоматов приведены в табл. 7 и 8.

7. Основные технические данные шланговых полуавтоматов с универсальными держателями

Технические данные	Тип шлангового полуавтомата			
	ПШ-5	ПШ-54	ПДШ-500	ПДШМ-500
	Института электросварки им. Патона		Завод «Электрик»	
Диаметр электрода в <i>мм</i>	1,6-2		1,2-2,5	
Скорость подачи электродной проволоки в <i>м/мин</i>	1,3-40		1,5-7,5	1,8-7
Сварочный ток в <i>а</i>	150-650		150-600	
Род сварочного тока	Постоянный или переменный			
Система подачи электрода	Постоянная скорость подачи		Автоматически регулируемая скорость подачи	Постоянная скорость подачи
Способ регулирования скорости подачи	Ступенчатый, сменными шестернями	Ступенчатый при помощи коробки скоростей	Электрическим регулированием скорости вращения двигателя постоянного тока	
Габариты держателя в <i>мм</i> (длина × ширина × высота)	310 × 116 × 275	230 × 116 × 270	150 × 110 × 200	190 × 66 × 20
Вес держателя в <i>кг</i>	0,97	0,7	1	0,64
Способ подачи флюса	При помощи воронки, в которую флюс засыпается вручную		Пневматическая подача флюса	

Шланговые автоматы

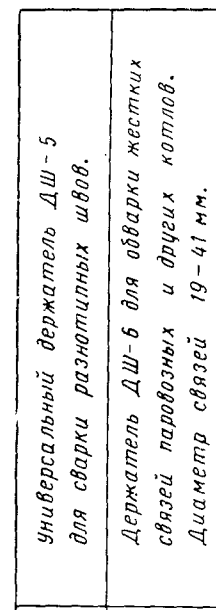
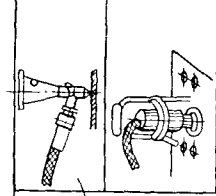
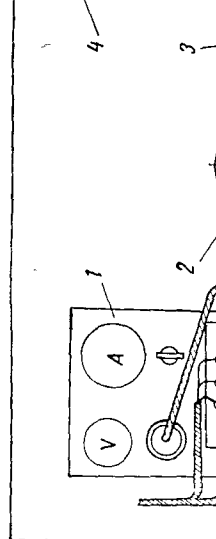
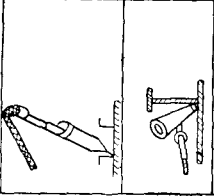
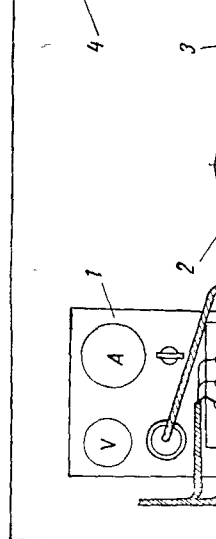
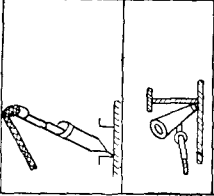
Шланговые автоматы состоят из механизма, подающего электродную проволоку через шланг, и сварочной головки. Технические данные шланговых автоматов приведены в табл. 9 (см. стр. 271).

Шланговые автоматы АДШМ-500 и АДШ-500. Заводом «Электрик» выпускаются самоходные головки для шланговой автоматической сварки, приводимые в движение малогабаритными электродвигателями. Существуют два типа самоходных головок для сварки угловых швов.

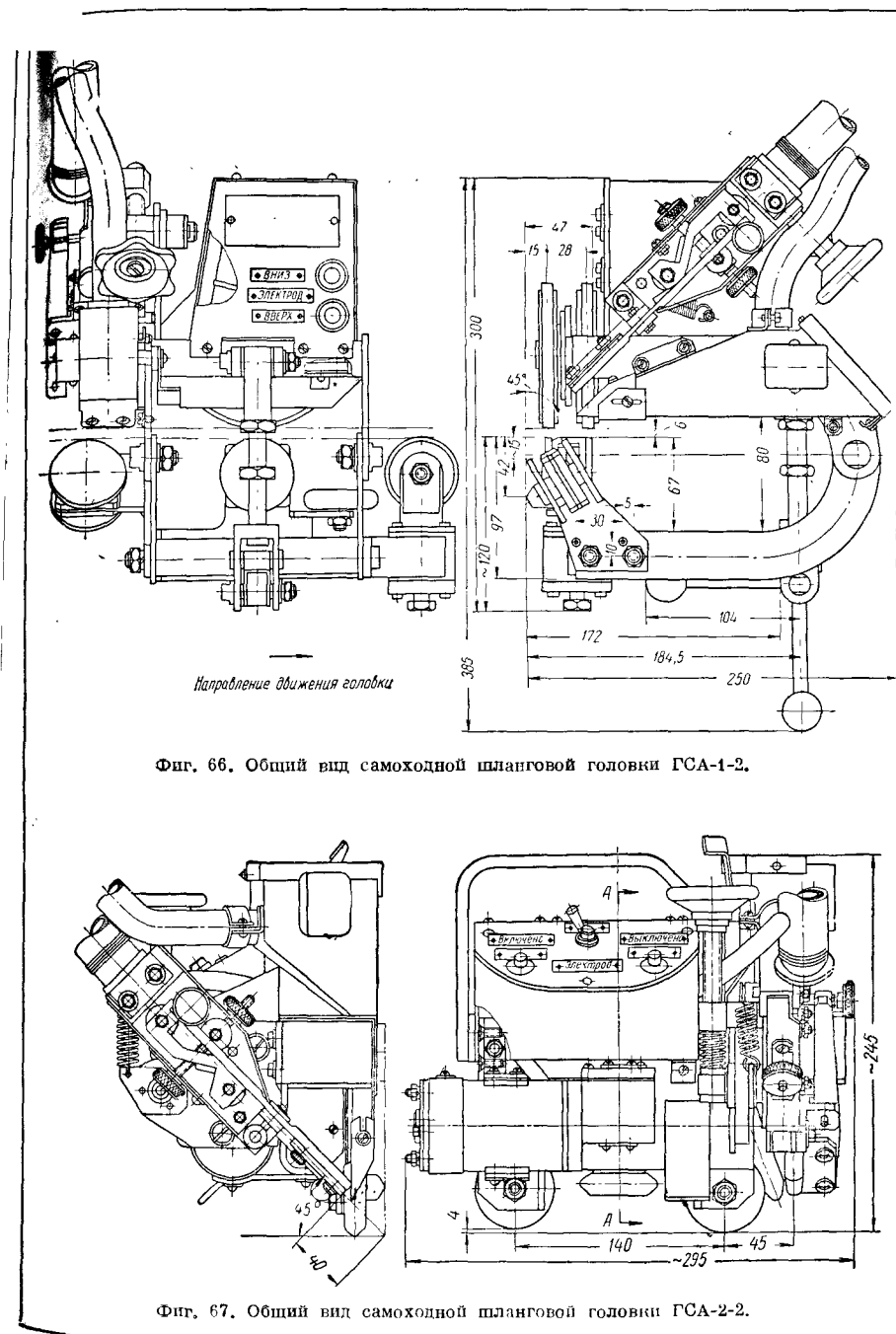
Самоходная головка типа ГСА-1 2 (фиг. 66) снабжена механическим (эксцентриковым) приспособлением и служит для приварки вертикально расположенных полос или профильного проката к горизонтальной плоскости при высоте вертикальной стенки 50—165 мм.

Вертикальная стенка может быть прямой и криволинейной с радиусом кривизны (в плане) не менее 1 м.

Самоходная шланговая головка ГСА-2-2 (фиг. 67) предназначена для сварки угловых соединений при высоте вертикальной стенки не менее 150 мм. Вертикальная стенка должна отстоять от края горизонтального листа (со стороны

	универсальный держатель ДШ-5 для сварки разнотипных швов.		Держатель ДШ-6 для обварки жестких связей паровозных и других котлов. Диаметр связей 19-41 мм.
	Держатели ДШ-14 и ДШ-15 для сварки угловых сплошных и прерывистых швов малого калибра, а также точечных угловых соединений в труднодоступных местах.		Держатели ДШ-16 и ДШ-17 для приварки фланцев к трубам.
	Держатель ДШ-22 для приварки ребер.		Держатель ДШ-22 для приварки ребер.

1. Аппаратный ящик
2. Подающий механизм
3. Шланговый провод
4. Держатель ДШ



Фиг. 66. Общий вид самоходной шланговой головки ГСА-1-2.

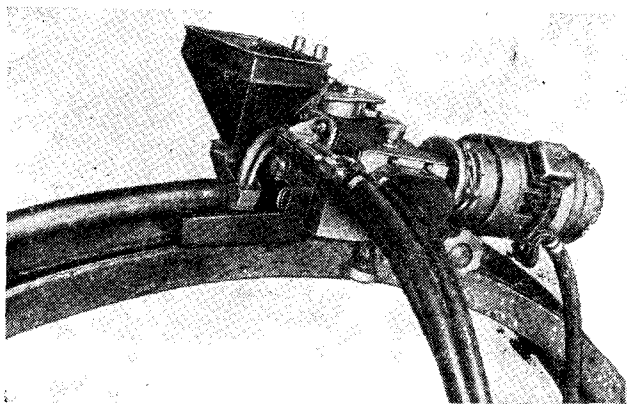
Фиг. 67. Общий вид самоходной шланговой головки ГСА-2-2.

шва) не ближе чем на 30 мм. Небольшая тележка головки снабжена малогабаритным электродвигателем, допускающим регулирование скорости сварки в пределах 10—70 м/час. Колеса тележки, опирающиеся на вертикальную стенку изделия, и опорные ролики, перемещающиеся по горизонтальной стенке, фиксируют положение тележки относительно угла, образованного свариваемыми деталями.

Для того чтобы придать тележке устойчивое положение и обеспечить надежное сцепление ведущих колес с поверхностью изделия, внутри корпуса тележки установлен электромагнит, полюсами которого являются колеса, опирающиеся на вертикальную стенку изделия. Магнитный поток, замыкающийся через колеса и изделие, создает необходимую силу сцепления. Мундштук с правильным устройством крепится к тележке под углом 45° к горизонту.

Наряду с универсальными шланговыми автоматами существует ряд специализированных аппаратов.

Шланговый автомат А-511 (фиг. 68) предназначен для широкослойной автоматической наплавки местного проката паровозного колеса при диаметре колес 1320—1850 мм. Наплавка производится постоянным током.



Фиг. 68. Специализированный автомат А-511 для широко-слойной наплавки.

Аппарат А-511 представляет собой портативный переносный инструмент, который устанавливается непосредственно на бандаж без демонтажа колесной пары. Это позволяет применять его в паровозном депо при текущем ремонте паровозов, не требующем разборки ходовой части.

Аппарат А-511 состоит из ходовой тележки, устанавливаемой непосредственно на бандаж колеса; механизма подачи электродных проволок; подвешенного пульта управления; гибкого шлангового провода и шкафа управления.

Основным элементом аппарата является ходовая тележка, на которой смонтированы токоподводящие мундштуки для наплавки двумя проволоками — расщепленным электродом. Наплавка производится в один проход широким слоем. Для этого мундштукам сообщается колебательное движение поперек направления наплавки.

По мере наплавки колесо периодически поворачивается, а аппарат передвигается непосредственно по бандажу.

Подача двух электродных проволок осуществляется с постоянной скоростью при помощи подающего механизма ПШ-54, имеющего для этого специальное приспособление.

Аппарат снабжен переносным пультом управления, который крепится в удобном для сварщика месте.

2. Основные технические данные шланговых автоматов

Технические данные	АДЦ-500		АДЦМ-500		А-540		А-511	
	Завода «Электрик»		Института электросварки им. Е. О. Патона		Для приварки штуцеров к барабанам котлов		Для наплавки «местного проката» паровозных колес	
Назначение	Для автоматической сварки угловых швов наклонным электродом		Головки ГСА-2-4 для сварки угловых соединений с вертикальной стенкой 150 мм и более и полкой — не менее 30 мм		Набор головок для сварки штуцеров диаметром 30—100 мм		Головка для наплавки при диаметре колес 1320—1850 мм	
Типы головок	1. Головки ГСА-2-2 для сварки угловых соединений с вертикальной стенкой 150 мм и более и полкой — не менее 30 мм. 2. Головки ГСА-1-2 для сварки угловых швов при приварке ребер высотой 50—165 мм		1,2—2,5		3		1,6	
Диаметр электрода в мм	4,5—7,5		1,8—7,0		1,3		1,6—3,3	
Скорость подачи электродной проволоки в мм/мин	10—70		10—70		79		20—40 мм/мин	
Скорость сварки в м/час	150—600		350		300			
Сварочный ток в а								
Ток сварочного тока								
Система подачи электрода	Автоматически регулируемая скорость подачи		Постоянный или переменный		Постоянный			
Способ регулирования скорости подачи	Изменением скорости вращения двигателя постоянного тока		Сменными шестернями или коробкой скоростей		Сменными шестернями или коробкой скоростей			
Способ регулирования скорости сварки	Изменением скорости вращения двигателя постоянного тока		—		—		Сменными шестернями	

Шланговый аппарат типа А-540 (фиг. 69) предназначен для приварки штуцеров диаметром 30—100 мм к барабанам котлов и других изделий. Он состоит из механизма для подачи проволоки от полуавтоматов ПШ-5 или ПШ-54, гибкого шлангового провода, шкафа управления и набора сменных сварочных головок для приварки штуцеров различных диаметров. Основным рабочим органом аппарата является переносная сварочная головка, которая во время сварки надевается непосредственно на штуцер. Характерная особенность сварочной головки заключается в том, что круговое вращение электрода по шву осуществляется посредством движущейся электродной проволоки. Для этой цели головка снабжена специальным фрикционным устройством, преобразующим поступательное движение проволоки во вращательное движение мундштука вокруг штуцера.

Предельная портативность и малый вес сварочной головки обеспечивают высокую эффективность аппарата.

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ СВАРОЧНЫЕ АППАРАТЫ

Аппарат для круговой сварки конструкции Института электросварки им. Е. О. Патона АН УССР предназначен для сварки кольцевых швов, расположенных в горизонтальной плоскости, например для приварки колец или дисков к листам. Аппарат (фиг. 70) представляет собой самоходную головку,двигающуюся по окружности. Он состоит из трех основных узлов: собственно самоходной головки 2, державки для бухты электродной проволоки 5 и цилиндрического барабана 1, верхняя часть которого служит рельсовым путем для головки.

Барабан устанавливается на изделие таким образом, чтобы ось его совпала с центром свариваемой окружности. Во время сварки головка движется по круговой кромке барабана.

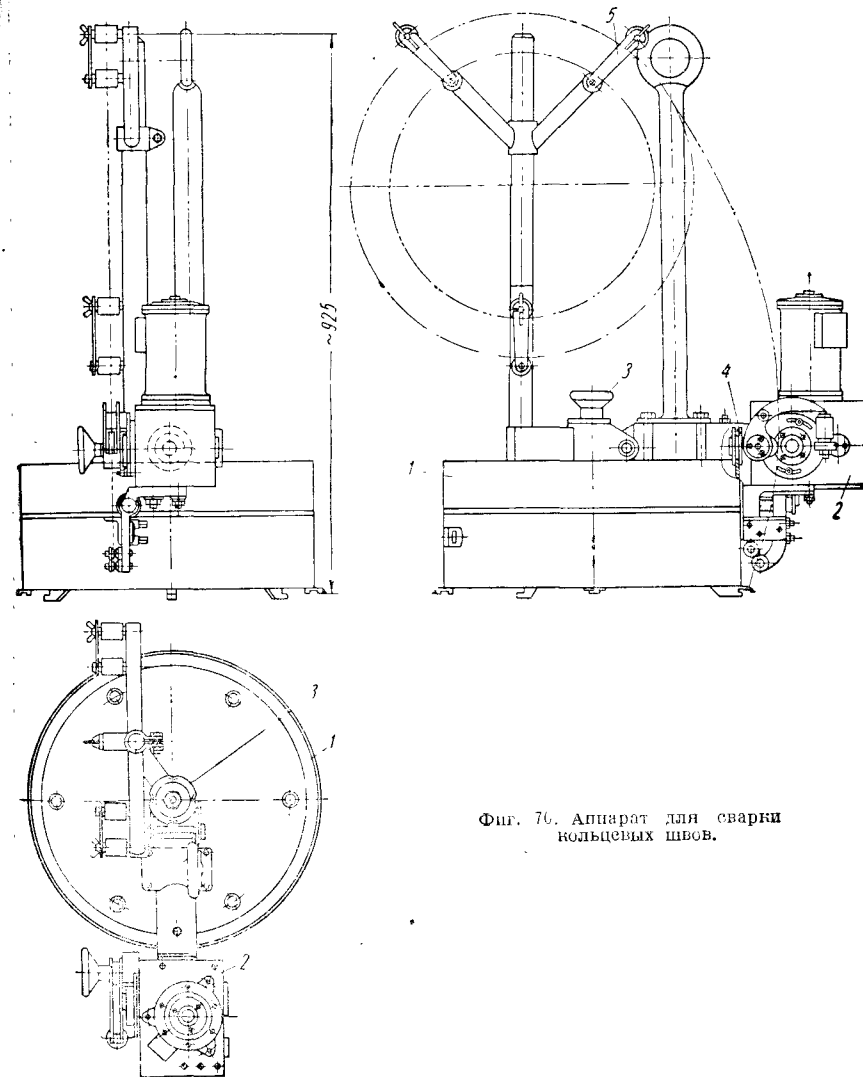
Конструкция самоходной головки весьма проста и отличается от обычных подвесных головок тем, что, кроме подающих роликов, она имеет еще один ходовой ролик 4, опирающийся при сварке на верхнюю кромку барабана. Изменение скорости сварки производится за счет установки ходового ролика соответствующего диаметра. Аппарат специализирован для сварки кольцевого шва какого-нибудь одного диаметра. Регулировка положения сварочной головки в пределах ± 20 мм производится с помощью маховичка 3.

Двухдуговой аппарат типа А-482 Института электросварки им. Е. О. Патона для наплавки бандажей вагонных, паровозных и других колес. Для увеличения производительности и обеспечения необходимого качества наплавленного металла наплавка валиков ведется в несколько слоев двумя последовательно расположенными электродами диаметром 2 мм. Круговым рельсом для передвижения аппарата (фиг. 71) служит полускат, а центровая заточка на оси полуската 1 — опорой для центра поводка 2. Бегунки опираются на обод колеса, причем один из них 3 снабжен резиновой шиной и является ведущим.

Электроприводом 6. Наплавка бандажки производится непрерывно, слой за слоем, поэтому в конструкции аппарата предусмотрены механизмы для вертикальной и поперечной корректировки мундштуков с электродами и ряд других настроечных устройств. Настройка скорости сварки в пределах 8—30 м/час и скорости подачи каждой электродной проволоки в пределах 80—360 м/час осуществляется сменными шестернями.

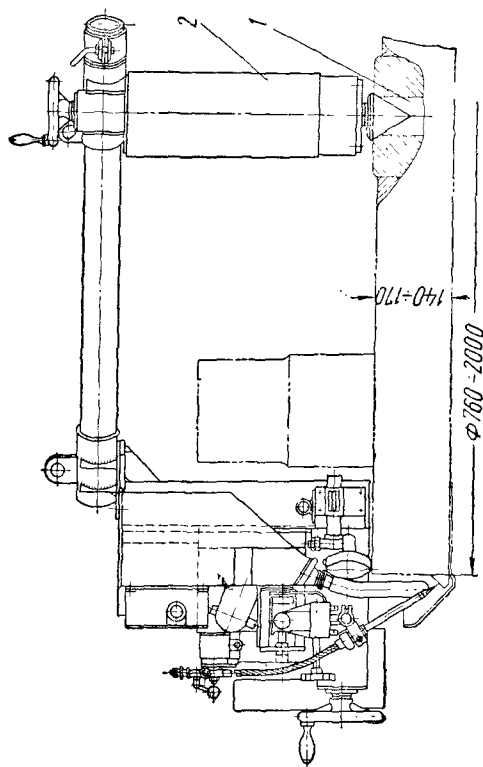
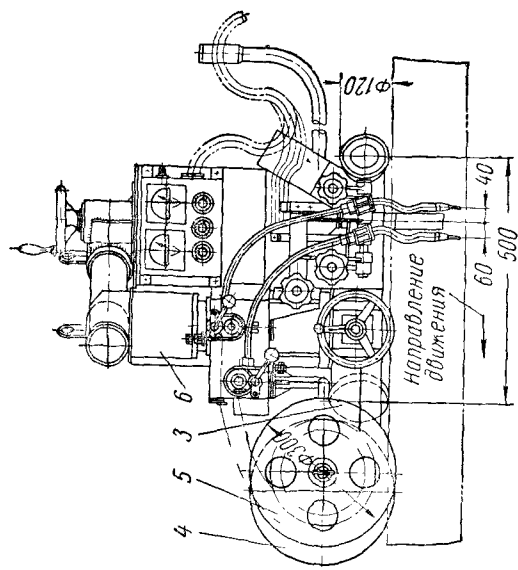
Во время сварки этот бегунок, катаясь по боковой поверхности бандажки, вращает весь автомат вокруг оси полуската.

Подача двух электродных проволок из двух отдельных катушек 4 и 5 в рабочее движение автомата по окружности бандажки осуществляются общим



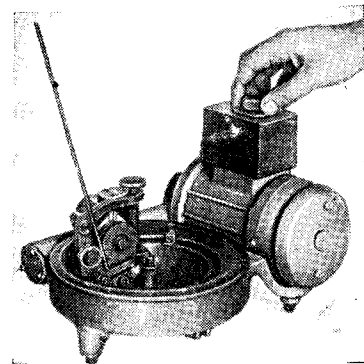
Фиг. 70. Аппарат для сварки
кольцевых швов.

электроприводом 6. Наплавка бандажки производится непрерывно, слой за слоем, поэтому в конструкции аппарата предусмотрены механизмы для вертикальной и поперечной корректировки мундштуков с электродами и ряд других настроечных устройств. Настройка скорости сварки в пределах 8—30 м/час и скорости подачи каждой электродной проволоки в пределах 80—360 м/час осуществляется сменными шестернями.



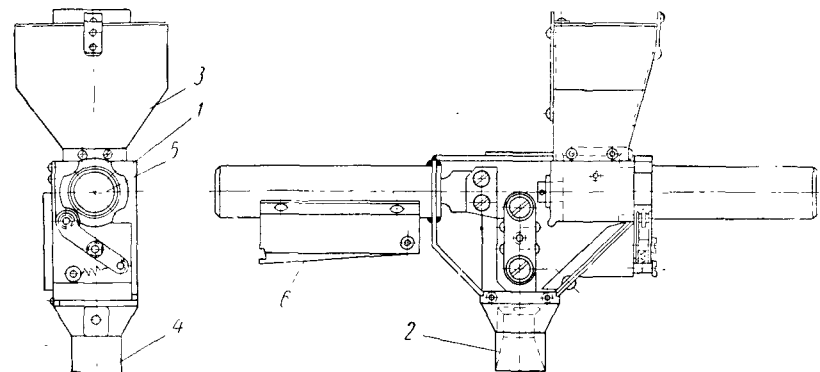
Фиг. 71. Автомат для наплавки бандажей вагонов, паровозных и других колес.

Переносный аппарат для обварки котельных связей конструкции ДНИИТМАШа. Аппарат (фиг. 72), предназначенный для обварки котельных связей диаметром 19—30 мм, имеет небольшой вес (12 кг) и устанавливается вручную на центр обвариваемой связи. Аппарат подает электродные стержни диаметром 4—5 мм, длиной до 500 мм в зону горения дуги и перемещает их вокруг связи. Сварка производится токами до 600 а. Основанием аппарата является корпус. Электрод подается приводным роликом, к которому он прижимается холодным роликом при помощи пружины. Холодный ролик расположен так, что он прижимает электрод не только к подающему ролику, но и к токоподводящему мундштуку. Вращение электрода вокруг связи осуществляется червячной парой. Червяк, соединенный с двигателем, вращает червячную шестерню, расположенную в корпусе. Подающий механизм и мундштук, закрепленные на шестерне, при ее вращении поворачиваются вокруг связи. Настройка скоростей сварки и подачи электрода производится сменными шестернями.



Фиг. 72. Аппарат для обварки котельных связей.

Аппарат для сварки электрозаклепками («заклепочник») является переносным инструментом, не осуществляющим движения дуги вдоль свариваемого изделия. Как правило, в электрозаклепочниках подача электрода отсутствует. Они отличаются друг от друга по способу возбуждения дуги. Существуют заклепочники с самовозбуждением за счет расплавления конца электрода током короткого замыкания и с возбуждением дуги путем отрыва электрода от изделия. Существуют ручные полуавтоматические заклепочники и автоматические



Фиг. 73. Аппарат ЭРСМ-8 для сварки электрозаклепками.

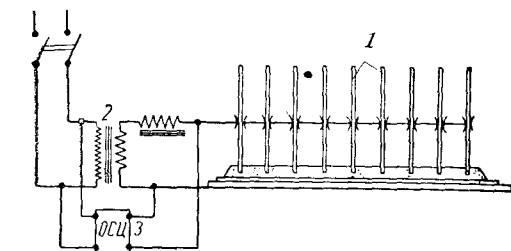
заклепочники с полной механизацией выполнения электрозаклепочного соединения.

Из ручных наибольшее распространение получил заклепочник ЭРСМ-8, разработанный заводом «Ростсельмаш».

Заклепочник «ЭРСМ-8» (фиг. 73) состоит из корпуса 1 с двумя рукоятками, токоподводящего мундштука 2 и бункера для флюса 3. Сварка производится стержневым электродом, проходящим сквозь корпус заклепочника. Для сварки аппарат ставится упорным колпачком 4 на изделие, электрод заворачивается

вручную при помощи специальной рукоятки, надеваемой на его верхний конец. Подача флюса производится дозатором, приводимым в действие поворотом рукоятки 5. Для включения сварочного тока служит кнопка 6. Выключение сварочного тока происходит автоматически после обрыва дуги.

В последнее время наблюдается тенденция к переходу на многоточечную сварку под флюсом электрозаклепками. Для этого разработаны специализированные машины, применяемые некоторыми заводами.



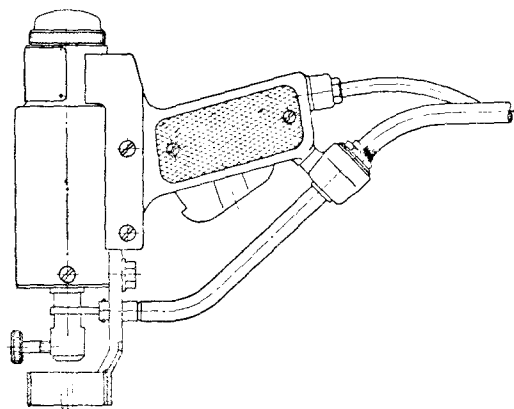
Фиг. 74. Схема построения многоточечных заклепочных машин.

В Институте электро-сварки им. Е. О. Патона АН УССР найден оригинальный принцип построения многоэлектродных машин (фиг. 74). Он отличается отсутствием всяких коммутационных устройств и изоляции между электродами. Последовательное включение электродов достигается автоматически. Группа электродов 1 подключается к общему проводу сварочного трансформатора 2, параллельно которому подключен осциллятор 3. Между электродами и изделием имеется зазор. При включении сварочного трансформатора и осциллятора дуга возбуждается там, где наименьший зазор.

Во время горения одной дуги исключается возможность одновременного возникновения дуги на другом электроде, так как выход осциллятора оказывается зашунтированным горячей дугой и сопротивлением ее шлаковой оболочки. Дуга загорается на каком-либо другом электроде только после естественного обрыва первой дуги. Этим обеспечивается последовательное возбуждение и горение дуг между всеми электродами и изделием. Автоматические многоточечные машины разработаны Институтом электро-сварки им. Е. О. Патона для заводов угольного машино-строения.

Пистолет А-538 для приварки шпилек (конструкция Института электросварки им. Е. О. Патона АН УССР) представляет собой переносный полуавтомат, предназначенный для приварки нарезанных шпилек для круглых пружков диаметром 4—12 мм и длиной 40—80 мм. Сварка под флюсом может осуществляться только в нижнем положении; применяя для защиты дуги специальные электропроводные флюсовые и керамические шайбы можно приваривать стержни, расположенные во всех пространственных положениях. Сварка производится на постоянном токе.

Пистолет для приварки шпилек под флюсом сконструирован в виде портативного ручного инструмента весом около 2,5 кг. Пистолет (фиг. 75) имеет съемный зажим для шпилек разного диаметра. В корпусе пистолета находится электромагнит, обмотка которого включена последовательно в сварочную цепь. Зажим для шпилек жестко соединен с якорем электромагнита.



Фиг. 75. Пистолет для приварки шпилек.

Источник сварочного тока соединяется одним полюсом со шпилькой, а другим — с изделием, к которому приваривается шпилька.

Нажатием кнопки на ручке пистолета включается сварочный ток. Якорь электромагнита втягивается и отдергивает шпильку от изделия. Между концом шпильки и изделием возбуждается дуга, продолжительность горения которой задается при помощи реле времени. После автоматического выключения сварочного тока и электромагнита шпилька специальной пружиной вдавливается в ванночку жидкого металла на изделии. При затвердевании ванночки шпилька приваривается к основному металлу.

Аналогичные пистолеты разработаны ВНИИЭСО (УДСШ-4, УПШ-1) и заводом МСП (ППШ-1). Технические данные этих пистолетов приведены в табл. 10.

10. Основные технические данные пистолетов для приварки шпилек

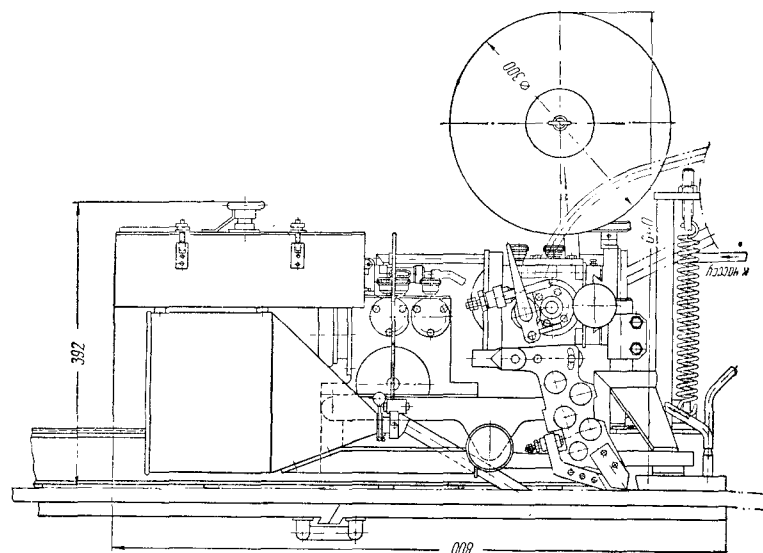
Технические данные	Тип пистолета			
	А-538	УДСШ-4	УПШ-1	ППШ-1
Диаметр привариваемых стержней в мм	4—12	4—20	4—12	2—12
Длина привариваемых стержней в мм	40—80	—	20—120	15—100
Сварочный ток в а	250—1000	400—2500	250—1000	
Время сварки одного стержня (шпильки) в сек.	0,4—1	0,4—2	0,2—0,9	
Вес пистолета в кг	2,5	3,2	3,3	0,9

АППАРАТЫ ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ И ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКИ

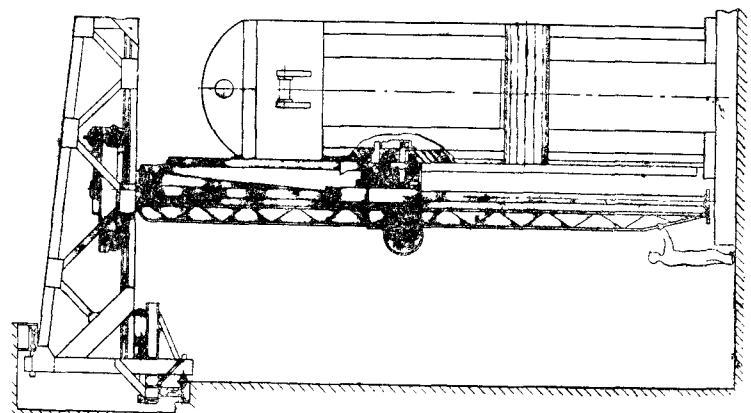
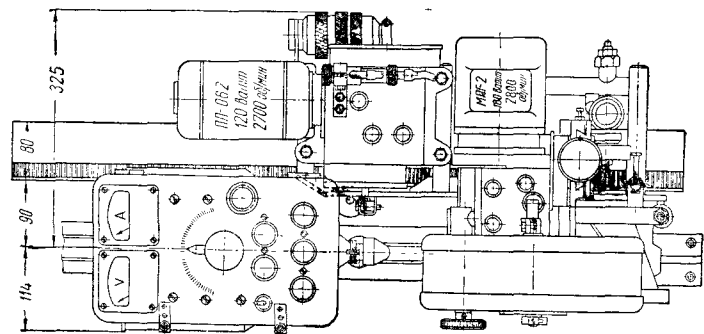
Основными особенностями аппаратов для вертикальной электродуговой и электрошлаковой сварки являются: 1) наличие устройств для принудительного формирования сварных швов, осуществляемого в большинстве случаев медными охлаждаемыми подкладками или ползунами; 2) необходимость в специальном устройстве, при помощи которого уровень сварочной ванны автоматически сохраняется постоянным относительно формирующего ползуна; 3) наличие устройства, обеспечивающего вертикальное положение электрода в разделке шва; 4) наличие механизма, осуществляющего рабочее движение аппарата вдоль шва снизу вверх.

Каждая из указанных особенностей в той или иной мере определяет конструкцию аппаратов, которые могут быть разделены на две категории: 1) рельсовые аппараты, сварочное движение которых осуществляется по рельсу, устанавливаемому параллельно лву, и 2) безрельсовые, перемещающиеся непосредственно по изделию и сцепляющиеся с ним механическим путем или при помощи системы шагающих электромагнитов.

Аппараты рельсового типа обладают рядом преимуществ по сравнению с безрельсовыми, — они дают возможность отказаться от наставок для выхода аппарата, создать такие сварочные установки, в которых рельс, а следовательно, и аппарат крепятся к несущей конструкции независимо от изделия. Однако с увеличением длины шва рельс становится тяжелым и громоздким, что усложняет его установку на изделии с нужной точностью. В связи с этим ВПИТЯжмаш разработано устройство для механизации установки аппарата и рельса на свариваемом изделии. Это механизированное универсальное устройство способно обслужить рабочее пространство площадью 6×20 м, высотой 10 м. Устройство (фиг. 76) состоит из консольного крана, специальной тележки с поворотным кругом, рельсовой колонны со сварочным аппаратом и подъемной



Фиг. 77. Аппарат А-433-М для вертикальной сварки.



Фиг. 76. Универсальное устройство для механизмов аппарата и рельса на изделии при электрошлаковой сварке.

рабочей площадкой. Оно позволяет быстро перемещать сварочный аппарат вместе с оператором к свариваемым изделиям, закреплять свободно подвешенную рельсовую колонну магнитами параллельно стыкам и сваривать швы при минимальной затрате времени на вспомогательные операции. Наиболее длинные швы встречаются при сварке металла сравнительно небольшой толщины. Для сварки таких изделий целесообразно применять безрельсовые аппараты. При сварке металла большой толщины аппараты рельсового типа удобнее и эффективней.

Технические данные аппаратов для вертикальной электродуговой и электрошлаковой сварки приведены в табл. 11.

В качестве примера аппаратов рельсового типа можно привести аппараты А-433-М и А-535 конструкции Института электросварки им. Е. О. Патона АН УССР.

Аппарат А-433-М (фиг. 77) одноэлектродный, легкий, переносный предназначен, в основном, для вертикальной электродуговой и электрошлаковой монтажной сварки на строительных площадках.

Аппарат представляет собой самоходную тележку, на которой смонтирована сварочная головка с токоподводом, катушка для электродной проволоки, бункер для флюса и пульт управления. Ходовой механизм тележки и механизм подачи проволоки приводятся в движение отдельными электродвигателями. Скорость подачи электродной проволоки постоянная. Предварительная настройка скорости подачи производится сменными шестернями подающего механизма.

Аппарат передвигается по легкому рельсовому пути с зубчатой рейкой. Рельс может быть жестким (для сварки прямолнейных швов) или гибким (для сварки швов криволинейных). Рельс устанавливается по шаблону параллельно шву. Ходовой механизм тележки приводится двигателем постоянного тока с регулируемым числом оборотов.

Трехэлектродный универсальный аппарат А-535 (фиг. 78) предназначен для однопроводной вертикальной электрошлаковой сварки продольных и кольцевых швов металла толщиной до 500 мм. Сварка может производиться одним, двумя или тремя электродами. Применение трех электродов, включенных по трехфазной схеме, позволяет не только значительно повысить производительность сварки, но и достичь симметричной загрузки трехфазной сети с высоким коэффициентом мощности за счет резкого снижения индуктивного сопротивления сварочной цепи. Сварка производится проволочными или пластинчатыми электродами. Проволочные электроды применяются при сварке металла толщиной до 500 мм, пластинчатые — при сварке прямолнейных швов длиной не свыше 1,5 м и при толщине металла до 800 мм.

Аппарат А-535 (фиг. 79) состоит из следующих основных механизмов: механизма для подачи трех электродных проволок; ходовой тележки; механизма для возвратно-поступательного движения электродов; формирующих устройств; токоподводящих мундштуков; флюсодозатора и др.

Аппарат во время сварки движется по рельсовой колонне, установленной параллельно свариваемым кромкам. Скорость движения аппарата вдоль шва переменная и изменяется автоматически, в зависимости от колебаний уровня сварочной ванны относительно ползунов.

Подача трех изолированных друг от друга проволок осуществляется сварочной головкой с электроприводом постоянного тока. Головка снабжена механизмом, позволяющим устанавливать расстояния между электродами и регулировать его во время сварки. Электросхема аппарата обеспечивает регулирование скорости подачи проволок путем изменения числа оборотов двигателя.

Для удержания сварочной ванны в разделке шва в аппарате применены составные шарнирные ползуны, позволяющие соединять, собранные с превышением одной кромки над другой до 5—6 мм.

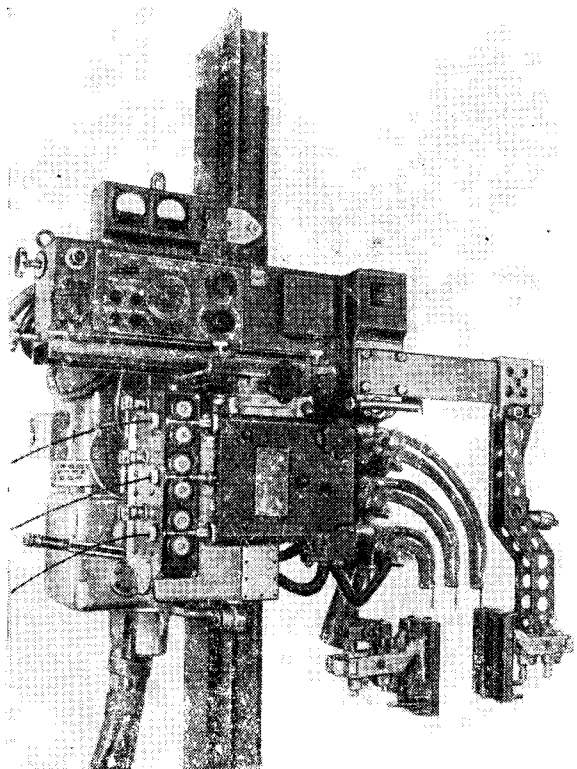
Для сварки кольцевых швов прямые ползуны заменяются специальными. При этом механизм вертикального перемещения используется для установочных операций, а также в начале сварки — для наведения шлаковой ванны и в конце — для замыкания шва.

При сварке пластинчатыми электродами сварочная головка заменяется специальной штангой с держателями для крепления к ним пластин.

Аппарат А-535 рассчитан на трехфазную сварку. Чаще всего он применяется совместно со специальными трансформаторами типа ТШС для электрошлаковой сварки. Эти трансформаторы имеют жесткую внешнюю характеристику.

Аппарат А-535 является усовершенствованной моделью широко распространенного в промышленности аппарата А-372-р.

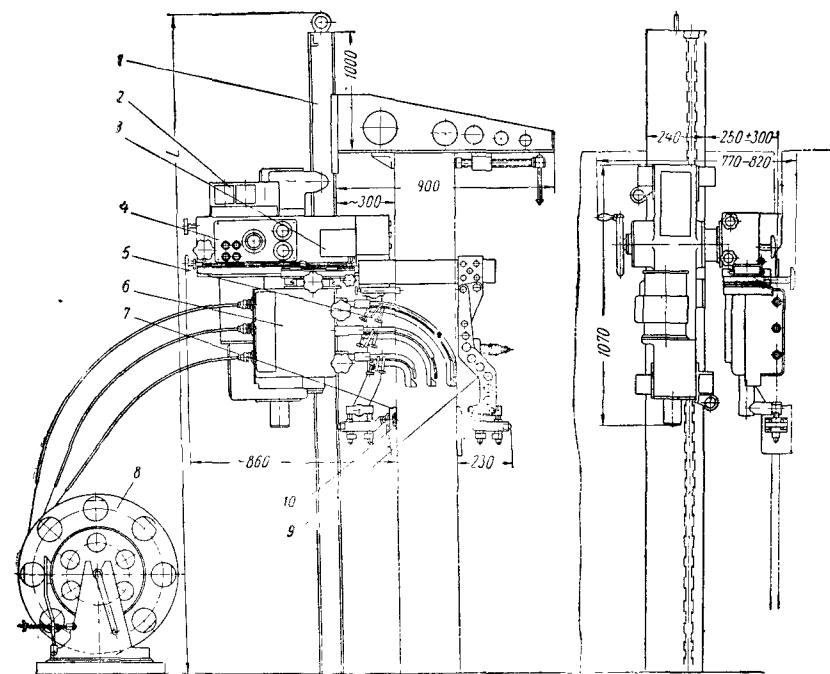
Безрельсовые аппараты, механически сцепляющиеся с изделием, состоят обычно из двух тележек — передней ведущей и задней холостой. Тележки нахо-



Фиг. 78. Общий вид трехэлектродного универсального автомата А-535 для электрошлаковой сварки металла толщиной до 500 мм.

дятся по обе стороны свариваемого стыкового шва и связаны между собой специальными плоскими тягами, пропущенными сквозь зазор между свариваемыми листами. Поэтому непременным условием работы безрельсовых аппаратов является наличие ничем не пересекаемого стыкового зазора по всей длине шва. Сборка такого стыка производится на специальных серповидных скобах, которые прихватываются к листам со стороны холостой тележки. Внутренний размер скобы должен быть достаточным для прохода этой тележки во время сварки. Сквозные тяги, связывающие тележки между собой, входят в систему специального натяжного устройства с мощными пружинами, которые зажимают изделие между тележками, обеспечивают прижатие бегунков ведущей тележки к изделию и этим создают необходимое для движения сцепление. Достаточно точное копирование шва во время сварки обеспечивается ребрами бегунков, которые

входят в зазор шва и при помощи специального устройства плотно прижимаются к одной из кромок свариваемых листов.



Фиг. 79. Схема аппарата А-535: 1 — рельсовый путь; 2 — приборная панель; 3 — концевые выключатели; 4 — кронштейн с механизмом возвратно-поступательного движения электродов; 5 — мундштуки; 6 — механизм подачи электродов; 7 — ползуны; 8 — катушки для проволоки; 9 — подвеска заднего ползуна; 10 — электрический шуп.

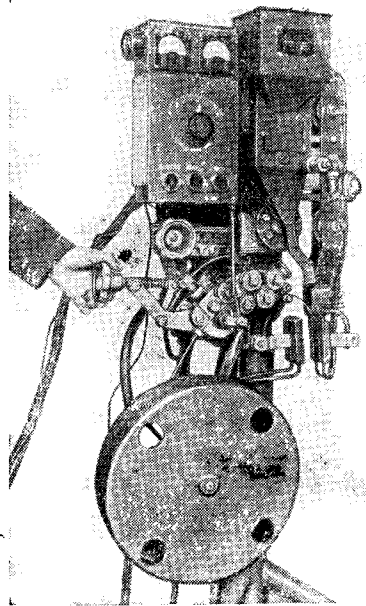
Аппарат А-306 (конструкции Института электросварки им. Е. О. Патона) (фиг. 80) может служить примером безрельсового аппарата. Передняя тележка аппарата оборудована механизмом вертикального перемещения и механизмом подачи электрода. Оба механизма приводятся в движение одним асинхронным электродвигателем мощностью 0,25 кВт, причем механизм перемещения аппарата соединен с двигателем при помощи электромагнитной муфты, являющейся исполнительным элементом схемы автоматического регулирования уровня сварочной ванны. Тележка оборудована также специальным электродным мундштуком с роликовым гибочным устройством, бункером для флюса с механическим дозатором и пультом управления.

Формирование шва осуществляется двумя охлаждаемыми водой медными ползунами, один из которых прикреплен к передней, а другой к задней тележкам.

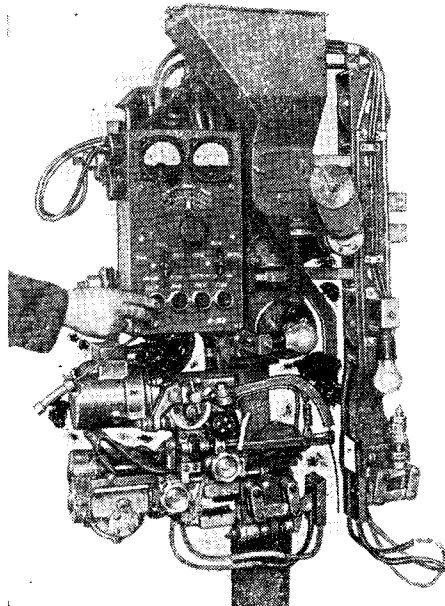
Аппараты А-340 и А-350 (конструкции Института электросварки им. Е. О. Патона АН УССР) построены на аналогичном принципе и предназначены для сварки металла толщиной до 150—180 мм и поэтому оборудованы механизмом поперечных колебательных движений, подобно тягловому рельсовому аппарату А-535. Аппараты А-340 (фиг. 81) и А-350 имеют три отдельных электропривода: для вертикального перемещения вдоль шва, возвратно-поступательного движения мундштуков поперек шва и подачи электродной проволоки.

Аппарат А-350, в отличие от аппаратов А-306 и А-340, является трехэлектродным.

Основное отличие разработанных Институтом электросварки им. Е. О. Патона АН УССР магнитных шагающих аппаратов от аппаратов, описанных выше, заключается в том, что сцепление их с изделием осуществляется при помощи магнитов, а сварочное движение является шагающим.



Фиг. 80. Безрельсовый аппарат А-306.



Фиг. 81. Безрельсовый аппарат А-340.

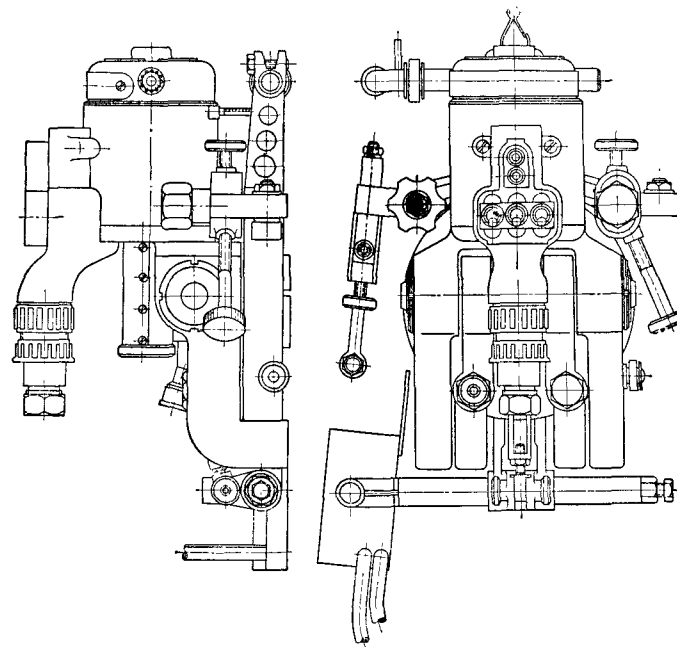
Магнитный шагающий аппарат типа А-501-М (Института электросварки им. Е. О. Патона (фиг. 82) предназначен для автоматической вертикальной сварки угловых (с разделкой и без разделки кромок), а также стыковых соединений металла толщиной до 90 мм.

В основу схемы магнитного шагающего механизма положено перешагивание аппарата по изделию на двух постоянно включенных электромагнитах.

Ходовой механизм аппарата состоит из двух балансиров с магнитными полюсами. Балансиры связаны между собой при помощи эксцентрика, при вращении которого они поочередно отрываются от изделия и «переступают» вперед по направлению сварки. За один оборот эксцентрика переступают оба балансира, а весь механизм передвигается на величину двойного эксцентриситета. Эксцентрик расположен таким образом, чтобы при перешагивании отрывался только передний полюс балансира. Настройка скорости сварочного движения производится за счет изменения числа оборотов эксцентрика или за счет изменения шага переступания.

При существующем небольшом шаге прерывистый характер движения не отражается на формировании шва, которое, так же как и у других типов аппаратов для вертикальной сварки, осуществляется охлаждаемыми медными ползунами.

Построенные по такой схеме ходовые механизмы обладают следующими основными положительными качествами: 1) возможность движения по вертикальной или наклонной плоскости, без затрат времени на установку дополнительных приспособлений для передвижения аппарата (рельс или приспособление



Фиг. 82. Магнитный шагающий аппарат А-501 для вертикальной сварки угловых швов.

для механического прижима), 2) малый вес и портативность аппарата, что делает его весьма удобным для работы в труднодоступных монтажных условиях.

Аппарат А-501-М состоит из шагающего магнитного ходового механизма с токоподводящими мундштуками, формирующим устройством, бункером для флюса и пультом управления; отдельных механизмов для подачи электродных проволок; соединительных шлангов для подачи проволоки и подвода сварочного тока к мундштукам и шкафа управления.

Для уменьшения веса и габаритов аппарата механизм подачи проволоки расположен в стороне, а проволока подается через гибкий шланг. Сварка может осуществляться одной или двумя проволоками.

При сварке угловых швов одна поверхность изделия копируется самим автоматом, который прижимается к ней магнитами, а другая — ползуном и копирующим роликом. При сварке стыковых швов параллельно одной из кромок прихватывается копирная линейка.

Обратная поверхность шва может формироваться либо ползуном, связанным с аппаратом, либо неподвижной подкладкой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматическое регулирование дуговой сварки. Труды секции по научной разработке проблем электросварки и электротермии вып. 1, Академиздат, 1953.
2. Автоматическая электродуговая сварка под флюсом, под ред. акад. Е. О. Патона, Машгиз, 1953.
3. Блитштейн А. З., Сварка электрозаклепками, Машгиз, 1955.
4. Бринберг И. Л., Рыбалко П. Г., Автоматизация направления сварочной головки по стыку «Сварочное производство» № 5, 1956.
5. Вайнбойм Д. И., Дуговые сварочные автоматы, Судпромгиз, 1956.
6. Институт электросварки им. акад. Е. О. Патона АН УССР, Пособие для проектирования, монтажа и эксплуатации электрической части автосварочных установок, Гостехиздат УССР, 1948.
7. Институт электросварки им. акад. Е. О. Патона АН УССР, Руководство по электродуговой сварке под флюсом, Машгиз, 1957.
8. Институт электросварки им. акад. Е. О. Патона АН УССР, Руководство по электрошлаковой сварке, Машгиз, 1956.
9. Кочановский Н. Я., Современное сварочное оборудование и направление развития его производства, ЦВТИ, 1959.
10. Михайлов Г. П., Сварка трехфазной дугой, Машгиз, 1956.
11. Патон Б. Е., Севбо П. И., Аппаратура для автоматической и полуавтоматической сварки Института электросварки им. Е. О. Патона АН УССР, «Вестник машиностроения» № 10, 1954.
12. Патон Б. Е., Лебедев В. К., Элементы расчетов цепей и аппаратов переменного тока для дуговой сварки, АН УССР, 1953.
13. Рабинович И. Я., Оборудование для дуговой электрической сварки. Источники питания дуги, Машгиз, 1958.
14. Севбо П. И., Автосварочные установки и приспособления, Машгиз, 1949.
15. Севбо П. И., Оборудование для сварки под флюсом, Машгиз, 1958.
16. Справочные материалы для сварщиков, под ред. проф. Г. А. Пиндаева, Машгиз, 1951.
17. Электрошлаковая сварка, под ред. акад. АН УССР В. Е. Патона, Машгиз, 1959

ГЛАВА VII

РАБОЧЕЕ МЕСТО ЭЛЕКТРОСВАРЩИКА И ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ ЭЛЕКТРОСВАРКИ ПОКРЫТЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

ЭЛЕМЕНТЫ ОБОРУДОВАНИЯ РАБОЧЕГО МЕСТА В СТАЦИОНАРНЫХ И МОНТАЖНЫХ УСЛОВИЯХ

Производительность труда электросварщика и качество сварки в значительной степени зависят от правильно организованного рабочего места. Рабочее место электросварщика в зависимости от выполняемой работы, габаритов свариваемых изделий и характера производства может быть расположено непосредственно у свариваемого изделия или в специальных кабинах.

При небольших габаритах свариваемых изделий, для защиты рядом работающих сварщиков и других рабочих от вредных излучений электрической дуги, на постоянных рабочих местах сварщика делают специальные кабины.

Кабина для одного сварщика обычно имеет размеры 2×2 м или $2 \times 2,5$ м и высоту не менее 2 м; для улучшения вентиляции внутри кабины стены ее не доводят до пола на 200—250 мм.

В качестве материалов для стенок кабин используются различные огнестойкие материалы, а также фанера.

Каркас кабины делается металлическим, дверной проем кабины закрывается брезентовым занавесом на кольцах.

Для уменьшения поглощения света стенками кабин, последние окрашивают в светлые матовые тона, для чего применяют цинковые или титановые белила, желтый хром, которые хорошо поглощают ультрафиолетовые лучи.

Окраска сварочных кабин в темные тона не рекомендуется, потому что при этом ухудшается общая освещенность в цехе.

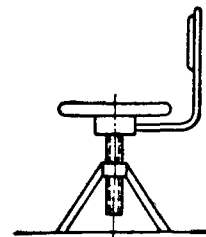
Полы в кабинах делают из огнеупорного материала — кирпичные, цементные, бетонные и пр.

В кабине устанавливается сварочное оборудование (при отсутствии централизованной разводки сварочного тока) — сварочный трансформатор или генератор постоянного тока. Однако установка генератора в кабине ухудшает условия ухода за ним, поэтому его желательно устанавливать за пределами кабины.

В кабине помещается также сетевой закрытый рубильник, металлический стол сварщика, стул для сварщика с подъемным винтовым сиденьем (фиг. 1). Для сварки мелких изделий на сварочном столе устанавливаются тиски или специальные приспособления.

Сварочный трансформатор, дроссель, корпус рубильника и сварочный стол должны быть заземлены.

Участки, где производятся сварочные работы, должны быть хорошо освещены дневным или искусственным светом. Кабины (фиг. 2) в цехах желательно устанавливать вдоль стены с окнами. На заводах, где нет электродного цеха



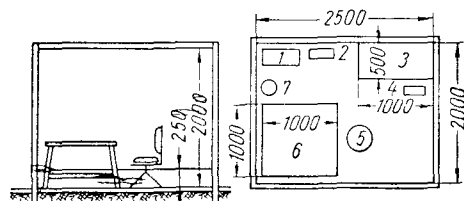
Фиг. 1. Винтовой стул.

в сварочной кабине или в цеховой кладовой желательно установить электрошкаф для прокалки электродов. Такой шкаф мощностью около 1 кВт имеет напряжение 36 в и одновременно вмещает 30 кг электродов.

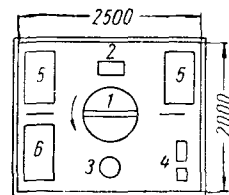
В случае массовой сборки и сварки деталей в кабине устанавливается поворотный стол с глухой перегородкой; на одной половине стола сварщик производит сварку, на другой — сборщик собирает детали под сварку. Примерная планировка такой кабины показана на фиг. 3.

При сварке деталей с круговыми швами или сложной конфигурации в кабине устанавливается кантователь или манипулятор.

При производстве сварки в кабинах на постоянном токе рекомендуется централизованное питание сварочных постов от многопостовой машины (например, агрегата ПСМ-1000, фиг. 4) или нескольких параллельно соединенных генераторов, которые устанавливаются за пределами кабин в специальном помещении.



Фиг. 2. План и разрез сварочной кабины: 1 — сварочный трансформатор; 2 — регулятор; 3 — место для деталей; 4 — ящик для электродов; 5 — винтовой стул; 6 — сварочный стол; 7 — электропечь для прокалки электродов.



Фиг. 3. План сварочной кабины с поворотным сварочным столом, имеющим глухую перегородку по середине: 1 — поворотный стол; 2 — место сборщика; 3 — место сварщика; 4 — сварочный аппарат; 5 — стеллажи для деталей; 6 — готовые изделия.

Сварочный ток подается на шины, к которым подключаются балластные реостаты типа РБ-200.

Балластные реостаты устанавливаются в кабине и позволяют регулировать сварочный ток с точностью до 10 а.

Вентиляция кабины осуществляется местным отсосом.

Лучшим рабочим столом сварщика является стол с решеткой и вытяжкой газов и пыли вниз или в сторону.

В настоящее время в судостроении применяется метод фильтрации вредных газов и поглощения пыли непосредственно в зоне их возникновения. С этой целью создан специальный фильтр-поглотитель, в котором в качестве фильтрующего материала используется ткань марки ФПП-15, обладающая высокой поглощающей способностью.

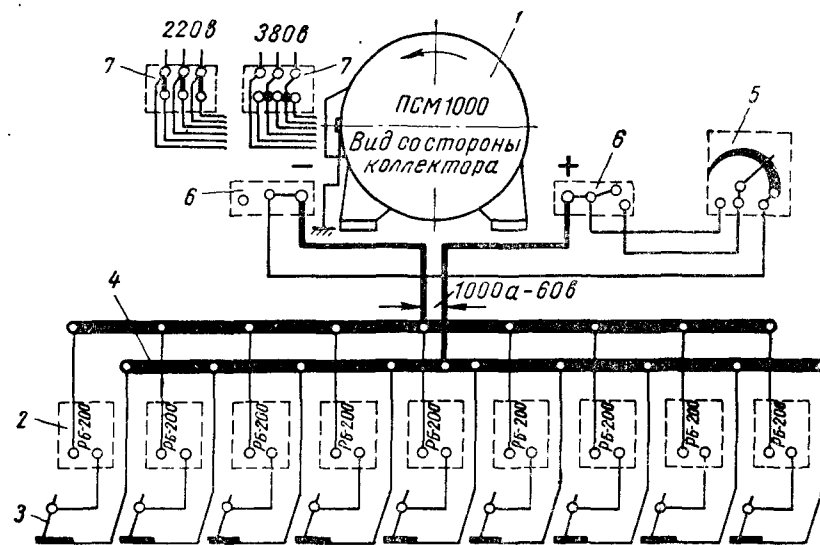
Фильтр-поглотитель очищает газы, удаляемые местным отсосом от сварочной дуги, и возвращает в окружающую среду очищенный воздух.

Рабочее место сварщика вне кабины. При работе сварщика на сборочных площадках в цехах или вне их, в условиях монтажа различных объектов и особенно внутри сосудов следует обратить особое внимание на мероприятия по электробезопасности.

К этим мероприятиям относятся:

- установка рубильника около входного отверстия сосуда или снабжение сварочного аппарата автоматическим выключателем;
- тщательная проверка изоляции сварочных проводов;
- дежурство подсобного рабочего у входного отверстия в сосуд;
- изоляция сварщика от металла сосуда резиновым ковриком, досками или фанерой, резиновым плетом и резиновыми подложками;
- применение электрододержателя с изолированной рукояткой.

условиях монтажа рабочее место сварщика должно быть защищено от дождя, снега и ветра и обязательно ограждено переносными щитами или барьерами. Сварочная аппаратура, находящаяся на площадках, должна быть также защищена от снега и дождя.



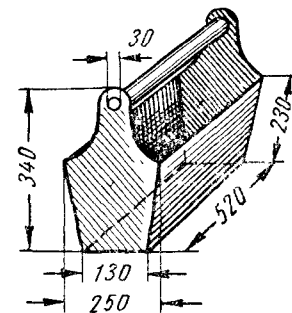
Фиг. 4. Схема включения в сеть агрегата ПСМ-1000, сварочных постов и балластных реостатов: 1 — агрегат ПСМ-1000; 2 — балластные реостаты; 3 — электроды; 4 — шины; 5 — шунтовой реостат для регулирования напряжений в сети; 6 — клеммовые доски для подключения к шинам сварочной цепи; 7 — клеммовые доски двигателя агрегата для подключения к заводской цепи переменного тока.

При больших объемах сварочных работ (например, при сварке монтажных стыков на судах) сварочное оборудование устанавливается на специальных переносных площадках или в будках, где находятся рубильники и все необходимые провода. Такие площадки (или будки) транспортируются к новому месту работы, где сварочное оборудование может быть быстро подключено к сети.

При монтажных работах сварщик должен иметь следующее дополнительное оснащение: гибкий, хорошо изолированный кабель сечением 25—35 мм², длиной 15—25 м, хорошо изолированный электрододержатель, сумку для хранения электродов, переносный металлический ящик для огарков. При частой перемене места работы у сварщика должен быть ящик для переноса инструмента и электродов (фиг. 5).

При работе в сухих помещениях лампы местного электрического освещения должны питаться током с напряжением не выше 36 в, а в сырых помещениях и закрытых сосудах — не выше 12 в.

При работе на высотных металлических конструкциях сварщик должен пользоваться поясом верхозащиты, снабженным цепью и карабином для прикрепления его к конструкции во время работы.



Фиг. 5. Ящик для переноса инструмента и электродов.

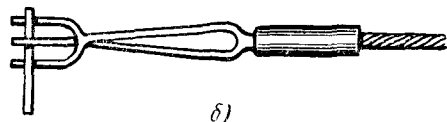
ИНСТРУМЕНТ ЭЛЕКТРОСВАРЩИКА

Электрододержатель является основным инструментом электросварщика, и конструктивное исполнение электрододержателя во многом влияет на производительность труда сварщика.

Электрододержатель должен отвечать следующим требованиям: быть легким (не более 0,5 кг) и удобным в обращении, иметь надежную изоляцию от тока, не нагреваться, обеспечивать возможность наиболее полного сплавления электрода, позволять быстро освобождаться от огарков и быстро заменять электрод, иметь простое и надежное соединение со сварочным проводом, прочно зажимать электрод при любом его положении во время сварки.



а)



б)

Фиг. 6. Электрододержатели для металлических электродов: а — пружинный, типа ЭД-2; б — вилочного типа.

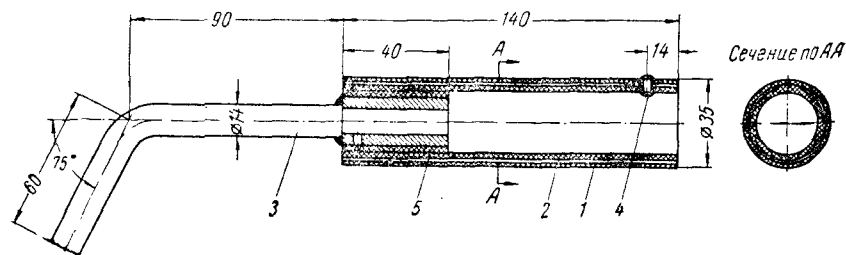
В этом электрододержателе электрод закрепляется между медными губками, которые сжимаются пружиной, помещенной внутри рукоятки; рукоятка состоит из двух шарнирно соединенных частей.

Вес электрододержателя около 0,5 кг. Он снабжен гибким проводом сечением $2 \times 16 \text{ мм}^2$ и наконечником для присоединения к сварочному кабелю (фиг. 6, а).

Применяются также другие конструкции пружинных электрододержателей (фиг. 8), рассчитанные на различные величины сварочного тока.

Электрододержатель вилочного типа может быть изготовлен в любой мастерской; он легкий, имеет хороший контакт с электродом (фиг. 6, б).

Электрододержатель для безогарковой сварки прост в изготовлении, легкий (270—330 г), дает экономию электроэнергии и



Фиг. 7. Электрододержатель для безогарковой сварки: 1, 2 — трубки; 3 — электрододержатель; 4 — заклепка; 5 — шнур асбестовый.

почти на 10% сокращает расход электродов. Электрод для безогарковой сварки обматывается на всю длину; перед сваркой он приваривается к электрододержателю и сплавляется почти полностью (фиг. 7).

Электрододержатели для трехфазной сварки должны допускать свободу манипуляции электродами в любом направлении и не допускать возможности замыкания между фазами, подведенными к разным губкам электрододержателя.

Для сварки двумя параллельными электродами сконструирован специальный электрододержатель, имеющий два контакта, изолированные друг от друга (фиг. 9).

Электросварщик должен иметь при себе следующий инструмент для зачистки места сварки и сварных швов.

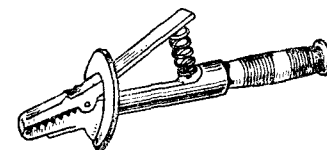
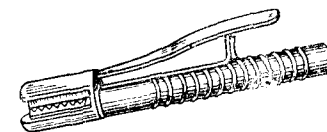
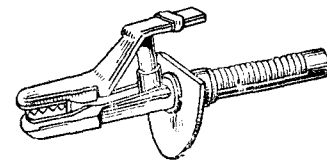
Стальные щетки — круглую (торцовую) и плоскую на деревянной колодке, которые служат для очистки места сварки от ржавчины и грязи до сварки и для очистки сварного шва после сварки.

Зубило, применяемое для зачистки шва и мест около шва от брызг, подрубки наплывов сварного шва, зачистки окалины после газовой резки и для отбивки шлака со шва.

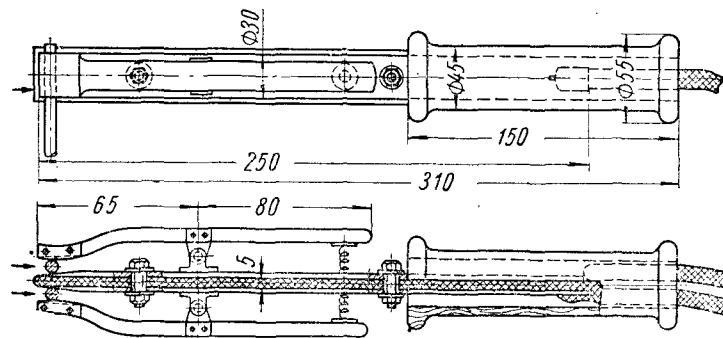
Молоток, один конец которого имеет форму зубила и служит для отбивки шлака со шва, а другой тупой конец служит для работы с зубилом и для нанесения удара по клею.

Секач применяется для отбивки шлака со шва.

Механическая зачистка сварных швов производится с помощью переносных машинок, снабженных наждачным кругом или проволочной щеткой. Для этой же цели применяются легкие пневматические молотки с зубилами.



Фиг. 8. Конструкции электрододержателей, рассчитанные на различную величину сварочного тока.



Фиг. 9. Электрододержатель для трехфазной сварки двумя параллельными электродами.

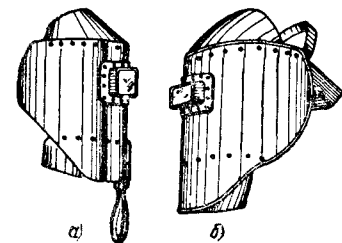
ЗАЩИТНЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

Для защиты лица и глаз электросварщика от лучей сварочной дуги и брызг металла служат щитки или маски, а для защиты тела — спесодержка.

Щитки и маски (фиг. 10) изготавливаются из жаростойкого материала, не проводящего электрический ток, фибры, пропитанной фанеры и т. п. (ГОСТ 1361-54).

Габаритные размеры щитков и масок должны быть не менее следующих (мм): высота 300; ширина 220; глубина 150; глубина верхнего и нижнего за-

щитных козырьков (от передней стенки щитка) 50; глубина верхнего козырька для маски должна быть равна глубине маски; глубина нижнего козырька 30.



Фиг. 10. Щиток и маска электросварщика: а — щиток; б — маска.

В Советском Союзе выпускаются светофильтры ТС-3 классов ЭС и ГС. Назначение светофильтров дано в табл. 1.

1. Светофильтры марки ТС-3

№ свето-фильтра	Виды работы, при которых применяются светофильтры	Класс свето-фильтра
1	Электродуговая сварка при величине сварочного тока до 500 а	ЭС-500
2	То же при величине сварочного тока до 300 а	ЭС-300
3	То же при величине сварочного тока до 100 а	ЭС-100
4	Для подсобных рабочих и сборщиков при электродуговой сварке, а также для газосварщиков	ГС-3, ГС-7

Спецодежда электросварщика изготавливается из плотного брезента или сукна. У спецодежды не должно быть открытых карманов. Обувь должна иметь глухой верх. Рукавицы сварщика изготавливаются из кожи, плотного брезента или асбестовой ткани.

При работе в закрытых сосудах сварщик пользуется диэлектрическими капошамми, испытанными на пробой электрическим напряжением согласно действующим правилам, и резиновым ковриком.

СВАРОЧНЫЕ ПРОВОДА, ШАБЛОНЫ, КЛЕЙМА

Ток от сварочных агрегатов к месту производства сварочных работ передается изолированными проводами.

Для этой цели используются гибкие провода марки КРГД по ГОСТу 6731-53 «Провода для электрической дуговой сварки». Сечение проводов в зависимости от величины сварочного тока приведено в табл. 2.

Длина гибкого провода, к которому прикреплен электрододержатель, может быть ограничена 2—3 м, остальная часть провода может быть взята марки КРПТ по ГОСТу 2650-54 «Шнуры и кабели шланговые».

2. Сечение гибких сварочных проводов

Сварочный ток в а	Сечение проводов в мм ²	
	одинарный провод	двойной провод
200	25	2 × 10
300	50	2 × 16
400	70	2 × 25
600	95	2 × 35

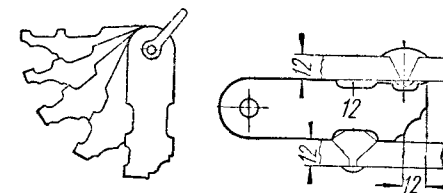
Провод длиной более 30 м применять не рекомендуется, так как при увеличении длины происходит значительное падение напряжения в сварочной цепи. Соединять гибкий провод электрододержателя со сварочным токопроводящим проводом нужно при помощи специальных соединительных муфт или медных кабельных наконечников, скрепляющихся болтами и шайбами.

К свариваемому изделию обратный провод крепится струбциной, обеспечивающей хороший контакт. Обратный провод в стационарных условиях работы можно проводить шинами, которые в местах соединения тщательно зачищаются и скрепляются болтами; шины укладываются в деревянном кожухе.

При использовании в сварочной цепи медных, алюминиевых или стальных шин расчет сечения их производится по допускаемой плотности тока, указанной в табл. 3.

3. Допускаемая плотность тока

Материал шин	Допускаемая плотность тока в а см ²
Медь	150—200
Алюминий	110—150
Сталь	45—60



Фиг. 11. Шаблоны для контроля формы и размеров сварного шва.

Шаблоны, применяемые сварщиками, служат для контроля формы и размеров шва. Примерные конструкции шаблонов показаны на фиг. 11.

Клеймо стальное с буквой или цифрой, присвоенной сварщику, служит для клеймения швов, сваренных сварщиком, с целью установления его личной ответственности за качество сварки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдуллаев М. К., Техника безопасности при производстве сварочных работ, Оборонгиз, М. 1954.
2. Михайлов Г. П., Сварка трехфазной дугой, изд. 3-е, Машгиз, Москва — Свердловск, 1956.
3. Справочник электросварщика, изд. 2-е, Машгиз, Москва — Киев, 1954.
4. Цегельский В. Л. и Жданов В. А., Электросварочное дело, Машгиз, М. 1954.
5. Черняк В. С. и Вошанов К. П., Справочник молодого сварщика, Труда-резерват, М. 1958.
6. Резников Ю. А. и Юштин Е. И., Фильтр-поглотитель для электросварочных работ, Судпромиз, Л. 1957.
7. Алексеев Е. К. и Мельник В. И., Сварочное дело, Госстройиздат, М. 1959.

ГЛАВА VIII

МОНТАЖ, ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ ОБОРУДОВАНИЯ
ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ

МОНТАЖ СВАРОЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ И ТРАНСФОРМАТОРОВ

В цеховых условиях каждый приемник электрической энергии питается от распределительного пункта (РП, сборка), состоящего из стального ящика, внутри которого смонтирован ряд предохранителей, рубильник и амперметр. Эти сборки устанавливаются вдоль стен или у колонн цеха. Сварочный агрегат или трансформатор подключается к соответствующему предохранителю в сборке. Включение или выключение их производится обычно магнитными пускателями (реже рубильником), установленными на источнике сварочного тока или вблизи него. При монтаже сварочного оборудования прежде всего надо убедиться в том, что напряжение сети соответствует напряжению, на которое рассчитана первичная обмотка сварочного трансформатора или мотора преобразователя.

Для подвода тока от сборок к двигателю сварочного преобразователя и трансформатору применяются провода, заключенные в стальные трубы.

Во избежание увеличения индуктивного сопротивления и потерь электроэнергии два провода при однофазной и три провода при трехфазной проводке следует помещать в одну стальную трубу.

Выбор сечения проводов определяется из условий допустимого падения напряжения не более 5%.

Сварочные трансформаторы следует подключать к разным фазам для выравнивания нагрузки сети.

При подключении сварочных преобразователей нужно проверить правильность вращения, что определяется стрелкой на корпусе генератора. Машина должна вращаться против движения часовых стрелок, если на нее смотреть со стороны коллектора. Кроме того, нужно проверить соответствие действительной полярности машины, указанной на зажимах. Проверка производится вольтметром, применяемым только для постоянного тока. Движение его стрелки в обратную сторону означает, что полярность машины изменилась. В этих случаях нужно переманитить машину от постороннего источника постоянного тока.

Следующее обязательное требование при монтаже сварочного оборудования — создание безопасных условий работы для сварщика.

Во избежание поражения рабочих напряжением 220 или 380 В при случайных пробоях изоляции первичной обмотки трансформатора или обмоток мотора преобразователя корпуса этих машин заземляются. На корпусе каждого агрегата или трансформатора имеется болт, который должен быть надежно соединен с цеховой сетью заземления. Сечение заземляющего провода должно быть не менее 6 мм² для медного и не менее 12 мм² для стального провода.

В подавляющем большинстве случаев оборудование для дуговой сварки выполняется передвижным, поэтому при установке его на полу надобность в механическом монтаже отпадает.

Устанавливать сварочные трансформаторы и машины постоянного тока в непосредственной близости от кабины сварщика нет необходимости. Для экономии производственной площади цеха это оборудование можно устанавливать на соответствующей высоте над уровнем пола. Часто его монтируют на специально сооружаемых балконах между колоннами цеха. В зависимости от

режима и характера работы сварочных постов в этих случаях для однопостовых машин должен быть решен вопрос о дистанционном управлении пуском машин и регулировании сварочного тока из кабины сварщика.

Вопрос о дистанционном пуске сварочных машин решается относительно легко путем выноса кнопки пускателя или контактора в кабину сварщика.

Регулирование тока с рабочего места также нетрудно осуществить при установке сварочных трансформаторов с дистанционным регулированием тока (например, ТСД-1000-3 и ТСД-500), а также трансформаторов с отдельным дросселем путем установки последних у рабочего места.

Для осуществления дистанционного регулирования тока в сварочных машинах постоянного тока необходимо перенести реостат цепи возбуждения машины в кабину сварщика.

При применении многопостового оборудования регулирование сварочного тока производится балластными сопротивлениями или дросселями, монтируемыми в кабинах.

Подвод сварочного тока от трансформатора, преобразователя или от балластного реостата производится гибким проводом марки ПРГД. Для ручной сварки длина гибкой части провода может быть ограничена 2—3 м. Поперечное сечение провода можно выбрать по табл. 1.

При многопостовом оборудовании разводка сварочного тока от машины к рабочим постам выполняется медными, алюминиевыми или стальными шинами, смонтированными в каналах.

Расчет шин должен быть произведен таким образом, чтобы разница в напряжении для каждого поста при полной нагрузке и при работе только одного поста была не больше 10% от номинального напряжения.

Перед пуском сварочного агрегата нужно продуть машину, проверить надежность контактов в схеме монтажа, наличие смазки в подшипниках, а также состояние щеток и коллектора.

Сварочный трансформатор включают после проверки надежности контактов в первичной и вторичной цепи и правильности вращения мотора дистанционного регулятора тока, если он имеется.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ СВАРОЧНЫХ МАШИН И ТРАНСФОРМАТОРОВ

При эксплуатации сварочного оборудования нужно в первую очередь следить за надежностью контактов, так как часто причиной недопустимого нагрева машины или трансформатора является плохой контакт. Все провода сварочной цепи должны иметь напаянные наконечники; соединение проводов без наконечников недопустимо.

При эксплуатации трансформаторов необходимо выполнять следующие требования:

- а) держать всегда в затянутом состоянии все болтовые и винтовые соединения дросселя и трансформатора;
- б) следить за температурой трансформатора, не допуская его перегрева;
- в) один раз в месяц смазывать ходовой винт механизма перемещения подвижной части сердечника и один раз в год менять смазку в коробке этого механизма;
- г) предохранять аппарат от механических повреждений;
- д) следить за надежностью заземления.

В настоящее время в промышленности начинают применяться установки для сварки постоянным током, состоящие из трансформатора и выпрямителя с селеновыми или германиевыми полупроводниковыми элементами — вентилями. Конструкцию их нельзя считать установившейся, так как они еще недостаточно проверены в производственных условиях. Они могут быть выполнены с воздушным, водяным или масляно-водяным охлаждением.

1. Выбор сечения проводов в зависимости от величины сварочного тока

Величина сварочного тока в а	Сечение провода в мм ²	
	одинарного	двойного
200	25	2×10
300	50	2×16
400	70	2×25
400—700	—	2×50
700—1000	—	2×70

К этим установкам относится все сказанное о монтаже и эксплуатации трансформаторов, так как последние составляют часть установки, но следует также учитывать, что селеновые и особенно германиевые выпрямители чувствительны к перегреву (допустимая температура нагрева селеновых вентилях 70° , германиевых 60°). Поэтому в установке должна быть исключена возможность их перегрева. Это достигается расчетом и выбором вентилях для значения $IP=100\%$ при максимальном токе короткого замыкания. В данном случае количество вентилях будет заведомо завышено. Если количество вентилях выбирается для номинальных значений силы тока и IP , то в установке должна быть предусмотрена тепловая защита вентилях. При водяном или масляно-водяном охлаждении вентилях в установке монтируется термоструйное реле, устраняющее возможность работы без протекания охлаждающей воды. Эти устройства, тепловая защита и реле давления требуют систематической проверки.

При эксплуатации сварочных преобразователей необходимо:

1. Следить за исправным состоянием пускового устройства мотора, периодически зачищая контакты от нагара и капель.

2. Следить за исправным состоянием коллектора, не допуская появления нагара; протирать его один раз в неделю тряпкой, смоченной в бензине. При нормальной эксплуатации его поверхность должна иметь коричневый цвет с синеватым отливом. При появлении нагара устранить причину его образования и шлифовать коллектор стеклянной шкуркой. Один раз в год его следует проточить на токарном станке и шлифовать, предварительно выбрав изоляцию между пластинами на глубину 1 мм.

3. Тщательно следить за исправностью щеточного аппарата. Щетки должны свободно передвигаться (без зазоров) в щеткодержателях. Они должны быть пришлифованы к коллектору по всей их поверхности и расположены так, чтобы все щетки в ряду одновременно сходили с коллекторной пластины и так же встречали новую пластину. Щетки одного ряда смещаются вдоль оси машины по отношению к ряду щеток другой полярности на 3—5 мм для выравнивания износа коллектора. Щеткодержатель закрепляется на пальце так, чтобы зазор между его обоймой и коллектором был равен 2—3 мм. Разница в величине нажима щеток на коллектор должна быть не более 15%.

Проверка величины нажима производится один раз в неделю. Применение щеток разных марок на одной машине не допускается. На сварочных генераторах применяются щетки марки ГЗ или ГГ4. Один раз в две недели щетки в щеткодержателях очищаются тряпкой, после чего щетки шлифуются мелкой стеклянной бумагой. После каждой шлифовки машина должна быть протута.

4. Два раза в год промывать подшипники керосином и смазывать.

Преобразователи, трансформаторы, балластные реостаты, пусковые устройства следует один раз в месяц продувать сжатым сухим воздухом и проверить сопротивление изоляции. Минимальное допустимое сопротивление определяется из расчета 1000 Ом на 1 в напряжения, на которое рассчитана обмотка.

С точки зрения эксплуатации наиболее удобным является многопостовое оборудование. В этом случае трансформаторы и машины постоянного тока могут быть изолированы и должны обслуживаться только персоналом энергетического цеха. При питании сварочных постов многопостовыми трансформаторами, помимо удобства эксплуатации, повышается коэффициент их использования и $\cos \phi$.

Наряду с эксплуатационными удобствами многопостовые машины постоянного тока имеют низкий к. п. д. Повышение его возможно за счет снижения напряжения холостого хода (не ниже 45 в). Однако возможность такого снижения должна определяться в каждом конкретном случае с учетом сварочно-технологических требований.

МОНТАЖ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ И ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ

Монтаж внешних соединений отдельных узлов автоматических и полуавтоматических установок выполняется по монтажным схемам, прилагаемым к каждой установке. Для удобства и облегчения последующих ремонтов и переключений рекомендуется перенумеровать концы всех соединительных проводов,

введенных сверх заводской схемы. При сварке переменным током провода для сварочного тока (прямые и обратные), идущие от трансформатора к шкафу распределительных устройств и от шкафа к сварочной головке или трактору, должны быть скреплены между собой связками из ленты через каждые полметра. При монтаже оба провода (прямой и обратный) должны быть помещены в одну трубу; в противном случае индуктивное сопротивление сварочной цепи возрастает, и трансформатор может не дать номинальной силы тока.

Площадь поперечного сечения проводов для сварочного тока выбирается из расчета допустимой плотности тока $5-7 \text{ а/мм}^2$, в зависимости от $IP\%$ (прерывистого режима).

Перед монтажом необходимо проверить соответствие напряжения, указанного в паспорте автомата или полуавтомата, напряжению цеховой сети. В случае расхождения необходимо изыскать возможность переключения на новое напряжение не только сварочного трансформатора или преобразователя, но и отдельных электрических устройств цепи управления — вспомогательных трансформаторов, двигателя моторгенераторной группы, катушки контактора и т. п.

Все металлические части оборудования, не находящиеся под напряжением, должны быть заземлены.

При подводе сжатого воздуха к флюсоаппаратам всасывающе-нагнетательной системы необходимо смонтировать непосредственно перед автоматом осушитель для исключения возможности увлажнения флюса сырым воздухом.

В тех автоматах, где применяется флюсоотсос, на вывод из бункера воздуха должна быть надета широкая труба или шланг с присоединением их к трубам общей вентиляции цеха, во избежание засорения атмосферы цеха мельчайшей флюсовой пылью.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ УСТАНОВОК ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ И ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ

Неисправности автоматов и полуавтоматов предупреждаются надлежащим обслуживанием и планово-предупредительным ремонтом.

Ежедневно перед каждой сменой должны производиться:

а) пуск и опробование установки с целью проверки исправности электрических и механических узлов и устранения обнаруженных неисправностей;

б) осмотр мундштуков токоподводов и подающих роликов с заменой износившихся.

Кроме того, необходимо систематически следить за состоянием внешних соединений частей установки и схемы управления, зачищать и затягивать подгоревшие и ненадежные контакты, восстанавливать поврежденную изоляцию на проводах; проверять состояние смазки во всех подшипниках и редукторах установок.

Необходимо проверять степень загрязнения наконечников и шлангов полуавтоматов. Сильно загрязненные наконечники перед очисткой погружаются на двое суток в керосин.

Для очистки шланга от грязи в него заливают 25 г авиационного бензина или спирта на 5 мин., после чего шланг тщательно продувают сжатым воздухом. (При оставлении бензина на более длительное время резина может разрушиться.)

Для предупреждения загрязнения наконечников и шлангов рекомендуется производить очистку электродной проволоки. Для этого применяют приспособление, состоящее из двух катушек, между которыми проволока проходит по оси вращающегося цилиндра, наполненного флюсом. Очистка проволоки от масла, грязи и ржавчины производится перематкой бухты с одной катушки на другую. Другой способ очистки (менее эффективный) — промывание бухт проволоки в бензине, дихлорэтаноле и т. п.

Для бесперебойной работы автомата необходимо следить за состоянием флюсоаппарата — эжектора, соединительного трубопровода и ссыпного устройства.

Поддержание нужного давления в трубопроводе и нормального засоса флюса требует наблюдения за тем, чтобы геометрические размеры эжекторного устройства не нарушались. При правильных геометрических размерах эжектора и необходимом давлении воздуха в сети вакуум в флюсозаборной трубе должен обеспечивать удовлетворительный засос флюса.

Примеры правильного соотношения основных размеров эжектора и давления воздуха приведены в табл. 2.

2. Соотношение основных размеров эжектора флюсоаппарата и давления воздуха

Давление воздуха в сети в атм	Давление воздуха в сети во время работы эжектора в атм	Давление в засасывающей трубе в атм		Диаметр сопла эжектора в мм	Диаметр отверстия выходной трубы эжектора в мм	Диаметр засасывающей трубы в мм	Высота подъема флюса в м
		при открытой трубе	при закрытой трубе				
5,5	4,4	0,055	0,295	4	18	28	3,0
5,25	3,5	0,085	0,322	5	18	19	3,0

В флюсосасасывающем устройстве при всех отклонениях пути флюса от прямой линии флюс с силой бьет в стенку трубы или шланга и разрушает ее, совершая работу, аналогичную работе пескоструйного аппарата. Поэтому верхняя часть бункера в зоне входа засасывающей трубы облицовывается изнутри слоем резины, предохраняющей стальную стенку бункера от быстрого износа. Верхнюю часть бункера необходимо периодически осматривать изнутри и заменять изношенную резину.

Стальные колена флюсосасасывающей системы быстро изнашиваются. Более стойкими показали себя литые колена из отбеленного чугуна. При замене металлических колен резиновыми шлангами падает сила тяги.

Сетка, на которую после сварки поступает флюс, должна иметь ячейки размером 4×4 мм.

Конструкцией ссыпного устройства должна быть предусмотрена возможность отделения спекшихся корок флюса без засорения ими сетки, а также возможность быстрой ликвидации засорения засасывающей трубы. Сетка должна легко сниматься.

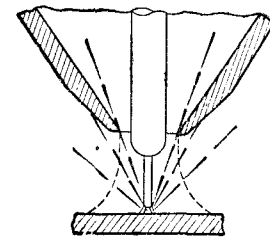
При правильно сконструированном ссыпном устройстве флюс подается на засасывающую трубу относительно равномерно; при поступлении флюса крупными партиями засасывающая труба обычно «захлебывается», т. е. поступление флюса прекращается. Разумеется в процессе эксплуатации необходимо следить за герметичностью всех соединений флюсоаппарата. Несмотря на относительно удобное применение эжекторных флюсоаппаратов невыгодно вследствие значительного расхода сжатого воздуха. Расход воздуха на один флюсоаппарат достигает $40-60 \text{ м}^3$ в час, что составляет годовые затраты в 2125—3220 руб. при стоимости 1 м^3 сжатого воздуха 1,5 коп. Поэтому там где это возможно, необходимо применять элеваторный подъем флюса. В этом случае, помимо снижения расходов, уменьшается загрязнение атмосферы цеха флюсовой пылью, уменьшается шум и сокращается количество разбивающегося флюса.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ АВТОМАТОВ И ПОЛУАВТОМАТОВ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ СВАРКИ В СРЕДЕ CO_2

К затруднениям, имеющим место при эксплуатации установок для сварки в среде CO_2 , относится явление забрызгивания горелки каплями расплавленного металла. в результате чего нарушается правильное истечение CO_2 и в шве появляются поры. Поэтому в конструкции горелок должно быть предусмотрено такое геометрическое соотношение размеров, при котором капли металла не могли бы попадать на внутреннюю поверхность наружного наконечника. Схема одной из таких горелок показана на фигуре.

Наружный наконечник и внутренний мундштук должны изготавливаться из меди; поверхности их должны шлифоваться; в процессе работы их необходимо интенсивно охлаждать.

Во избежание перерасхода углекислого газа следует применять редукторы с точной отсечкой давления. Кислородные, ацетиленовые и углекислотные редукторы этому требованию не отвечают, вследствие чего при каждом закрывании установленного на автомате крана подачи CO_2 давление в трубопроводе нарастает до значительной величины и в момент очередного открывания крана (начало сварки) бесполезно теряется. Поэтому, кроме обычного углекислотного редуктора, требуется установка регулятора давления на 0,1 атм, разработанного ВНИИАвтоген.



Сх ма горелки для сварки в среде CO_2 .

РЕМОНТ СВАРОЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ, ТРАНСФОРМАТОРОВ, АВТОМАТОВ И ПОЛУАВТОМАТОВ

Для обеспечения бесперебойной работы сварочное оборудование должно проходить планово-предупредительный ремонт (ППР) согласно общему положению.

Ремонт преобразователей, трансформаторов и электрических узлов автоматов и полуавтоматов включается в план энергетика, а ремонт приспособлений — в план механика цеха.

Плановые ремонты разделяются на несколько видов.

Первый вид. Текущий ремонт. Тщательный осмотр всего агрегата без разборки.

Восстановление или замена минимального количества изношенных деталей и наладка механизмов, обеспечивающих бесперебойную работу агрегата до следующего планового ремонта.

Второй вид. Средний ремонт. Частичная разборка агрегата для замены, чистки и восстановления износившихся или неисправных механических деталей и электрических устройств.

Третий вид. Капитальный ремонт. Полная разборка агрегата; проверка размеров; замена или восстановление всех износившихся деталей, узлов и электрических устройств с восстановлением точности, производительности, мощности и электрических параметров агрегата.

Периодичность ремонтов и сроки службы отдельных частей сварочного оборудования приведены в табл. 3 и 4.

Нормы на ремонт взяты из расчета на одну условную единицу при квалификации электромонтера 5—6 разряда:

а) на один первый вид ремонта 1,2 часа;

б) на один второй вид ремонта 7 час.

На станочные работы берется дополнительно 15% от общего времени на ремонт.

На капитальный ремонт берется 16 час. на одну условную единицу.

Периодичность капитального ремонта один раз в 2—4 года.

3. Периодичность, группа сложности и трудоемкость ремонтов сварочного оборудования

Межремонтный период в месяцах	Наименование оборудования	Количество ремонтов в год			Группа сложности в условных единицах	Норма работы на все работы в чел.-час.
		первый вид	второй вид	всего		
3	Сварочные трансформаторы:	2	2	4		
	СТЭ-22				4	17,6
	СТЭ-23				5	22,0
	СТЭ-24, СТЭ-32, СТЭ-34, СТИ-500				6	26,4
	СТН-700				7	30,8
	ТСД-10, СТН-1000				9	39,6
	СТНД-1000				10	44,0
2	Сварочные преобразователи:	4	2	6		
	ПС-300				8	44,8
	ПС-500				10—11	56—61,6
	ПСМ-1000 (без балластного сопротивления)				19	106,4
2	Автоматические и полуавтоматические установки (без источника питания сварочного тока):	4	2	6		
	АДС-1000				12	67,2
	ТС-17				11	61,6
	ПШ-5				10	56,0

4. Ориентировочные сроки службы частей сварочного оборудования

№ по пор.	Наименование деталей	Материал или марка	Срок службы
1	Электрододержатели:	ПРГД	1 мес.
	а) щипцовые		4—6 мес.
2	б) из угловой стали		3—4
3	Гибкий провод к электрододержателю		
3	Щетки сварочных машин постоянного тока	ГЗ, ЭГ4	1—1,5 мес.
4	Наконечники (мундштуки) автоматов и полуавтоматов в зависимости от допускаемой степени разработки отверстия (требуемой точности наложения шва) и скорости подачи проволоки	Хромоцинковая бронза, КМЦ-3-1, ОЦ4-3А, Медь	
	При допускаемой разработке мундштука в мм:		
	Поперек шва		1—3 смены
	Вдоль шва		До 1 мес.
5	Трубчатая часть наконечника (свеча)	Латунь, бронза	4—6 мес.
6	Подводящие ролики с насечкой	СТ-12ХНБ цементованная	3—4 мес.

НЕИСПРАВНОСТИ И НЕПОЛАДКИ В РАБОТЕ СВАРОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

5. Неисправности трансформаторов и способы их устранения

Неисправность	Причина	Способ устранения
Сильное нагревание	Замыкание витков обмотки вследствие повреждения изоляции или частых длительных перегрузок трансформатора	Отключить трансформатор от сети, снять кожух и устранить замыкание витков, изолировав их друг от друга. При необходимости перемотать обмотку, сохранив число витков и сечение проводов
Повышенный нагрев соединений	Нарушение контакта в соединениях трансформатора Соединение сварочных проводов без наконечников	Отключить трансформатор от сети, разобрать нагревающиеся соединения, очистить до металлического блеска, пригнать и затянуть до отказа зажимы Не допускать подключения сварочных проводов без наконечника
Чрезмерный нагрев сердечника и скрепляющих его шпилек	Нарушение изоляции сердечника и шпилек	Демонтировать шпильки, восстановить изоляцию и собрать сердечник. При значительном повреждении трансформатор передать в капитальный ремонт
Сильное гудение сердечника регулятора	Нарушение механического крепления сердечника и кожуха Расстройство механизма перемещения подвижной части сердечника в регуляторе и ослабление пружины, прижимающей сердечник	Подтянуть шпильки сердечника и винты крепления кожуха Проверить винты перемещения и отрегулировать пружины фиксации подвижной части сердечника
Корпус трансформатора при включении оказывается под напряжением, опасным для жизни сварщика	Повреждение изоляции между обмоткой и корпусом или между обмотками	Отключить трансформатор от сети, снять кожух, отыскать место повреждения изоляции и соединения обмотки с корпусом Проверка производится мегомметром или переносной лампочкой

6. Неисправности сварочных машин и способы их устранения

Неисправность	Причина	Способ устранения
<i>А. Двигатель</i>		
Двигатель не вращается	Обрыв в цепи обмотки статора (сильное гудение) Неправильное соединение концов обмоток двигателя между собой	Устранить обрыв цепи Правильно соединить концы обмоток звездой или треугольником согласно схеме
Двигатель вращает генератор в обратную сторону	Неправильный порядок следования фаз	Поменять местами пару подводных токов проводов на щитке двигателя
Перегрев обмотки статора	Перегрузка генератора Напряжение на зажимах двигателя значительно отличается от номинального	Снизить нагрузку генератора до номинального значения Довести напряжение до номинального
Перегрев обмотки статора с сильным запахом горелой изоляции	Витковое или межфазовое соединение в обмотке статора Пробой на корпус	Перемотать обмотку статора (частично или полностью) Изолировать обмотку от корпуса в месте пробоя
<i>Б. Генератор</i>		
Генератор не дает напряжения	Обрыв в цепи обмоток возбуждения Сильное загрязнение коллектора Неправильное направление вращения Щетки, питающие обмотку возбуждения, плохо прижаты к коллектору Генератор размагнитился	Проверить цепи обмоток возбуждения и реостат и устранить обрыв Очистить коллектор стеклянной бумагой и протереть тряпкой, смоченной в бензине Переменить направление вращения двигателя Проверить пружины нажатия щеток и отрегулировать силу нажатия Проверить и отрегулировать перемещение щетки в щеткодержателе Намагнитить полюса генератора, включив обмотки возбуждения от постороннего источника тока
Генератор сильно перегревается (обмотки и коллектор)	Генератор длительно работает с перегрузкой	Уменьшить ток нагрузки или ПВ до номинальной величины

Продолжение табл. 6

Неисправность	Причина	Способ устранения
Искрение щеток, сопровождаемое сильным нагаром на всех пластинах	Щетки плохо пришлифованы Щетку заело в щеткодержателе или она свободно сидит в обойме (нагар только по следу неисправной щетки) Слабый нажим пружин щеткодержателей Коллектор загрязнен Траверса щеток перекосена, сдвинута за допустимые пределы или не затянута Над коллекторными пластинами выступает слюда (щеточки работают с ненормальным шумом)	Притереть щетки по коллектору Установить щетку правильно (зазор между ней и обоймой должен быть 0,2—0,3 мм) или заменить щетку с обоймой Проверить и отрегулировать нажим пружин или заменить щеткодержатель Прошлифовать и протереть коллектор Проверить положение траверсы и закрепить его в нормальном положении Выбрать слюду между ламелями на глубину 1 мм, снять заусенцы и отшлифовать коллектор при поднятых щетках
Искрение щеток, сопровождаемое значительным нагаром на пластинах в одном месте коллектора	Обрыв обмотки якоря или плохая пайка ее соединения Коллектор разошелся, выступают отдельные пластины	Проверить якорь, подняв вспомогательные щетки и пропустив через главные щетки небольшой ток от батарей постоянного тока. Милливольтметром измерить напряжение между соседними коллекторными пластинами. Напряжение на какой-либо паре пластин большее, чем на остальных, свидетельствует об обрыве или ослаблении пайки в цепи обмотки якоря. Генератор следует передать в ремонт Коллектор проточить. Биевание коллектора после проточки не должно превышать 0,1 мм
Искрение щеток, сопровождаемое нагаром на отдельных пластинах	Коллектор разошелся, выступают отдельные пластины	Прошлифовать или отремонтировать коллектор (подтяжка и проточка)

Продолжение табл. 6

Неисправность	Причина	Способ устранения
Значительный нагрев части якоря	Короткое замыкание части витков якоря	Тщательно очистить коллектор от медной и угольной пыли, замыкающей пластины коллектора накоротко. Проверить обмотку якоря мультиметром. Напряжение на какой-либо паре пластин меньше, чем на остальных, свидетельствует о коротком замыкании части витков обмотки якоря. Генератор следует передать в ремонт
Искрят отдельные щетки одного ряда	Плохой контакт между собирательными проводами и пальцами, несущими щетки, что вызывает неравномерное распределение тока между щетками или плохой контакт в неискрящей щетке и перегрузку вследствие этого соседних щеток	Искрящие щетки притереть к коллектору и отрегулировать в обойме; вместе с тем проверить контакты между канатиком и щеткой у неискрящих щеток. Щетки с плохим контактом сменить. Осмотреть контакты между проводами и пальцами, несущими щетки, очистить до блеска и надежно соединить
Обгорают большая группа рядом лежащих пластин коллектора	Биеение коллектора Заело щетку в щеткодержателе	При биеении свыше 0,04 мм коллектор проточить на токарном станке и шлифовать Подогнать щетку к обойме щеткодержателя
Значительное искрение добавочной щетки генератора при холостом ходе	Траверса сдвинута с нормального положения	Установить траверсу по меткам

7. Неполадки в работе схемы сварочных автоматов и способы их устранения

Неполадки	Возможные причины	Что следует предпринять
При нажатии кнопки настройки электрода «Вверх» или «Вниз» двигатель подачи проволоки не работает	Обрывы или нарушение контактов в цепи питания двигателя	Проверить цепь питания и устранить неисправности

Продолжение табл. 7

Неполадки	Возможные причины	Что следует предпринять
В тракторе АДС-1000 при нажатии кнопки настройки электрода КОЭ и КПЭ подача проволоки происходит неправильно — подъем вместо опускания и наоборот	Неправильно подключен электродвигатель мотор — генераторной группы	Изменить направление вращения электродвигателя
При нажатии кнопки «Пуск» не срабатывает контактор	Неисправны предохранители. Обрыв цепей управления, неисправность вспомогательного трансформатора или промежуточного реле Неисправна катушка контактора Отсутствует контакт в кнопках управления	Проверить предохранители и цепи управления, вспомогательный трансформатор и реле Проверить катушку контактора; в случае обрыва или междувиткового замыкания заменить ее Устранить неисправность в контактах кнопок
При нажатии кнопки «Пуск» контактор срабатывает, но двигатель подачи проволоки не работает	Разрыв цепи в блок-контактах контактора или кнопках управления Неисправность магнитных пускателей электродвигателя головки в тракторах УТ-1250-1 и УТ-2000М-1	Отрегулировать положение блок-контактов контактора, чтобы они надежно замыкали цепь питания двигателя при включении Устранить неисправность кнопок и магнитных пускателей
При нажатии кнопки «Пуск» силовой контактор срабатывает, но дуга не загорается	Нет тока в сварочной цепи Отсутствует короткое замыкание между электродом и изделием (плохо закорочен электрод) Клемма 46 в тракторе АДС-1000 не соединена с изделием	Проверить целостность предохранителей, исправность проводов сварочной цепи и исправность сварочного трансформатора Зачистить изделие и надежно закоротить электрод Соединить клемму 46 с изделием

Продолжение табл. 7.

Неполадки	Возможные причины	Что следует предпринять
В тракторе ТС-17-М при нажатии кнопки «Пуск» дуга возбуждается и немедленно обрывается. Двигатель работает на подачу электрода вверх	Неисправности в контактах кнопки «Пуск». При возвращении кнопки в исходное положение не замыкается один из н. з. контактов кнопки	Отремонтировать или заменить кнопку «Пуск»
При незакороченном электроде в сварочной цепи проходит ток	Нарушена изоляция корпуса трактора от изделия	Проверить состояние изоляции ходовых бегунков

8. Возможные неполадки в процессе сварки при правильно работающей схеме автомата

Неполадки	Возможные причины	Что следует предпринять
Неравномерная подача электродной проволоки и обрывы дуги при нормально работающем двигателе подачи проволоки	Слабый зажим проволоки в подающем механизме Выработались канавки или насечка в подающем или прижимном роликах Заедание электродной проволоки в контактах мундштука или в правильном механизме	Отрегулировать давление прижимного ролика, чтобы устранить пробуксовывание проволоки Заменить изношенные ролики Проверить и заменить контакты, отрегулировать контактное давление. Проверить правильность положения контактных губок, отрегулировать правильный механизм
Положение головки или мундштука произвольно изменяется	Люфты в механизмах трактора	Устранить люфты или заменить изношенные детали. Устранить вертикальный и горизонтальный люфты червяка в тракторе ТС-17-М
При открытомшибере флюс из бункера не высыпается	Сыпной патрубков засорен шлаковыми корками	Прочистить сыпной патрубок

Продолжение табл. 8

Неполадки	Возможные причины	Что следует предпринять
Валик наплачивается на одну кромку	Мундштук смещен на одну кромку и дуга горит между кромкой и электродом Большой вылет электрода и блуждание конца проволоки	Переместить мундштук строго в середину разделки шва Уменьшить вылет электрода
Конец электродной проволоки периодически «примерзает» к изделию, отчего дуга крайне неустойчива	Слишком короткая дуга Малый сварочный ток или резкое падение напряжения сети	Уменьшить скорость подачи электродной проволоки Увеличить сварочный ток
Недостаточная глубина проплавления	Малый сварочный ток	Увеличить сварочный ток или зазор между свариваемыми деталями при наличии подкладки
Частые обрывы дуги	Слишком длинная дуга Большой сварочный ток или резкое повышение напряжения сети	Увеличить скорость подачи проволоки Уменьшить сварочный ток
Расплавился конец мундштука вместе с проволокой	Очень малый вылет электрода при длинной дуге и большом сварочном токе Остановился трактор, прекратилась подача проволоки, но дуга горит	Увеличить вылет и скорость подачи проволоки, уменьшить сварочный ток Выяснить и устранить причины прекращения подачи проволоки и движения трактора; отремонтировать мундштук
Чрезмерная глубина проплавления с прожогами	Слишком большой сварочный ток и малая скорость сварки	Уменьшить сварочный ток, увеличить скорость сварки, наклонить электрод к изделию углом вперед
Плохое формирование шва	Не соблюдается рекомендуемый режим сварки и полярность дуги	Проверить и установить правильный режим сварки и полярность дуги

Продолжение табл. 8

Неполадки	Возможные причины	Что следует предпринять
Пористость шва	Влажный или очень грязный флюс Ржавые и грязные свариваемые кромки Дуга неполностью закрыта флюсом	Просушить или заменить флюс Зачистить кромки до металлического блеска Увеличить высоту слоя флюса над дугой
Неравномерная ширина шва	Проволока подается в дугу неравномерно Трактор перемещается неравномерно. Колеса трактора при сварке пробуксовывают	Отрегулировать давление прижимного ролика, чтобы устранить пробуксовывание проволоки Устранить неисправность колес или рельсовых наплавляющих
При включении дуга не загорается и проволока «примерзает» к изделию	Слишком плотный контакт между проволокой и изделием (при длительном включении тока проволока плавится между мундштуком и изделием или внутри мундштука)	Подложить под конец проволоки комочек стружек, железных опилок, жестяной наконечник или отрезать конец проволоки

9. Неполадки в работе шланговых автоматов и полуавтоматов и способы их устранения

Неполадки	Возможные причины	Что следует предпринять
В процессе сварки наблюдается неравномерная подача электродной проволоки при нормально работающем двигателе подающего механизма и правильном режиме сварки	Слабый зажим проволоки в подающих роликах Выработалась насечка или канавка в подающих роликах Заедание проволоки в шланге из-за резких перегибов Засорился канал шланга	Отрегулировать давление нажимного ролика, чтобы устранить пробуксовывание проволоки Заменить подающий ролик Проверить и заменить наконечник мундштука. Расположить шланг, избегая крутых перегибов Прочистить канал шланга

Продолжение табл. 9

Неполадки	Возможные причины	Что следует предпринять
В процессе сварки прекращается подача флюса	Отсутствие флюса в бункере Засорение флюсовой системы корками шлака Повышенная влажность флюса Недостаточное давление воздуха в системе пневматической подачи флюса Флюсовая пробка в эжекторе или во флюсоподающей трубке из-за большого количества флюсовых иголок	Заполнить бункер флюсом Прочистить систему и удалить шлак Просушить флюс Отрегулировать давление редукционным клапаном Проверить конденсационный горшок и влажность флюса, прочистить флюсовую трубку и эжектор. Размолоть флюс в шаровой мельнице и просеять
При нажатии на кнопку «Пуск» не включается контактор и двигатель подачи проволоки	Неисправность предохранителей или пакетного выключателя Неисправность контакта кнопки Обрыв в цепи катушки промежуточного реле или его неисправность Обрыв в цепи катушки линейного контактора Неисправность вспомогательного трансформатора В автоматах завода «Электрик» неправильно подключен двигатель генератора в аппаратном шкафу	Заменить предохранители или пакетный выключатель Проверить и устранить неисправность кнопки Устранить неисправность промежуточного реле Заменить катушку линейного контактора Проверить трансформатор и при необходимости заменить Изменить направление вращения асинхронного двигателя
При нажатии на кнопку «Пуск» контактор срабатывает, но двигатель подачи проволоки не работает	Разрыв цепи в блоках контактора, контактах вспомогательных реле или кнопках управления	Отрегулировать блок-контакты контактора или контакты вспомогательных реле так, чтобы они надежно замыкали цепь питания двигателя подачи проволоки. Устранить неисправность кнопок управления
При нажатии на кнопку «Пуск» контактор срабатывает, проволока подается, но дуга не загорается	Нет контакта в сварочной цепи Нет напряжения в сварочной цепи	Сбить корочку шлака на конце электрода Проверить целостность предохранителей и надежность контактов сварочной цепи. Проверить исправность сварочного трансформатора или генератора

Продолжение табл. 9

Неполадки	Возможные причины	Что следует предпринять
При отсутствии механических неполадок в процессе сварки наблюдаются частые обрывы дуги	Резкое повышение напряжения сети Слишком длинная дуга	Уменьшить сварочный ток Увеличить скорость подачи проволоки
В процессе сварки наблюдаются непрерывные «приморзания» электрода (толчки)	Резкое понижение напряжения сети Слишком короткая дуга	Увеличить сварочный ток Уменьшить скорость подачи проволоки
Корпус держателя находится под напряжением	Мундштук закорочен на корпус держателя Пробита изоляция прокладок в месте соединения держателя со шлангом	Проверить и ликвидировать короткое замыкание Проверить и исправить изоляцию
Электродная проволока образует петлю между подающим роликом и входным ниппелем шланга	Входная трубка шланга далеко отстоит от подающего ролика	Приблизить входную трубку шланга вплотную к подающему ролику
Электродная проволока сминается в подающих роликах, но не подается в шланг	Электродная проволока заклинилась в шланге Конец электрода приварился к мундштуку	Вынуть проволоку и прочистить шланг Заменить наконечник мундштука

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Справочные материалы для сварщиков, Машгиз, 1951.
2. Автоматическая дуговая сварка, под ред. акад. Е. О. Патона, Машгиз, 1953.
3. Ванбойм Д. И., Дуговые сварочные автоматы, Судпромгиз, 1956.
4. Бляштин А. З., Улучшение использования сварочных трансформаторов, ЦБТИ ВИСХОМ, 1956.
5. Инструкции по автоматам и полуавтоматам, 6. Министерство электротехнической промышленности, 1956.
6. «Единая система планово-предупредительного ремонта технологического оборудования машиностроительных предприятий», Машгиз, 1958.

ГЛАВА IX

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА

Основные технические требования к контактным сварочным машинам

Контактные машины изготавливаются для стыковой, точечной, рельефной и шовной сварки.

ГОСТ 297-52 предусматривает изготовление серии контактных машин номинальной мощностью 1, 3, 5, 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 500 и 300 кВа, причем фактические значения первичной мощности не должны отличаться от номинальной более чем на $\pm 7,5\%$.

Классификация машин для стыковой, точечной и шовной сварки приведена в табл. 1.

Функциями сварочных машин являются: а) создание усилия осадки при стыковой сварке или давления между электродами при точечной и шовной сварке; б) подвод тока к свариваемым деталям; в) управление последовательностью операций цикла процесса сварки.

Принципиальная электрическая схема машины для контактной сварки показана на фиг. 1.

Машины для сварки черных металлов рассчитаны на однофазное включение в сеть переменного тока напряжением 220 или 380 в. По особому требованию могут изготавливаться машины на 500 и 127 в, причем напряжение 127 в применяется только для машин мощностью до 10 кВа.

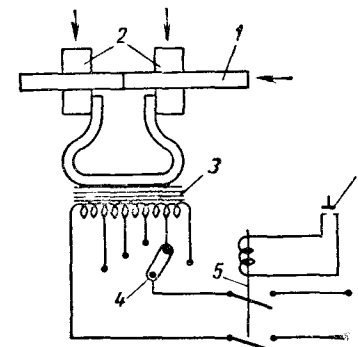
Машины для точечной сварки легированных сплавов рассчитаны на включение в трехфазную сеть переменного тока и изготавливаются на напряжение 220 или 380 в.

Максимальное вторичное напряжение холостого хода контактных сварочных машин не превышает 36 в. Пределы регулирования напряжения должны обеспечивать отношение наибольшего вторичного напряжения холостого хода к наименьшему не менее 1,9, по особому требованию — до 2,6.

Вторичное напряжение регулируется переключателем ступеней. За номинальную ступень регулирования принимается предпоследняя ступень.

Число ступеней регулирования для машин мощностью до 5 кВа должно быть не менее четырех, для машин мощностью от 10 до 75 кВа — не менее восьми.

Для машин мощностью более 75 кВа, снабженных дополнительной аппаратурой для регулирования тока, число ступеней берется не менее восьми и для машин, не имеющих этой аппаратуры, — не менее двенадцати.



Фиг. 1. Принципиальная электрическая схема машины для контактной сварки: 1 — свариваемое изделие; 2 — контактные колодки; 3 — сварочный трансформатор; 4 — переключатель ступеней; 5 — электромагнитный контактор; 6 — пусковая кнопка.

1. Классификация машин для стыковой, точечной и шовной сварки

Способы сварки	Сопровилением		Непрерывным		Однократным		С подогревом	
	Неавтоматическое	Автоматическое	Неавтоматическое	Автоматическое	Неавтоматическое	Автоматическое	При подогреве — рычажное, при однократном — автоматическое	Автоматическое
Управление машиной	Рычажный, гидравлический	Пружинный	Рычажный, гидравлический	От электрогидравлического	Рычажный, гидравлический	Рычажный, гидравлический	От электрогидравлического	От электрогидравлического
Механизм подачи	Рычажные, гидравлические	Экспандирующие, гидравлические	Рычажные, гидравлические	Рычажные, гидравлические	Рычажные, гидравлические	Рычажные, гидравлические	Рычажные, гидравлические	От электрогидравлического, гидравлического, пневматического
Зажимные приспособления	Рычажные, гидравлические	Экспандирующие, гидравлические	Рычажные, гидравлические	Рычажные, гидравлические	Рычажные, гидравлические	Рычажные, гидравлические	Рычажные, гидравлические	От электрогидравлического, гидравлического, пневматического
Машины для точечной сварки								
Типы машин	Однократные		Подвесные		Многократные		Стационарные	
	Импульсные, выпрямленным током, конденсаторные, электромагнитные		Однократные переменного тока		Многократные переменного тока		Для рельсовой сварки	
Механизмы скатывания	Рычажный от электрогидравлического двигателя, пневматический	Пневматический, пневмогидравлический	Пневматический, пневмогидравлический	Пневматический, пневмогидравлический	Пневматический, пневмогидравлический	Пневматический, пневмогидравлический	Пневматический, пневмогидравлический	Пневматический, пневмогидравлический
Управление машиной	Полуавтоматическое, автоматическое	Автоматическое	Автоматическое	Автоматическое	Автоматическое	Автоматическое	Полуавтоматическое, автоматическое	Автоматическое
Ход электродов	По дуге окружности, прямолинейный	Прямолинейный	По дуге окружности, прямолинейный	Прямолинейный	По дуге окружности, прямолинейный	Прямолинейный	Прямолинейный	Прямолинейный
Машины для шовной сварки								
Получа тока	Непрерывная		Прерывистая		Прерывистая		Прерывистая	
Механизм скатывания	Рычажный и от электрогидравлического	Рычажный и от электрогидравлического	Рычажный и от электрогидравлического	Рычажный и от электрогидравлического	Рычажный и от электрогидравлического	Рычажный и от электрогидравлического	Рычажный и от электрогидравлического	Рычажный и от электрогидравлического
Направление шва	Продольное	Продольное	Продольное	Продольное	Продольное	Продольное	Продольное	Продольное
Привод подачи электродов	Непрерывное принудительное вращение верхнего ролика	Непрерывное принудительное вращение верхнего ролика	Непрерывное принудительное вращение верхнего ролика	Непрерывное принудительное вращение верхнего ролика	Непрерывное принудительное вращение верхнего ролика	Непрерывное принудительное вращение верхнего ролика	Непрерывное принудительное вращение верхнего ролика	Непрерывное принудительное вращение верхнего ролика
Ход электродов	По дуге окружности	По дуге окружности	По дуге окружности	По дуге окружности	По дуге окружности	По дуге окружности	По дуге окружности	По дуге окружности

Схема регулирования напряжения сварочного трансформатора должна быть выполнена так, чтобы напряжение на концах первичной обмотки трансформатора не превышало номинального более чем на 50% (на любой ступени переключения).

Переключатель ступеней должен быть рассчитан на соответствующий длительный ток, эквивалентный току номинального повторно-кратковременного режима работы машины, а отключающее устройство — на максимальную мощность, соответствующую короткому замыканию вторичной цепи машины, при наибольшем вторичном напряжении.

Повторно-кратковременным считается режим, при котором период работы (включения) следует за периодом паузы (выключения); он оценивается величиной отношения продолжительности работы ко всему циклу в процентах (ПВ%):

$$ПВ = \frac{t_{св}}{t_u} \cdot 100,$$

где $t_{св}$ — продолжительность сварки; t_u — продолжительность всего цикла, равная сумме продолжительности сварки и паузы.

ПВ машины практически зависит от типа и конструкции ее и главным образом от характера работы. Машины с автоматизированным процессом сварки, работающие при более жестких режимах, обычно имеют ПВ меньше, чем машины неавтоматического действия.

При точечной сварке тонких материалов на машинах с автоматическим управлением время сварки $t_{св}$ колеблется от 0,1 до 0,3 сек. Общий же цикл сварки, с учетом времени на установку деталей и перемещение их под электродами, составляет 0,8—1,2 сек. В этом случае ПВ = 12—25%.

При неавтоматическом управлении чистое время сварки для тех же толщин материалов колеблется от 0,3 до 1,5 сек. при том же интервале между сварками, как и на машинах с автоматическим управлением.

Серийные контактные машины общего применения, выпускаемые по ГОСТу 297-52, рассчитываются на значения ПВ от 20 до 50% (для стыковых машин при длительности цикла 20 сек., а также для точечных и рельефных машин при длительности цикла 1 сек. ПВ не менее 20%; для шовных машин при длительности цикла 60 сек. ПВ не менее 50%).

Некоторые специализированные контактные машины (например, трубо-сварочные), на которых сварка происходит непрерывно, рассчитываются на работу при ПВ = 100%.

При продолжительной работе машины, номинальной ПВ и тока, соответствующем номинальной первичной мощности, наибольшее превышение температуры первичной обмотки трансформатора над температурой окружающего воздуха не должно быть более 65° для изоляции обмоток класса А и 85° — для изоляции обмоток класса В.

Вторичные витки сварочного трансформатора, электроды, электрододержатели, контактные колодки и другие токоведущие части машины, подверженные повышенному нагреву, должны иметь проточное водяное охлаждение.

Электрические цепи управления машиной, проложенные открыто и доступные для прикосновения, должны находиться под напряжением не более 36 в переменного или 48 в постоянного тока.

Изоляция между цепями управления и корпусом машины должна выдерживать в течение 1 мин. испытательное напряжение, равное номинальному напряжению питающей сети, но не менее 220 в при частоте тока 50 гц.

Первичная обмотка трансформатора, находящаяся под напряжением переменного тока 220, 380 в, должна иметь изоляцию от корпуса машины, выдерживающую в течение 1 мин. испытательное напряжение, равное двойному номинальному первичному напряжению плюс 1000 в, но не менее 1500 в при частоте тока 50 гц.

Все соединения системы водяного охлаждения должны обладать необходимой плотностью и выдерживать испытание на плотность под

давлением 5 кг/см^2 в течение 5 мин. при открытых сливных отверстиях. Сливное устройство должно обеспечивать возможность наблюдения за протеканием воды.

Части и соединения воздушной системы машины должны надежно работать при давлении 6 кг/см^2 .

Индустриальные радиопомехи, создаваемые контактными машинами, допускаются в пределах норм, утвержденных в установленном порядке.

Машины для стыковой сварки сопротивлением и оплавлением изготавливаются с ручным и автоматическим управлением. Общее смещение плиты стола и зажимных приспособлений при максимальном давлении механизма сжатия допускается не более $0,3 \text{ мм}$.

В зажимных приспособлениях должна быть предусмотрена возможность их регулирования в горизонтальной и вертикальной плоскостях для центрирования свариваемых деталей.

Машины для точечной сварки изготавливаются с вылетом от 150 до 1000 мм. В машинах мощностью от 25 кВа и более предусматривается регулирование пилжей консоли по длине на величину $\pm 50 \text{ мм}$ и опускание на величину не менее 100 мм.

Упругое смещение каждого из электродов при номинальном давлении (расчетном максимальном давлении для сварки на предпоследней ступени) и безударной нагрузке должно быть не более $0,005$ длины вылета, но не более 2 мм.

Машины для шовной сварки изготавливаются с вылетом от 400 до 1000 мм.

Упругое смещение каждого из электродов при номинальном давлении и безударной нагрузке должно быть не более $0,005$ длины вылета, но не более 2 мм.

Окружная скорость роликов должна быть от 0,3 до 1,2 м/мин. Механизм привода роликов должен обеспечивать плавное регулирование его окружной скорости (от минимальной до максимальной).

В машинах мощностью до 50 кВа допускается ступенчатое регулирование скорости ролика с числом ступеней не менее трех.

Электрические характеристики контактных сварочных машин

Полезная мощность, затрачиваемая непосредственно на сварку, подсчитывается по следующей формуле:

$$P_{св} = I_2^2 R_{св},$$

где $P_{св}$ — полезная мощность, расходуемая на нагрев свариваемых деталей, в кВт; I_2 — сварочный ток в а; $R_{св}$ — активное сопротивление участка в месте сварки в ом.

Выделение полезной мощности, требуемой для осуществления сварного соединения, сопровождается неизбежными потерями ее на остальных участках сварочного контура, состоящего из электродов, токоподводящих шин и вторичного витка сварочного трансформатора с переходными контактами машины.

Общее активное сопротивление сварочного контура значительно больше сопротивления участка, в котором выделяется полезная энергия.

Под номинальной мощностью контактной машины понимается первичная мощность в киловольт-амперах, потребляемая машиной в процессе сварки при номинальном первичном напряжении на номинальной ступени, подсчитываемая по следующей формуле:

$$P_{ном} = \frac{U_1 I_1}{1000},$$

где $P_{ном}$ — номинальная мощность машины в кВа; U_1 — номинальное напряжение в в; I_1 — ток, потребляемый машиной из сети, в а.

Сварочный контур обладает также значительным индуктивным сопротивлением. Падение напряжения в контуре сильно снижает напряжение, подводимое к электродам. Особенно это относится к машинам с большим вылетом. Чем больше вылет и расстояние между токоведущими консолями и чем больше магнитного материала введено в контур, тем больше индуктивное сопротивление. Для обеспечения требуемого рабочего напряжения на электродах необходимо создать в сварочной цепи вторичное напряжение, в несколько раз превышающее рабочее напряжение на электродах.

При выборе мощности машины, требуемой для сварки изделий из того или иного материала, помимо толщины, физических свойств и размеров свариваемого материала должны быть учтены также такие факторы, как конструктивные особенности вторичного контура машины, величина прикладываемого давления и длительность протекания тока.

Современные контактные машины потребляют значительную мощность. Использование для работы машины одной фазы и потребление энергии отдельными кратковременными импульсами создает неравномерную и толчкообразную загрузку электросети.

Активная мощность контактной машины в кВт подсчитывается по следующей формуле:

$$P_a = P \cos \varphi_1.$$

Продолжительная мощность в кВа, которую сварочная машина может отдавать при непрерывной длительной работе с допустимым нагревом ее частей, при номинальной ПВ подсчитывается по формуле

$$P_{пр} = P_{ном} \sqrt{\frac{ПВ_{ном}}{100}}.$$

Кратковременная мощность в кВа, которую сварочная машина может отдавать при прерывистом режиме работы, при заданной ПВ, отличающейся от номинального режима, подсчитывается по формуле

$$P_{кр} = P_{пр} \sqrt{\frac{100}{ПВ_{кр}}}.$$

Наибольшее значение мощности, потребляемой машиной из сети, получается при короткозамкнутой вторичной цепи и установке переключателя ступеней на высшую ступень регулирования. В этом случае сопротивление свариваемых деталей равно нулю и ток короткого замыкания $I_{2к.з} = \frac{E_2}{Z_{2к.з}}$, где $Z_{2к.з}$ — полное сопротивление вторичной цепи при коротком замыкании; E_2 — э. д. с. вторичной обмотки.

Количество тепла, выделяемого в токоведущих частях машины в течение каждого цикла, определяется уравнением

$$Q = 0,24 I_2^2 R_m t,$$

где Q — количество выделяемого тепла в кал; I_2 — сварочный ток в а; R_m — сопротивление токоведущих частей машины в ом; t — время протекания тока в сек.

Токоведущие части машины рассчитываются таким образом, чтобы выделяемое в них тепло не вызвало их нагрева выше допустимой температуры при работе машины с номинальной нагрузкой.

Машины, в которых используется аккумулированная энергия, предназначены для сварки легированных сталей, цветных металлов и легких сплавов. Энергия, запасаемая в магнитных системах, в системах конденсаторов, в аккумуляторах и т. п. в относительно длительный период времени между сварками, подается к электродам в виде отдельных кратковременных импульсов. Трехфазные машины в серийном производстве выпускаются мощностью до 1000 кВА и обеспечивают равномерную загрузку сети и снижение потребляемой мощности по сравнению с обычными однофазными машинами.

Сварочный ток, при сварке

$$I_2 = \frac{E_2}{Z_2},$$

где Z_2 — полное сопротивление вторичной цепи при сварке.

Сварочный ток и вторичное напряжение холостого хода при практических подсчетах определяются из соотношения

$$I_2 = I_1 \frac{w_1}{w_2}$$

и

$$U_2 = U_1 \frac{w_2}{w_1},$$

где w_1 — число витков первичной обмотки; w_2 — число витков вторичной обмотки; U_1 — напряжение, подводимое к первичной обмотке сварочного трансформатора; U_2 — напряжение холостого хода вторичной обмотки сварочного трансформатора.

К. п. д. сварочной машины определяется как отношение полезной мощности ко всей затрачиваемой:

$$\eta = \frac{P_{св}}{P_a}.$$

Коэффициент мощности вторичного контура сварочной машины

$$\cos \varphi_2 = \frac{R_2}{Z_2},$$

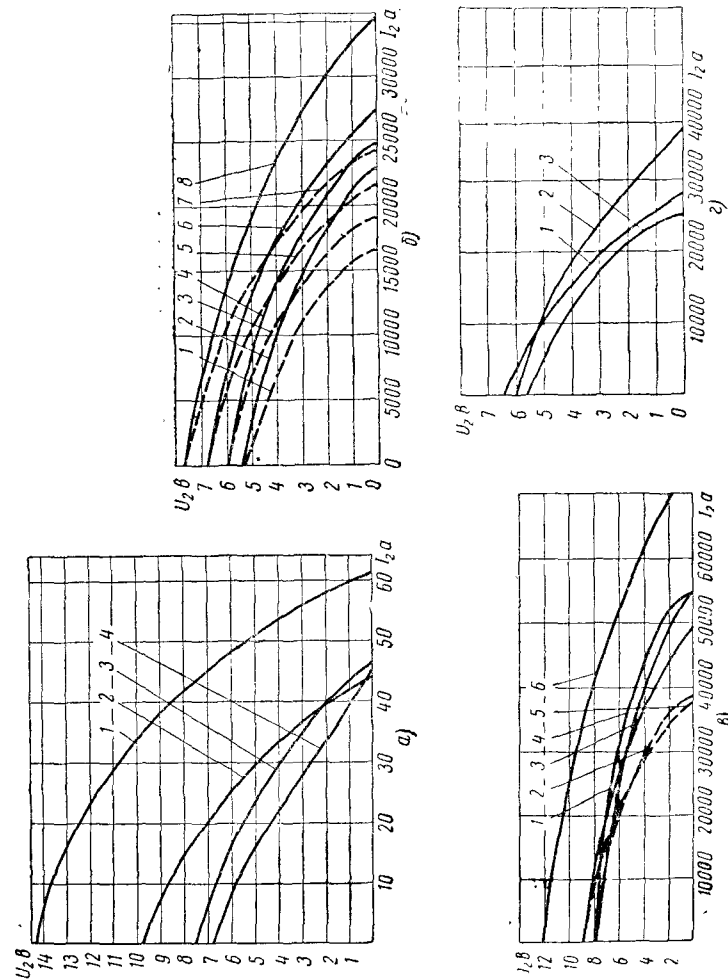
где R_2 — полное активное сопротивление вторичной цепи.

Контактные машины характеризуются относительно низким $\cos \varphi_2$, который в значительной степени зависит от типа машины и главным образом от конструкции и размеров контура сварочной цепи.

Внешней характеристикой контактных машин называется зависимость между рабочим током и напряжением. На фиг. 2 приведены внешние характеристики стандартных машин на номинальной (предпоследней) ступени: на фиг. 2, а — для стыковой сварки; 2, в — для точечной сварки; 2, г — для рельефной сварки; 2, з — для шовой сварки. Для точечных и рельефных машин внешние характеристики даны при различных расстояниях между консолями.

Некоторые энергетические показатели стандартных машин для контактной сварки приведены в табл. 2.

Фиг. 2. Внешние характеристики стандартных машин для стыковой, точечной, рельефной и шовой сварки: а — стыковые машины: 1 — МСТА-500 XV ст., $h = 135$ мм; 2 — МСТА-500 XV ст., $h = 45$ мм; 3 — МСМ-150 XV ст., $h = 18$ мм; 4 — МП-100-3 VII ст.; б — точечные машины: 1 — МП-7-9 VII ст., $h = 265$ мм; 2 — МП-75-9 VII ст., $h = 175$ мм; 3 — МП-100-3 XI ст., $h = 275$ мм; 4 — МП-100-3 VII ст., $h = 175$ мм; 5 — МП-150-3 VII ст., $h = 290$ мм; 6 — МП-150-3 VII ст., $h = 170$ мм; 7 — МП-200 XV ст., $h = 350$ мм; 8 — МП-200 XV ст., $h = 190$ мм; в — машины для рельефной сварки: 1 — МРП-200-6 XV ст., (точечный режим), $h = 600$ мм; 2 — МРП-200-6 XV ст., (тоочечный режим), $h = 190$ мм; 3 — МРП-300 VII ст. (рельефный режим); 4 — МРП-400 VII ст., $h = 300$ мм; 5 — МРП-400 VII ст. (точечный режим), $h = 140$ мм; 6 — МРП-600 XV ст.; 2 — шовные машины: 1 — МПШ-150-6 VII ст.; 2 — МПШ-150-6 VII ст.; 3 — МПШ-100-6 VII ст.



2. Некоторые энергетические показатели стандартных машин для автоматической контактной сварки

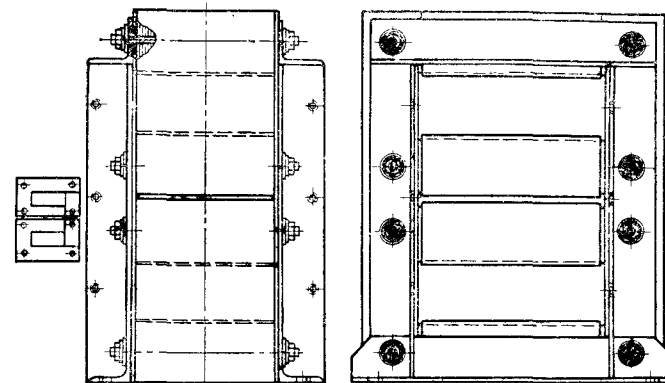
Тип	Степень	Максимальная толщина в мм или площадь поперечного сечения электрода, мм ²	Рабочий ток в а	Номинальная мощность в кВт	Полная мощность в кВт	К. п. д. в %	cos φ	Примечание
МТП-75-9	VII	3+3	19 300	31,8	53,4	59,5	0,51	Раствор консолей $h = 265$ мм
МТП-100-3	XV	4+4	21 600	32,7	67,8	48	0,49	Раствор консолей $h = 275$ мм
МТП-150-3	VII	5+5	27 000	46,0	100	46	0,50	Раствор консолей $h = 290$ мм
МТП-200	XV	6+6	31 200	56,5	144	49	0,56	Раствор консолей $h = 190$ мм
МРП-300	VII	—	39 700	157	236	67	0,76	В режиме рельефной сварки
МРП-400	VII	8+8	37 500	70	186	38	0,55	В режиме точечной сварки $h = 60$ мм
МРП-600	XV	—	55 000	300	515	63	0,72	В режиме рельефной сварки
МТПГ-75-5	VII	1,5+1,5	8 600	8,7	70,5	12	0,83	При параллельном соединении вторичного витка
МТПГ-75-5	XV	1,5+1,5	14 000	23	218	11	0,81	При последовательном соединении вторичного витка
МТПГ-150	VII	4+4	11 400	9,2	88,5	10	0,80	При параллельном соединении вторичного витка
МТПГ-150	XV	4+4	18 000	22,7	280	8	0,82	При последовательном соединении вторичного витка
МШП-100-6	VII	1,5+1,5	20 000	46,4	83,5	54,5	0,70	—
МШП-150-6	VII	2+2	22 000	48,4	100	48	0,66	—
МШПБ-150-1	VII	2+2	26 000	67,6	105	64	0,68	—
МСР-100-3	VII	1000	11 000	60,5	81	75	0,97	—
МСМ-150	XV	750	11 000	72,6	84	86	0,98	Зазор между губками 18 мм
МСГА-300	XV	4000	11 000	94,3	106	89	0,97	Зазор между губками 45 мм
МСГА-500	XV	8000	24 000	288	344	84	0,96	Зазор между губками 135 мм

Примечание. Для стыковых машин параметры взяты при процессе оплавления.

Трансформаторы для контактных сварочных машин

В контактных машинах применяются два типа сварочных трансформаторов: стержневой и броневой. Магнитную цепь трансформатора стержневого типа составляют два продольных стержня, на которых располагаются обмотки и два поперечных (ядро). В сердечнике трансформатора броневое типа имеются три стержня. Средний стержень, на котором располагаются обмотки имеет сечение в 2 раза большее, чем каждый из крайних стержней. Наиболее широкое распространение имеют трансформаторы броневое типа.

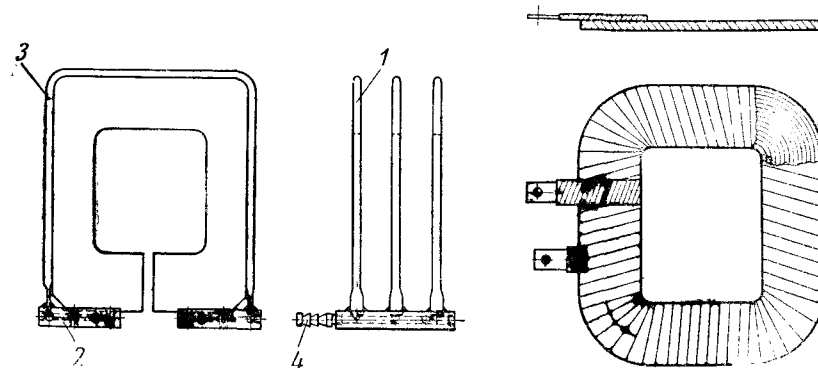
Сердечники трансформаторов изготавливаются из листовой электротехнической стали марок Э4, Э4А (трансформаторной) или Э1А (динамной) толщиной 0,5 мм. Применение П-образной штамповки позволяет уменьшить число воздушных зазоров до двух и получить благодаря рациональному раскрою листов значительную экономию активных материалов. При сборке сердечника



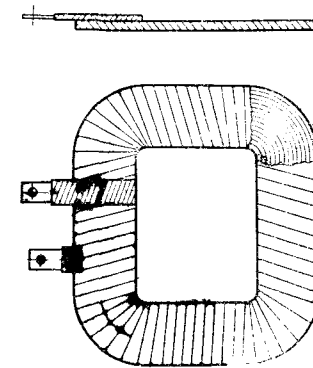
Фиг. 3. Сердечник трансформатора броневое типа.

трансформатора броневое типа (фиг. 3) из П-образных заготовок обмотка трансформатора насаживается на средний стержень двойного магнитопровода. После сборки сердечника оба пакета стягиваются двумя рамами.

Вторичная обмотка трансформаторов стационарных машин большей частью выполняется из одного витка. В трансформаторах серийных подвесных машин вторичная обмотка сделана из двух витков, которые могут



Фиг. 4. Вторичный виток сварочного трансформатора.



Фиг. 5. Дисковая катушка первичной обмотки.

быть соединены параллельно или последовательно для возможности повышения напряжения холостого хода до 20 в.

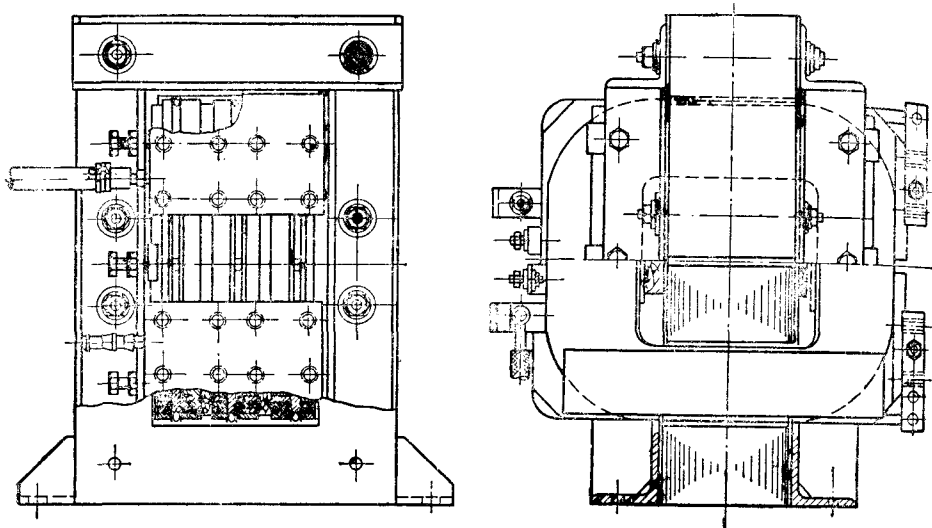
Для машин небольшой мощности вторичный виток трансформатора выполняется из гибких медных полос толщиной 0,2—0,5 мм.

На машинах от 25 кВА и выше вторичный виток (фиг. 4) выполняется из медных листов 1 толщиной 6—10 мм. К листам привариваются соединяющие их параллельно медные контактные колодки 2. Медные листы и контактные

катушки охлаждаются проточной водой, которая через ниппель 4 подается в рубки 3, приваренные к наружным краям листов.

Первичные обмотки трансформаторов выполняются цилиндрическими в виде дисковых катушек (фиг. 5), изготовленных из прямоугольной меди. Число катушек зависит от конструкции и мощности трансформатора. В трансформаторах мощностью 75 *кВа* (фиг. 6) первичная обмотка состоит из шести дисковых катушек, а в трансформаторах повышенной мощности (400—600 *кВа*) — из 12—16 катушек.

Для расчета трансформатора исходными данными являются: сварочный ток, вторичное напряжение холостого хода, напряжение питающей сети и режим работы.



Фиг. 6. Типовая конструкция сварочного трансформатора броневого типа

Сварочный ток определяется исходя из способа сварки, свойств и толщины материала свариваемых деталей и длительности времени сварки. Электродвижущая сила вторичной обмотки определяется из уравнения

$$E_2 = I_2 Z_2 = I_2 \sqrt{R_2^2 + X_2^2}.$$

Напряжение, число витков, магнитная индукция и сечение магнитной цепи трансформатора связаны уравнением

$$E = 4,44 f w S B \cdot 10^{-8},$$

где E — электродвижущая сила в *в*; f — частота переменного тока в *гц*; w — число витков; S — сечение активной стали в *см*²; B — индукция в *гс* (табл. 3).

Сечение сердечника для частоты тока 50 *гц* подсчитывается по формуле

$$S = \frac{10^8}{222} \cdot \frac{E}{Bw}.$$

Отношение толщины набранного пакета к ширине сердечника у стержневых трансформаторов берется от 1 до 2 и у броневых — от 0,7 до 1,8.

3. Применяемые значения индукций для сердечников из различных марок сталей

Марка стали	Ступени регулирования	Индукция сердечников в <i>гс</i>	
		для шовных машин	для точечных и стыковых машин
Э11	Номинальная	13 000	15 500
	Высшая	14 000	17 000
Э1	Номинальная	14 000	15 000
	Высшая	15 000	16 000
Э320	Номинальная	15 000	18 000
	Высшая	16 500	20 000

Число витков первичной обмотки сварочных трансформаторов для случая, когда вторичная обмотка состоит из одного витка, равно коэффициенту трансформации

$$w_1 = w_2 \frac{E_1}{E_2} = k_T,$$

где k_T — коэффициент трансформации.

Регулирование сварочного тока осуществляется ступенями путем секционирования первичной обмотки. Пределы регулирования определяются отношением наибольшего вторичного напряжения к наименьшему.

Для серийных машин это отношение составляет около 2, а количество ступеней регулирования от 4 до 16.

Сечение провода первичной обмотки рассчитывается по эквивалентному длительному току $I_{1s} = I_1 \sqrt{\frac{ПВ}{100}}$ и по допустимой плотности тока.

В зависимости от поверхности охлаждения плотность тока для провода первичной обмотки принимается от 1,2 до 1,7 *а/мм*².

При увеличенных воздушных каналах между катушками плотность тока может быть увеличена до 1,8—2,0 *а/мм*².

Для дисковых катушек, плотно прижатых к охлаждаемому водой вторичному витку, плотность тока может быть увеличена до 2,8—3,2 *а/мм*².

Сечение вторичного витка трансформатора рассчитывается по номинальному эквивалентному длительному вторичному току

$$I_{2s} = I_2 \sqrt{\frac{ПВ}{100}}.$$

Общее сечение вторичного витка

$$S_2 = \frac{I_{2a}}{j_2},$$

где j_2 — плотность тока в а/мм^2 ; S_2 — сечение вторичного витка в мм^2 ; I_{2a} — эквивалентный вторичный ток в а (табл. 4).

4. Значения допустимых плотностей тока для различных конструктивных исполнений вторичного витка

Конструктивное исполнение	Допустимая плотность тока в а/мм^2
Неохлаждаемый виток из гибких шин, набранных из медных полос	1,7—2,1
Неохлаждаемый виток из медных листов	1,5—2,1
Литой медный виток с водяным охлаждением	3,5—4,0
Литой алюминиевый виток с водяным охлаждением	1,5—2,0
Виток из медных листов, охлаждаемых проточной водой	4,5—5,5
Виток из медных труб, охлаждаемых проточной водой	6—8

Намагничивающий ток (реактивная составляющая тока холостого хода) определяется по формуле

$$I_p = \frac{awl_m + 0,8 n \delta B}{\sqrt{2} w_1},$$

где aw — удельные ампер-витки; l_m — средняя длина магнитных линий в см ; n — число зазоров в магнитной цепи; δ — величина каждого зазора в см ; w_1 — количество витков первичной обмотки для той ступени регулирования, при которой вычислялось соответствующее значение B в гс .

Величина зазора δ при сборке сердечника из листов внахлестку принимается равной $0,004 \div 0,006 \text{ см}$.

Активная составляющая тока холостого хода I_a определяется по потерям в железе сердечника

$$I_a = \frac{P_{cm}}{E_1};$$

$$P_{cm} = k_{cm} p G;$$

где P_{cm} — потери мощности в железе сердечника в вт ; p — удельные потери, зависящие от магнитной индукции и марки применяемой стали, в вт/кг ; G — вес сердечника в кг ; k_{cm} — коэффициент, зависящий от качества подготовленных листов стали; берется в пределах от 1,1 до 1,2.

$$\text{Ток холостого хода } I_0 = \sqrt{I_p^2 + I_a^2}.$$

Для номинальной ступени регулирования ток холостого хода не должен превосходить 10% от номинального тока.

Номинальная мощность, потребляемая из сети при номинальной нагрузке первичной обмотки трансформатора.

$$U_1 I_1 \cos \varphi_1 \approx U_2 I_2 \cos \varphi_2 + P_{cm} + P_{об},$$

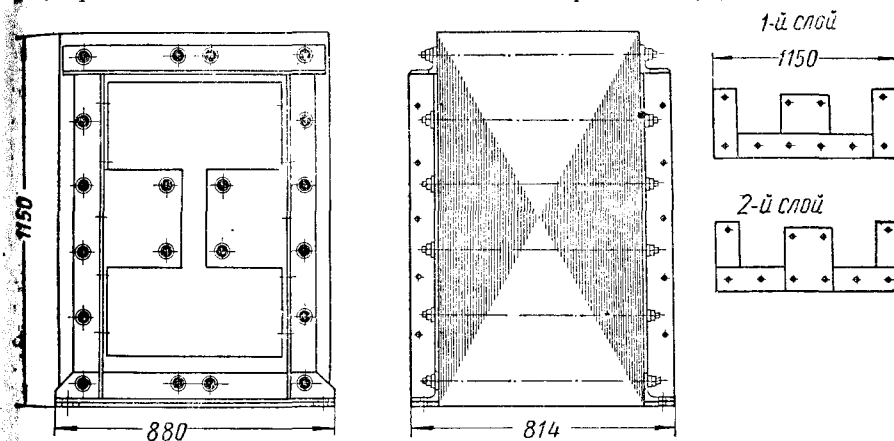
где P_{cm} — потери мощности в магнитной цепи в вт ;
 $P_{об}$ — потери мощности в обмотках в вт .

К. п. д. трансформатора

$$\eta_{mp} = \frac{E_2 I_2 \cos \varphi_2}{E_2 I_2 \cos \varphi_2 + P_{cm} + P_{об}}.$$

К. п. д. в зависимости от мощности трансформаторов колеблется в пределах от 0,92 до 0,96, $\cos \varphi_2$ в основном определяется размерами вторичного контура машины и колеблется в пределах 0,3—0,7, $\cos \varphi_1$ несколько меньше $\cos \varphi_2$.

Расчет трансформаторов импульсных машин для сварки энергией, запасаемой в магнитном поле. Исходными данными для расчета трансформатора являются: полная энергия, запасаемая в трансформаторе, в вт-с ; максимальный ток в а ; сопротивление вторичной цепи в ом ; коэффициент самоиндукции внешнего контура в гн ; выпрямленное первичное напряжение в в ; ток зарядки в а ; производительность машины (количество сварок в минуту).



Фиг. 7. Сердечник трансформатора импульсной машины с аккумулярованием энергии в магнитном поле.

Расчет производится в следующем порядке: определяют число витков первичной обмотки w_1 при заданном числе витков вторичной обмотки w_2 , которое обычно принимается равным двум, так как при $w_2 = 1$ ухудшаются условия работы выключающего устройства, а при $w_2 = 3$ сглаживается пик вторичного тока.

$$w_1 = k_T w_2 = w_2 \sqrt{\frac{L_1}{L_2}} = w_2 \sqrt{\frac{2W}{I_a^2 L_2}},$$

где L_1 — индуктивность первичной обмотки трансформатора; L_2 — индуктивность вторичной цепи; I_a — ток зарядки; W — полная энергия, запасаемая в трансформаторе.

Задавшись значением индукции B , равным $16\,000 \div 18\,000 \text{ гс}$, находят сечение магнитопровода

$$S = \frac{2W \cdot 10^8}{w_1 I_a B} \text{ см}^2.$$

Расчет обмоток производится по плотности тока как и для трансформаторов переменного тока.

После определения размеров окна вычерчивается эскиз магнитопровода и определяется воздушный зазор. Сердечник трансформатора (фиг. 7) — бронзового

типа, так как при этом легче осуществить воздушный зазор и обеспечить достаточную связь между обмотками.

По эскизу находят среднюю длину магнитной линии и определяют ампер-витки, идущие на железо.

По полным ампер-виткам и ампер-виткам, идущим на железо, находят ампер-витки воздушного зазора

$$\delta = \frac{Aw_{\delta}}{0,8 B_{\delta}} = \frac{I_{2m} w_1 - Aw_{ж}}{0,8 \cdot B_{\delta}},$$

где Aw_{δ} — ампер-витки в воздушном зазоре; $Aw_{ж}$ — ампер-витки железа трансформатора; w_1 — число витков первичной обмотки трансформатора; B_{δ} — магнитная индукция воздушного зазора в гс.

Поверочным построением кривых магнитного потока Φ , как функции ампер-витков $\Phi = F(Aw)$, уточняют величину оптимального воздушного зазора.

После определения основных размеров трансформатора и машины по общим формулам находят величины L_2 , R_2 и, задавшись временем выключения, осуществяемого выключающими устройствами, проверяют величину максимального пика тока — I_{2m} .

$$I_{2m} = \frac{M_1}{R_2 t + L_2} I_1,$$

где I_1 — первичный ток зарядки; t — время выключения; M_1 — коэффициент взаимной индукции; R_2 и L_2 — сопротивление и индуктивность вторичной цепи.

Исходя из производительности машины, определяют время зарядки $t_{зар}$. По времени и току зарядки находят коэффициент форсировки, представляющий отношение

$$a = \frac{I_1}{I_{1уст}}.$$

Обычно значение a принимается равным $0,3 \div 0,6$. Если выбранное сечение первичной обмотки трансформатора не обеспечивает необходимого значения $I_{1уст}$, то производят его перерасчет, исходя из заданной величины $I_{1уст}$. После изменения сечения первичной обмотки дополнительной проверки пика тока не требуется.

Расчет трансформаторов импульсных машин для сварки энергией, запасаемой в электростатическом поле. Исходными данными для расчета трансформатора являются: полная энергия, запасаемая в конденсаторах в $вт-с$; первичное напряжение трансформатора в $в$; максимальный пик тока вторичной цепи в $а$; сопротивление вторичного контура в $ом$; индуктивность вторичного контура в $гн$.

Исходя из полной энергии, запасенной в конденсаторах, и первичного напряжения трансформатора, находят емкость батарей

$$C_0 = \frac{2W}{U_1^2}.$$

Задаваясь числом витков вторичной обмотки w_2 , находят число витков первичной обмотки

$$w_1 = w_2 k_T = w_2 \frac{2 \cdot \cos \varphi}{R_2 \sqrt{\frac{C_0}{L_2}}}.$$

Значение $\cos \varphi$ находят из соотношения

$$\varphi \operatorname{ctg} \varphi = t \delta,$$

где t — время от начала разряда до первичного импульса тока, равное $\approx (12 \div 15) \cdot 10^{-3}$ сек. и $\delta = \frac{R_2}{2 L_2}$.

Сечение железа трансформатора определяется исходя из условий разряда конденсатора. При изменении полярности включения конденсаторов сечение стали магнитопровода может быть уменьшено. Поэтому расчет магнитопровода производят исходя из изменения полярности включения конденсаторов при сварке каждой точки. Тогда $B_{m0} = B_m + B_0$ при $B_m = 18\,000$ гс и $B_0 = 5500$ гс. Максимальное изменение потока трансформатора при разряде

$$\Phi_{\Delta m} = U_1 \sqrt{\frac{C_0}{L_2}} [e^{-(\pi - \varphi)} \operatorname{ctg} \varphi + 2 \cos \varphi].$$

Сечение железа трансформатора

$$S_{cm} = \frac{\Phi_{\Delta m}}{B_m}.$$

Расчет обмоток трансформатора производится по плотностям тока так же, как и для трансформаторов переменного тока.

В заключение проверяют пик сварочного тока:

$$I_{2m} = U_1 \sqrt{\frac{C_0}{L_2}} e^{-\varphi \operatorname{ctg} \varphi}.$$

Расчет трансформаторов к машинам для сварки импульсом постоянного тока. Исходными данными для расчета трансформатора являются: первичное напряжение в $в$; максимальный вторичный ток в $а$; сопротивление вторичной цепи в $ом$; индуктивность вторичной цепи в $гн$; время включения $t_{вкл}$, равное времени сварки, в сек.

Расчет производится в следующей последовательности. По заданному максимальному току I_{2m} и сопротивлению вторичной цепи R_2 находят $U_2 = I_{2m} R_2$.

Задавшись числом витков вторичной обмотки w_2 , находят число витков первичной обмотки

$$w_1 = w_2 \frac{U_1}{U_2}.$$

Задавшись индукцией в сердечнике в пределах $15\,000$ — $16\,000$ гс и выбрав соответствующую схему включения (с переменной полярности на первичной стороне или без нее), из формулы

$$t_{вкл} \approx \frac{1,2 S_{cm} (B_0 + B_m)}{U_1} w_1$$

находят сечение магнитопровода. Значение B_0 берется равным $5000 \div 5500$ гс. Расчет сечений обмотки производится исходя из допустимых плотностей тока в режиме работы трансформатора.

Имея сечение сердечника и обмоток, производят компоновку трансформатора.

Проведя расчет всех сопротивлений машины, проверяют максимальное значение вторичного тока по формуле

$$I_{2m} = \frac{w_1}{w_2} \cdot \frac{U_1}{\sum R_1},$$

где $\sum R_1$ — полное сопротивление машины.

В табл. 5 приведены некоторые технические данные типовых сварочных трансформаторов стандартных машин и трансформаторов машин импульсной сварки.

6. Технические данные типовых сварочных трансформаторов контактных машин

Тип	Мощность в кВт	ПВ в %	Число ступеней	Расчетный ток короткого замыкания в А		Вторичное напряжение в В		Число катушек		Медь первичной обмотки		Медь вторичной обмотки		Сердечник		
				первичный	вторичный	первичное	вторичное	первичных	вторичных	размеры в мм	вес в кг	размеры в мм	вес в кг	толщина пакета в мм	сечение пака в мм ²	вес в кг
TK-1305	75	20	8	197,5	13 000	3,12—6,24	6	3	3	1,68×10,0 2,44×10,8 1,68×10,0	6,8 8,5 6,4	6	16,25	120	164	92
TK-1606	107	20	16	282	16 000	3,4—6,8	6	3	3	4,7×10,0 3,28×10,0 1,45×15,6	8,2 7,8 10,6	10	22,5	150	205	115
TK-2008	160	20	16	422	20 000	4,05—8,1	6	3	3	3,28×10,8 4,7×10,8 2,44×14,5	11,2 11,6 15,6	8	25,2	140	240	169
TK-2408	210	20	16	552	24 000	4,42—8,85	8	4	4	4,7×12,5 2,63×12,5 5,5×8 5,5×8	9,8 18,5 9,6 8,6	8	34,1	150	257	182
TK-3209	300	20	16	730	32 000	4,87—9,76	8	4	4	4,7×14,5 3,8×10,8 3,28×14,5 4,7×14,5	15,0 11,2 17,6 17,6	10	48,05	160	274	234

Трансформаторы для стандартных машин

Тип	Мощность в кВт	ПВ в %	Число ступеней	Расчетный ток короткого замыкания в А		Вторичное напряжение в В		Число катушек		Медь первичной обмотки		Медь вторичной обмотки		Сердечник		
				первичный	вторичный	первичное	вторичное	первичных	вторичных	размеры в мм	вес в кг	размеры в мм	вес в кг	толщина пакета в мм	сечение пака в мм ²	вес в кг
TK-4002	425	20	16	1120	40 000	5,42—10,84	10	5	5	3,53×13,5 4,7×12,5 4,7×14,5 3,53×13,5	16,8 16,0 18,5 33,2	10	50,16	180	308	263
TK-4413	600	20	16	1580	44 000	6,8—13,6	12	6	6	4,7×14,5 4,7×10,8 4,1×16,8	32,8 29,0 42,8	10	77,2	220	376	376
TK-10007	750	3	8	1970	100 000	4,13—8,26	10	5	5	4,4×14,5 2,44×10,8 4,7×14,5	15,6 25,2 31,2	10	69,4	130	222	189

Трансформаторы для импульсных машин																
TKH-300	300	5,5	20	770	65 000	2,32—6,35	8	4	4	3,53×14,5 2,1×30,0 2,63×12,5	9,3 11,1 14,8	18	316	580	2000	2770
TKH-450	450	5,5	20	1150	85 000	2,77—7,57	8	4	4	3,53×12,5 2,44×18,0 5,1×9,3	14,0 19,0 21,2	18	472	750	3310	5170
TKH-600	550	6,5	20	1400	87 000	2,94—8,0	6	3	3	5,5×22 4,1×35 1,81×35	28,4 44,0 39,6	25	796	720	2500	3900

АППАРАТУРА УПРАВЛЕНИЯ КОНТАКТНЫХ МАШИН

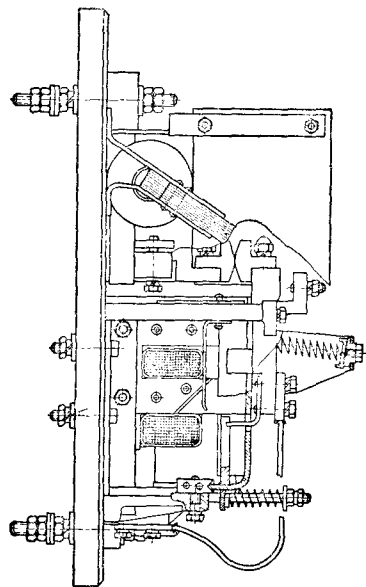
Включающие устройства

Для включения и выключения сварочного тока в контактных машинах применяются механические выключатели, электромагнитные (асинхронные и синхронизированные) контакторы и игнитронные размыкатели.

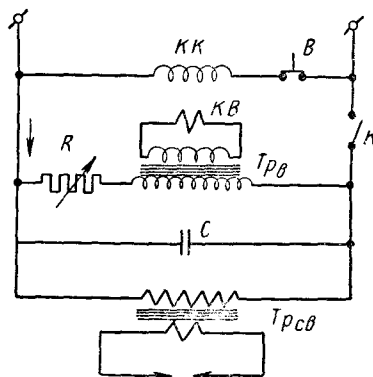
Механические выключатели применяются преимущественно на стыковых и точечных машинах неавтоматического действия небольшой мощности. Включение и выключение тока осуществляется асинхронно.

Электромагнитные контакторы асинхронного действия рассчитываются на число включений до 300 в час и применяются преимущественно на машинах для стыковой, точечной и роликовой сварки с частотой не выше 5—6 включений в минуту.

Синхронизированные электромагнитные контакторы рассчитываются на токи в пределах от 100 до 500 а с частотой до 100 включений в минуту. Синхронизированные контакторы (фиг. 8) отличаются от асинхронных, тем что они



Фиг. 8. Общий вид синхронизированного электромагнитного контактора.



Фиг. 9. Принципиальная электрическая схема синхронизированного электромагнитного контактора.

снабжены дополнительным устройством, обеспечивающим размыкание контакторов в момент перехода тока через нуль. Регулирование момента размыкания контактора осуществляется с помощью короткозамкнутого витка, расположенного на сердечнике электромагнита, возбуждаемого через вспомогательный трансформатор и контур из сопротивления и емкости.

Принципиальная электрическая схема синхронизированного контактора приведена на фиг. 9. При замыкании кнопки В в основной катушке КК контактора К возбуждается магнитный поток, включающий в сеть первичную обмотку сварочного трансформатора $Tr_{св}$. Одновременно включается первичная обмотка вспомогательного трансформатора $Tr_{ав}$, вторичная обмотка которого присоединена к короткозамкнутому витку КВ. Ток катушки контактора I_K и ток короткозамкнутого витка I_{κ} , а также возбуждаемые им магнитные потоки не совпадают по фазе.

В момент размыкания кнопки В магнитный поток катушки контактора почти сразу снижается до нуля, а магнитный поток, создаваемый короткозамкнутым витком, продолжает притягивать якорь до тех пор пока он сам не доходит до нуля. Размыкание контактора будет происходить в момент, соответствующий

нулевому значению тока короткозамкнутого витка, независимо от момента размыкания цепи рабочей катушки контактора.

Для полного размыкания контактов требуется определенный промежуток времени, называемый постоянной времени контактора.

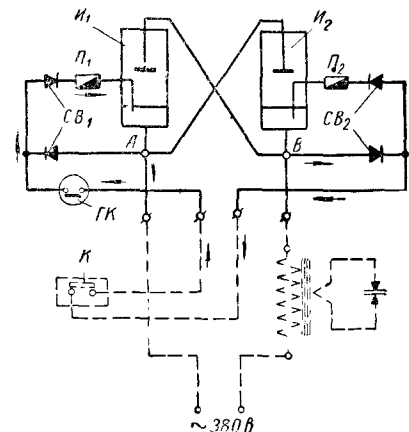
Настройку контактора производят путем регулирования натяга пружин, отжимающих ядро с подвижным контактом, а также изменением положения ползуна реостата R.

Игнитронные размыкатели позволяют при применении соответствующих реле управления производить не только синхронное выключение, но и синхронное включение сварочного тока.

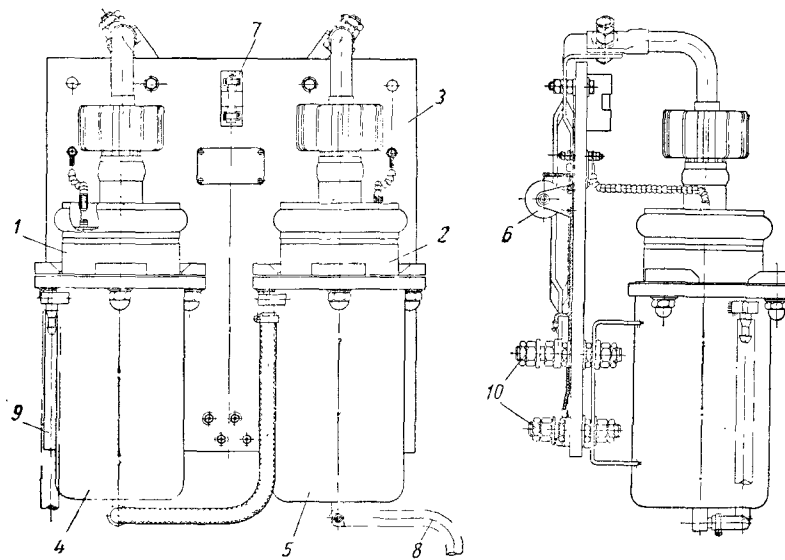
Игнитронные прерыватели обеспечивают безынерционную и бесшумную работу при отсутствии искрения и износа контактов, с выключением тока в момент перехода его через нулевые значения.

Принцип работы игнитронной лампы заключается в том, что после ее зажигания ток, проходящий через нее, прекращается лишь при уменьшении его до нулевого значения, независимо от момента размыкания цепи возбуждения.

Игнитронная лампа представляет собой металлический цилиндр со стеклянной верхней частью. В резервуаре лампы, из которого выкачан воздух, нахо-



Фиг. 10. Принципиальная электрическая схема игнитронного размыкателя.



Фиг. 11. Общий вид игнитронного размыкателя типа КИА.

дится ртутная ванночка — катод. В стеклянную часть герметически смонтированы графитовый анод и зажигающий. Зажигающий, выполненный из специального материала, слегка погружен в ртутную ванночку.

Схемой обеспечивается зажигание игнитрона лишь в тот период, когда анод имеет положительный потенциал. Для этой цели в ней предусматриваются соответствующим образом включенные выпрямители.

Принципиальная электрическая схема игнитронного размыкателя показана на фиг. 10. Схема состоит из двух игнитронов I_1 и I_2 , селеновых выпрямителей CB_1 и CB_2 , гидрокнопки $ГК$, пусковой кнопки K и предохранителей P_1 и P_2 . Прерыватель включается последовательно в цепь первичной обмотки трансформатора контактной машины.

Конструктивно игнитронный размыкатель (фиг. 11) представляет собой две игнитронные лампы 1 и 2, смонтированные на гетинаксовой панели 3. Лампы установлены в баки для охлаждения 4 и 5. На гетинаксовой плите расположены также селеновые выпрямители 6 и предохранители 7. Вода для охлаждения подводится к лампам через шланг 8 и отводится через шланг 9. Подключение игнитронных прерывателей производится через болты 10.

6. Технические характеристики игнитронных размыкателей

Тип	Тип ламп	Первичное напряжение в в	Первичный ток в а	ШВ в %	Мощность в кка	Габаритные размеры в мм			Вес в кг
						ширина	глубина	высота	
КНА-20	И-20/1,5	380	200	20	72	280	198	300	7
КНА-50	И1-70/0,8		500		180	320	225	360	12
КНА-100	И1-140/0,8		1050		380	420	288	580	24
КНА-200	И1-350/0,8		1800		650	465	380	615	38

Регуляторы времени для точечной сварки

Регуляторы времени управляют последовательностью работы машины — опусканием электродов, приложением давления, включением и отключением сварочного тока, снятием давления и подъемом электродов, а также регулируют длительность нагрева.

Для регулирования длительности нагрева при сварке применяются контрольные устройства различных типов.

Контроль сварки осуществляется по количеству расходуемой электроэнергии, температуре нагрева свариваемого изделия и длительности прохождения сварочного тока.

Контроль расхода энергии осуществляется с помощью специального счетчика электроэнергии, включаемого в цепь первичной обмотки сварочного трансформатора. Диск счетчика при повороте на определенный угол, соответственно расходуемой энергии, размыкает контакты, выключающие цепь сварочного трансформатора.

Контроль температуры нагрева применяется преимущественно для изделий, требующих длительного времени сварки. Контроль осуществляется с помощью термопары, смонтированной в наконечник электрода. При достижении определенной температуры нагрева свариваемого материала термоэлектродвижущая сила, воздействуя на реле, выключает сварочный ток.

Контроль длительности прохождения сварочного тока осуществляется асинхронными регуляторами времени, механическими, электропневматическими и электронными, которые контролируют также последовательность операций цикла сварки, и синхронным игнитронным прерывателем тока. Контроль последовательности операций цикла сварки производится дополнительным электронным регулятором времени.

Механические регуляторы времени контролируют длительность времени сварки кулачковым приводом, получающим питание от электродвигателя. При вращении кулачка выступающая часть его нажимает на кнопку выключателя.

выступающего цепи катушки контактора. Длительность прохождения сварочного тока определяется длиной выступающей части кулачка и скоростью его вращения.

Электропневматические регуляторы времени контролируют длительность сварочного тока с помощью игельчатого клапана, которым регулируется время протекания воздуха из одной камеры регулятора в другую. Поворотом ручки можно установить необходимый период времени в пределах от 0,05 до 2 сек.

Электронные регуляторы времени (фиг. 12) — наиболее совершенный тип регуляторов, которыми снабжаются современные контактные машины¹. Регулятор времени типа РВЭ-7 представляет собой лампово-релейную систему, помощью которой устанавливают требуемую выдержку времени. В регуляторе имеются четыре электрические цепи выдержки времени, обеспечивающие упорядоченный цикл: «сжатие»

«сварка», «выдержка» и «пауза». Регулирование выдержки времени для каждого из этапов цикла сварки производится изменением напряжения зарядки конденсаторов, подводимого к этим цепям посредством регулируемых потенциометров. Выдержка времени всех операций регулируется в пределах от 0,04 до 1,4 сек., а для операции «сварка» — от 0,23 до 6,75 сек.

Регулятор питается от сети переменного тока напряжением 220 или 380 в через специальный трансформатор мощностью около 50 вт и включается путем замыкания педали.

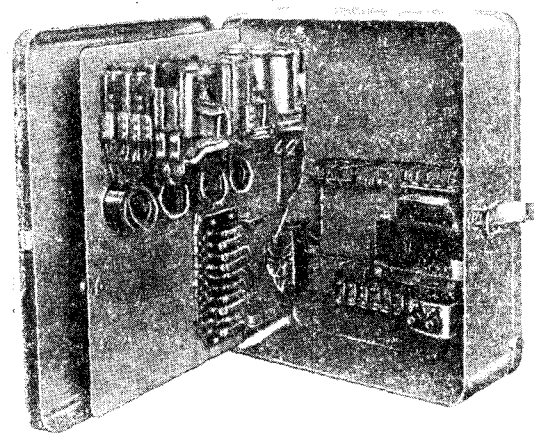
Управление приводом механизма сжатия машины производится через электромагнитный (пневматический или гидравлический) клапан, питаемый как постоянным, так и переменным током при напряжении 380 в.

Регулятор обеспечивает управление катушкой электромагнитного контактора мощностью до 250 вт при напряжении 380 в и цепью возбуждения игнитронов при токе до 15 а и напряжении 380 в.

Для получения пульсирующего режима точечной сварки применяются специальные регуляторы времени типа РВЭ-8. Регулятор РВЭ-8 представляет собой электронное устройство, включающее и выключающее цепь зажигания игнитронов, создавая в первичной обмотке сварочного трансформатора ряд импульсов с определенными интервалами между ними. Регулятор обеспечивает независимое регулирование длительности импульсов в пределах от 0,1 до 1,0 сек., паузы — от 0,1 до 1,0 сек. и общего времени пульсаций — от 0,3 до 6,0 сек. По истечении общего времени пульсаций сварочного тока, которое устанавливается регулятором РВЭ-8, включается продолжительный сварочный ток (без пульсаций), прерываемый регулятором времени РВЭ-7 или другим устройством, имеющимся на машине.

На точечных машинах типа МТП регулятор РВЭ-8 применяется в сочетании с регулятором времени РВЭ-7.

Синхронный игнитронный прерыватель для точечной сварки² состоит из двух игнитронных ламп, включенных встречно-параллельно между собой и последовательно с первичной обмоткой сварочного трансформатора.



Фиг. 12. Электронный регулятор времени типа РВЭ-7.

¹ Подробнее см. Кочановский Н. Я., Машины для контактной электросварки, Госэнергоиздат, М.-Л., 1954, стр. 44—52.

² Кочановский Н. Я., там же, стр. 53—61.

Последовательность зажигания пускательных ламп — включение тока в сварочный трансформатор — производится автоматически.

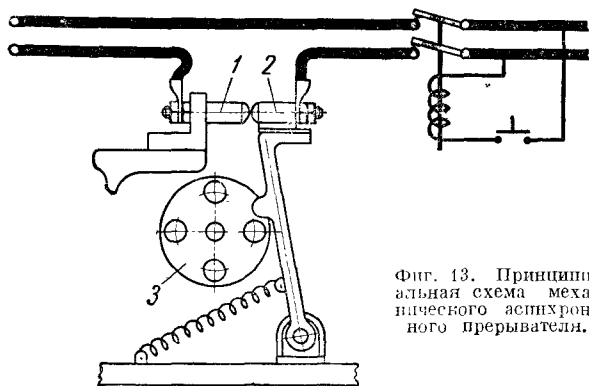
Прерыватель дает возможность регулировать продолжительность импульсов тока от 1 до 19 периодов через один период, а также продолжительность пропуска тока в течение каждого полупериода. Управление включением сварочного импульса производится с помощью регулятора времени, устанавливаемого на машинах для точечной сварки. При срабатывании регулятора времени прерыватель пропускает только один сварочный импульс заданной длительности.

7. Характеристика типовых синхронных пускательных прерывателей для точечной сварки

Технические данные	Тип прерывателя	
	ПИТ-50-1	ПИТ-100-1
Тип пускателя	И1-70/0,8	И1-140/0,8
Ток через пускатель при ПВ=20% в а . .	500	1050
Мощность при 220 в в квт	100	230
Мощность при 380 в в квт	180	400
Расход воды на охлаждение в л/мин . . .	3	4
Вес в кг	217	260
Габаритные размеры в мм:		
ширина	750	750
высота	1572	1772
глубина	570	630

Прерыватели для шовной сварки

Для получения прерывистой сварки применяются различные типы прерывателей: механические, синхронные и асинхронные, индукционные и пускательные.



Фиг. 13. Принципиальная схема механического асинхронного прерывателя.

Механические прерыватели выпускаются двух типов: кулачкового и барабанного. Замыкание и размыкание цепи в прерывателях кулачкового типа (фиг. 13) происходит на прижимных контактах 1 и 2, приводимых в колебательное движение с помощью кулачковой муфты 3.

Замыкание и размыкание цепи в прерывателях барабанного типа осуществляется с помощью щеток, скользящих по вращающемуся барабану, на котором расположены ламеллы из токопроводящего и изоляционного материала.

Индукционные прерыватели (фиг. 14) производят модулирование тока путем периодического введения в первичную обмотку сварочного трансформатора дополнительного сопротивления. Это сопротивление уменьшает величину тока до такого значения, при котором материал не успевает нагреваться до температуры сварки. Основными элементами индукционного прерывателя являются: сердечник 1 с расположенными на нем катушками 2 и якорь 3, приводимые во вращение двигателем 4 при помощи сменных шестерен 5. При вращении якоря изменяется зазор между сердечником и якорем, а соответственно и индуктивное сопротивление цепи первичной обмотки сварочного трансформатора. Частота модулирования зависит от скорости вращения якоря.

Пускательные прерыватели для шовной сварки обеспечивают синхронное включение и выключение тока со строго определенной длительностью импульсов и пауз. Длительность импульсов и пауз регулируется в пределах от 1 до 19 периодов через один период. Длительность прохождения тока регулируется также в течение одного полупериода.

8. Техническая характеристика синхронных пускательных прерывателей типа ПИШ

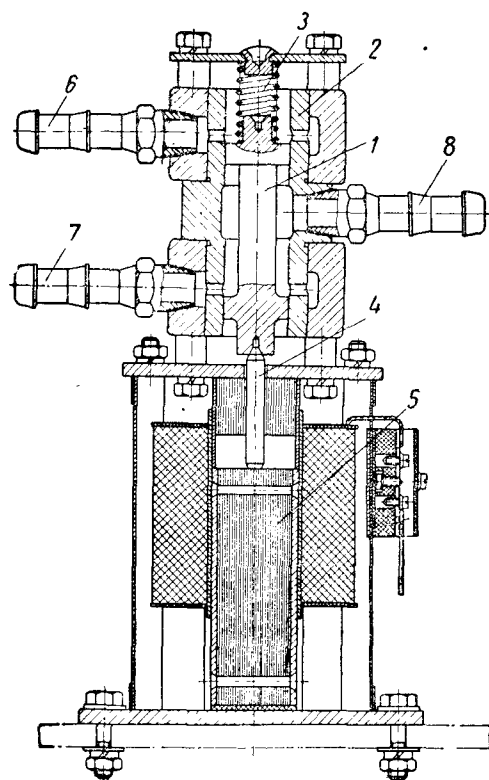
Тип прерывателя	Тип пускателя	Ток в а	Мощность в квт при напряжении в в		ПВ в %	Расход воды в л/мин	Вес в кг	Габаритные размеры в мм		
			220	380				ширина	высота	глубина
ПИШ-50-1	И1-70/0,8	200	40	75	50	3	217	750	1572	570
ПИШ-100-1	И1-140/0,8	400	80	150	50	4	260	750	1772	630
ПИШ-200-1	И1-350/0,8	800	160	300	50	8	280	750	1772	630

Схема типа ПИШ аналогична схеме прерывателей для точечной сварки и отличается от нее только построением триггерной части 1.

Пневматическая аппаратура управления

Для управления пневматическими механизмами сжатия машины применяются электропневматические клапаны, редукторы давления, дросселирующие клапаны и лубрикаторы.

¹ Подробнее см. Кочановский Н. Я., Машины для контактной электросварки, Госэнергоиздат, М.-Л., 1954, стр. 61—67.

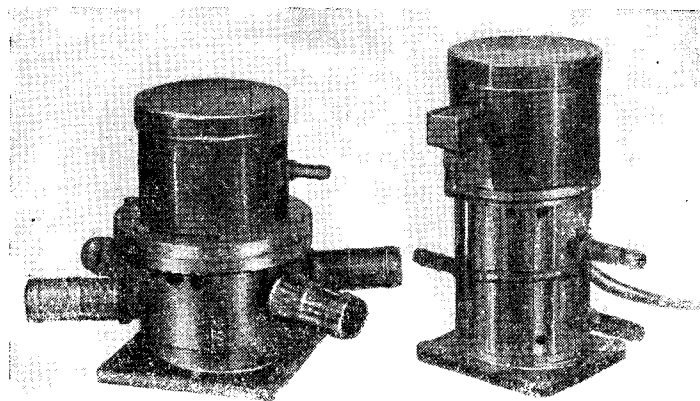


Фиг. 15. Электропневматический клапан ЭПК-6.

Электропневматические клапаны предназначены для впуска и выпуска сжатого воздуха в камеры пневматических цилиндров. Наиболее широкое применение имеет двухходовой электропневматический клапан ЭПК-6 (фиг. 15). Клапан работает от сети переменного тока, напряжением 220 или 380 в. Стальной плунжер 1 перемещается внутри стальной втулки 2. Втулка имеет ряд отверстий и каналов для распределения воздуха. С одного конца плунжер находится под воздействием пружины 3, перемещающей его в нижнее положение. Второй конец его упирается в штифт 4, связанный с якорем электромагнита 5. Сжатый воздух из сети подается через ниппели 6 и 7 в одну из камер пневматического цилиндра; вторая камера при этом соединена через ниппель 8 с атмосферой.

Клапан рассчитан на работу машины производительностью до 120 ход/мин. При рабочем напряжении 380 в переменного тока пусковой ток катушки клапана 3,5 а установившийся — 0,6 а.

Клапаны типа КПЭМ (фиг. 16) изготавливаются на напряжение переменного тока 36, 220 и 380 в и в настоящее время применяются на всех машинах для контактной сварки.



Фиг. 16. Электропневматический клапан типа КПЭМ.

Корпус клапана имеет три проходных отверстия для рабочего потока воздуха и две группы выхлопных отверстий для соединения отработанного воздуха с атмосферой.

В верхней части корпуса укреплены электромагнит и шариковый клапан.

Технические данные клапана приведены в табл. 9.

9. Технические данные клапана КПЭМ

Тип клапана	Диаметр проходного отверстия в мм	Максимальное время срабатывания в сек.	Наибольшее количество срабатываний в минуту	Вес в кг
КПЭМ-10	10	0,04—0,06	200	4,5
КПЭМ-10-1				3
КПЭМ-10-2				
КПЭМ-15	15			4,5
КПЭМ-15-1				3
КПЭМ-15-2				
КПЭМ-19	2×19	0,15—0,2	100	7,8
КПЭМ-19-1				5,2
КПЭМ-25	2×25			7,8
КПЭМ-25-1				5,8

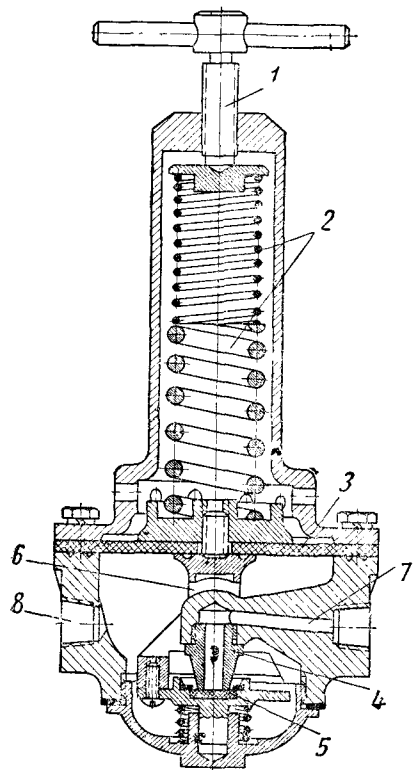
Пневматические редукторы (фиг. 17) применяются для регулирования давления сжатого воздуха до 6 кг/см².

Элементами редуктора являются: винт 1 для регулирования давления; пружина 2; резиновая мембрана 3; сопло 4; резиновая шайба 5, связанная с мембраной через хомутик 6. Сжатый воздух подается через канал 7, а канал 8 соединяется с элементами пневматической сети машины. При сжатой пружине 2 мембрана 3 выгибается внутрь корпуса редуктора и открывает доступ сжатому воздуху через сопло 4 в пневматическую систему машины. При увеличении

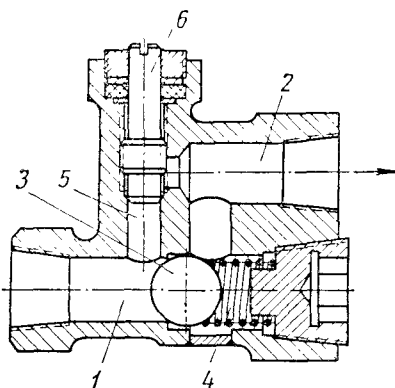
давления в пневматических элементах машины будет увеличиваться давление и в камере редуктора. Подача воздуха прекратится, когда давление пружины будет уравновешено давлением сжатого воздуха, действующего на мембрану. При изменении давления в пневматических элементах машины будет изменяться и давление, действующее на мембрану; соответственно будет открываться или закрываться доступ сжатого воздуха, подаваемого через сопло 4.

Дросселирующие клапаны (фиг. 18) применяются для смягчения ударов, которые могут возникнуть во время зажатия электродами свариваемых деталей. Клапан легко пропускает воздух в одном направлении и тормозит его выход в противоположном. При направлении, указанном на фиг. 18 стрелкой, воздух будет свободно проходить через канал 1 и выходить через канал 2. Шарик 3, закрывающий канал 2, не оказывает большого сопротивления прохождению воздуха вследствие слабого усилия пружины 4. При обратном направлении движения воздуха канал 2 будет закрыт шариком и воздух будет проходить через канал 5, степень открытия отверстия которого регулируется винтом 6. Изменяя степень открытия отверстия, изменяют скорость выхода воздуха.

Лубрикатеры (фиг. 19) предназначены для смазки манжет пневматического цилиндра и электропневматического клапана. Лубрикатер соединяется



Фиг. 17. Пневматический редуктор.

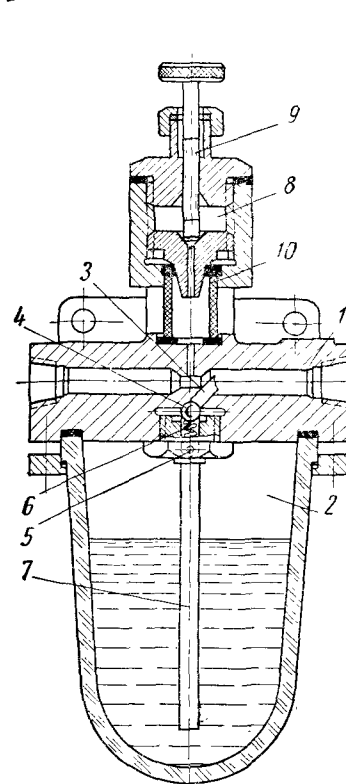


Фиг. 18. Дросселирующий клапан.

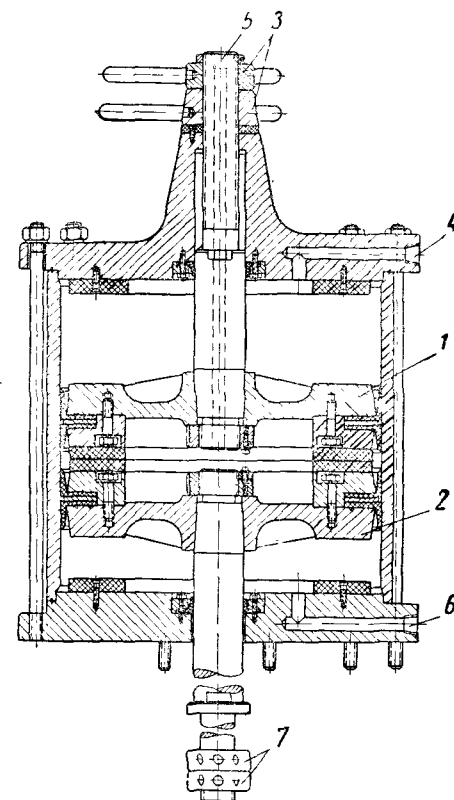
с клапаном последовательно. Во время работы машины сжатый воздух проходит через канал 1 в направлении, указанном стрелкой. По трубке 3, закрытой шариком 4, прижимаемым пружиной 6, через отверстие 5 воздух попадает в камеру лубрикатера 2. Создаваемое в камере 2 давление заставляет масло подниматься по трубке 7 в камеру клапана 8 и из нее отдельными каплями стекать в канал 1. Под действием сжатого воздуха масло распыляется и вместе с воздухом поступает в соответствующие элементы машины. Количество подаваемого масла регулируется винтом 9; наблюдение ведется через прозрачную втулку 10.

Пневматический цилиндр (фиг. 20) двухпоршневого типа применяется для создания давления на электродах в современных точечных машинах мощностью от 75 до 600 кВа. Верхний поршень 1 предназначен для регулирования рабочего хода нижнего поршня 2, связанного с верхним электродом. Крайнее нижнее положение поршня 1 регулируется гайками 3.

Для удержания поршня 1 в нижнем положении в верхнюю камеру цилиндра через канал 4 подается сжатый воздух под давлением несколько большим, чем воздух, подаваемый в рабочие камеры поршня 2.



Фиг. 19. Лубрикатер.



Фиг. 20. Пневматический цилиндр.

Для опускания поршня 2 воздух подается через канал 5, а для подъема — через канал 6. Шток нижнего поршня крепится к ползуну гайками 7.

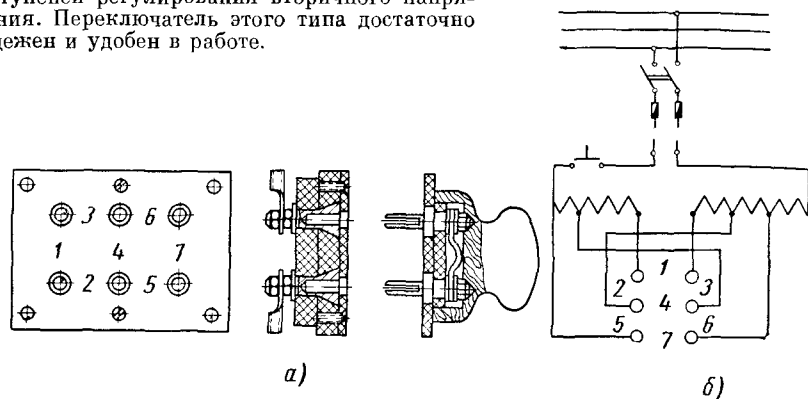
Переключатели ступеней

Для ступенчатого регулирования мощности трансформаторов с секционированными первичными обмотками применяются секционные, штепсельные, пластинчатые, втычные, скользящие, поворотные и барабанные переключатели.

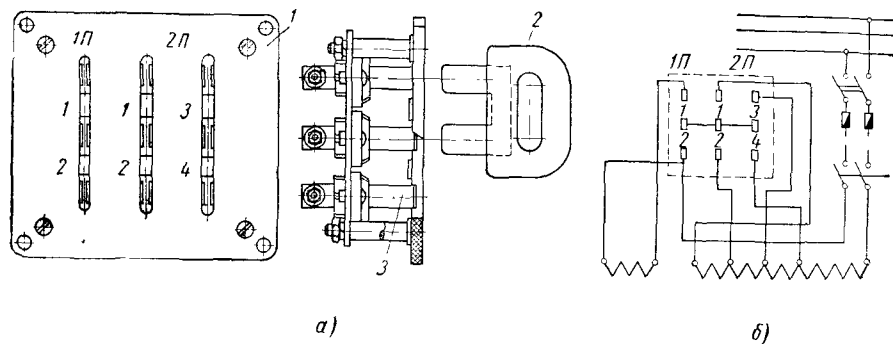
Штепсельные переключатели (фиг. 21, а) применяются в машинах небольшой мощности до 10 кВа для 4—7 ступеней регулирования. Недостатком этих переключателей является ненадежность контактов из-за жесткости круглых штырей и гнезд и из-за опасности заклинивания вилки в гнездах. На фиг. 21, б приведена схема секционирования первичной обмотки.

Секционный втычной переключатель ПВ-200 (фиг. 22, а) применяется на серийных точечных, рельефных, шовных и стыковых машинах мощностью от 75 до 200 кВа. Контактная часть переключателя смонтирована на гетинаксовой плите 1 в которой сделаны прорезы для вилки 2 ножевого типа. Ножи

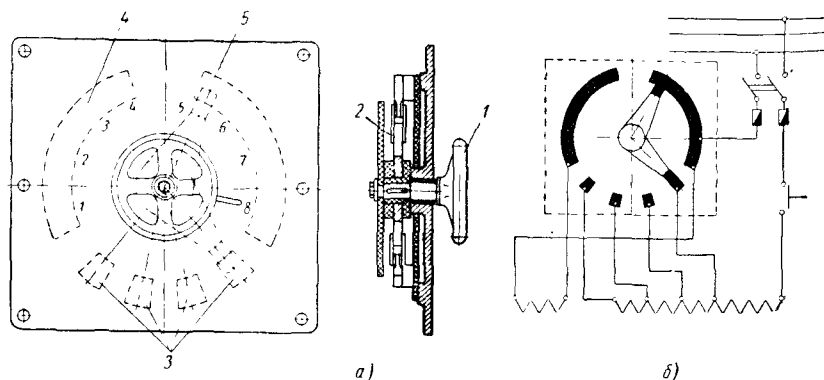
переключателя вводятся в прорези детали 1 и замыкают медные пружинящие пластинки 3 контактного соединения. Перестановкой двух вилок осуществляют 8 ступеней регулирования вторичного напряжения. Переключатель этого типа достаточно надежен и удобен в работе.



Фиг. 21. Штепсельный переключатель ступеней.



Фиг. 22. Втычной переключатель ступеней.

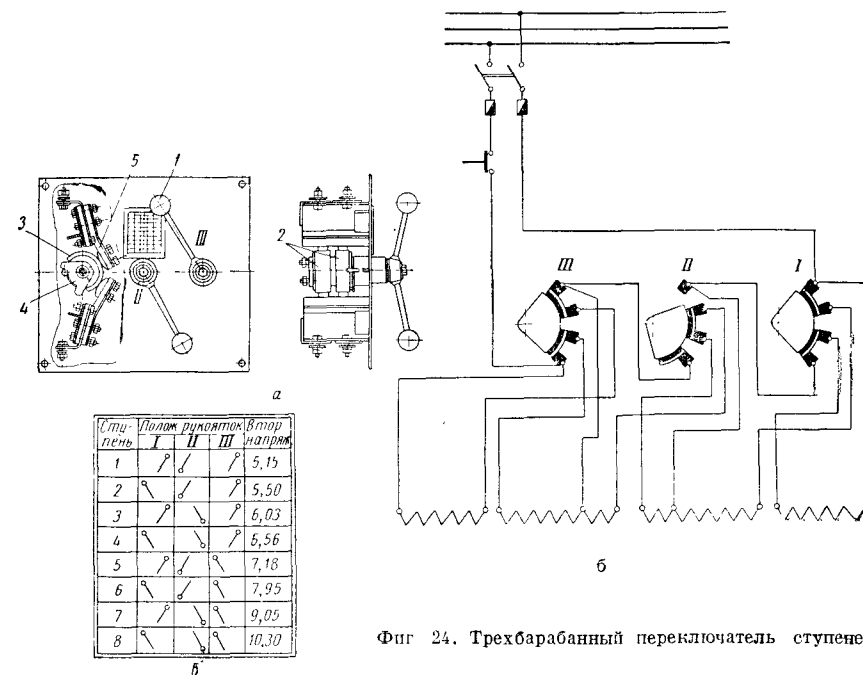


Фиг. 23. Поворотный переключатель ступеней.

Схема соединения первичной обмотки сварочного трансформатора, в которой используется переключатель типа ПВ-200, приведена на фиг. 22, б.

Секционный поворотный переключатель (фиг. 23, а) типа П-500 применяется для машин мощностью свыше 100 *квa*. Переключатель рассчитан на 8 ступеней регулирования. Поворотом маховичка 1 контактные пластины 3 поочередно замыкаются на соответствующую ступень контактнымижимами 2 с ламелями 4 и 5. Контактные пластины и ламели соединены по схеме фиг. 23, б.

Трехбарабанный переключатель (фиг. 24, а) применяется для машин мощностью до 400 *квa*. Переключатель имеет три рукоятки 1, на оси которых жестко



Фиг. 24. Трехбарабанный переключатель ступеней.

насажены контактные барабаны 2 из изоляционного материала. Каждый из барабанов снабжен контактными медными ламелями 3, вмонтированными в торец, и ограничителем поворота барабана 4. К барабану с помощью стальных пружин прижимаются четыре медных скользящих контакта 5.

Каждый барабан имеет два положения; при одном положении контакты соединяются между собой попарно, что обеспечивает параллельное соединение секций; при другом соединяются между собой средние два контакта, что соответствует последовательному соединению секций.

На фиг. 24, б показана принципиальная схема соединений секций первичной обмотки и на фиг. 24, в — положение рукояток барабанов для 8 ступеней регулирования вторичного напряжения.

МАШИНЫ ДЛЯ СТЫКОВОЙ СВАРКИ

Машины для стыковой сварки выпускаются мощностью от 0,75 до 1000 *квa* и выше и предназначены для сварки черных и цветных металлов и их сплавов. С помощью стыковых машин свариваются нити электроламп, составной инструмент, провода, цепи, трубы, обечайки металлической тары. широкие тонкие

листы, рельсы, арматура железобетонных конструкций, детали машин, автомобилей, велосипедов, изделий ширпотреба и т. д.

Машины для сварки сопротивлением рассчитаны преимущественно на соединение небольших деталей с круглым, квадратным и прямоугольным сечением и выпускаются двух видов — автоматического и неавтоматического действия. Серийные машины автоматического действия выпускаются мощностью от 0,75 до 25 *кв*а с пружинным механизмом сжатия, неавтоматического — мощностью до 250 *кв*а с рычажным и гидравлическим механизмом сжатия.

Машины для сварки непрерывным оплавлением и с подогревом выпускаются мощностью до 600 *квт* полуавтоматического и автоматического действия как с механическим, так и с гидравлическим механизмами сжатия.

В машинах полуавтоматического действия подогрев осуществляется с помощью рычажной системы и процесс оплавления производится автоматически. В машинах автоматического действия процесс подогрева и оплавления автоматизирован.

Машины мощностью от 100 до 300 *кв*а рассчитаны главным образом на сварку деталей относительно небольшой длины с применением упорных приспособлений, без которых зажимные приспособления этих машин не могут обеспечить надежное зажатие (без проскальзывания изделия во время осадки) при сварке деталей максимального размера для данного типа машин.

Машины мощностью от 300 до 600 *кв*а рассчитаны на сварку стержней неограниченной длины без применения упорных приспособлений и оборудованы зажимными приспособлениями, обеспечивающими надежное зажатие деталей.

Технические характеристики некоторых серийных стыковых машин приведены в табл. 10.

Стыковые машины малой мощности

Машины малой мощности до 25 *кв*а предназначены для сварки сопротивлением черных и цветных металлов.

Машина типа *МС-0,75* рассчитана на сварку проволоки из малоуглеродистой стали диаметром от 0,5 до 1,2 *мм* и медной от 0,4 до 1,0 *мм*.

Сварка осуществляется методом сопротивления при питании машины от сети переменного тока промышленной частоты. Процесс сварки (окончание нагрева) контролируется величиной осадки свариваемых деталей, т. е. выключение тока происходит в момент перемещения деталей при достижении определенной величины осадки. Включение тока производится вручную, кнопкой; выключение — автоматическое.

В машине предусмотрено устройство для термической обработки свариваемых деталей с регулируемым расстоянием между пружинными контактами, а также устройство для заторцовки и отрезки проволоки.

Отрезка или заторцовка осуществляются двумя дисковыми ножами. В дисках ножа имеются отверстия, соответствующие диапазону отрезаемой проволоки.

Стыковая машина типа *МС-3* предназначена для сварки малоуглеродистой проволоки диаметром от 0,8 до 3,5 *мм* и медной проволоки диаметром от 0,8 до 2 *мм*. По конструкции машина аналогична машине типа *МС-0,75* за исключением зажима деталей. В машине *МС-3* зажим осуществляется при помощи двух ножных педалей, связанных тягами с рычагами зажимных устройств.

Настольная стыковая машина типа *АСИФ-5* рассчитана на сварку стальной проволоки сечением до 60 *мм*² и деталей из цветных металлов — медных до 30 *мм*² и латунных до 50 *мм*².

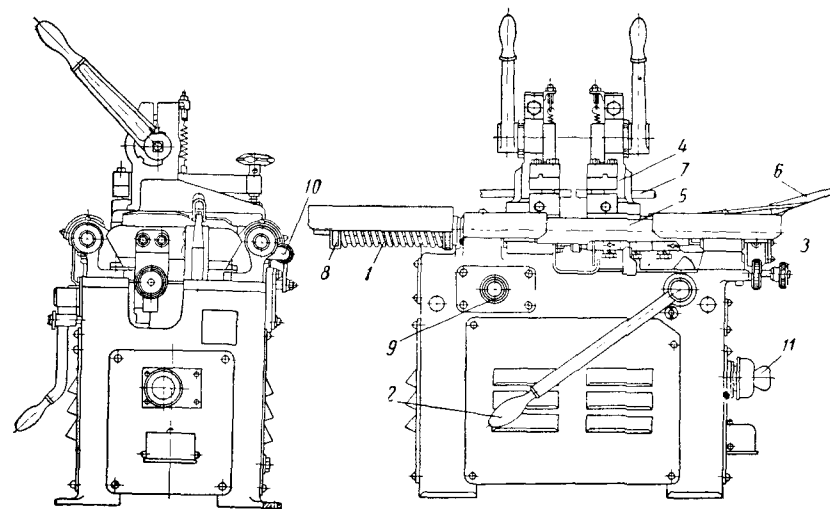
Машина (фиг. 25) имеет пружинный механизм подачи и эксцентриковые зажимные приспособления. Сжатие пружины 1, с помощью которой производится подача и осадка свариваемого изделия, осуществляется рычагом 2. На оси рычага укреплен эксцентрик. При повороте рычага эксцентрик, нажимая на упорный винт 3, связанный с подвижной плитой, разводит зажимные приспособления 4 и создает натяг пружины. Подвижная плита, расположенная на цилиндрических направляющих 5, удерживается в установленном положении защелкой 6. После установки и зажатия свариваемой детали 7 поворотом

10. Технические характеристики некоторых серийных стыковых машин

Наименование	Тип машины									
	МС-0,75	МС-3	АСИФ-5	АСИФ-50-У	АСИФ-75-У	МСП-100	МСМУ-150	МСА-800	МСА-500	
Номинальная мощность в <i>кв</i> а	0,75	3	5	25	75	100	150	300	500	
Номинальный ток в пер- вичной цепи в <i>а</i>	3,5	14	24	115	350	260	400	820	1320	
Ориентировочный наи- больший сварочный ток на номинальной ступени в <i>а</i>	600	1700	4550	9000	15000	16000	23000	30000	33000	
III в %	8	20	20	20	25	20	20	20	30	
Нерывное напряжение в %	380	380	220, 380	220, 380	220, 380	220, 380	220, 380	380	380	
Наибольшее свариваемое сечение малоуглеродистой стали при непрерывной ра- боте в <i>мм</i> ²	1,3	3,0	60	200	600	1000	1000	2500	3000	
Наибольшее свариваемое сечение малоуглеродистой стали при работе с пере- рысками в <i>мм</i> ²	—	—	100	300	1000	2500	2000	5000	8000	
Количество деталей в час при непрерывной работе	540	300	60	110	75	30	80	20	20	
Число ступеней регули- рования трансформатора	7	7	4	8	8	12	16	16	16	

Наименование	Тип машины										
	МС-0,75	МС-3	АСИФ-5	АСП-10	АСИФ-25-У	АСИФ-50-У	АСИФ-75-У	МСП-100	МСМУ-150	МСТА-300	МСТА-500
Пределы регулирования вторичного напряжения холостого хода в в	0,49—1,1	0,97—1,94	1,16—2,2	1,2—3,2	1,9—3,6	2,7—5,1	3,5—7,0	3,3—6,3	4,04—8,1	5,42—10,84	7,9—15,8
Привод подачи		Пружинный			Пружинный и рычажный	Рычажный			Электродвигательный с рычажной подачей	Гидравлический	
Наибольшее усилие осадки в кг	3	18	120	100	1000	3000	3000	5000	6500	25 000	25 000
Максимальный ход подачи в мм	5	8	14	15	20	30	30	40	20	170	170
Наибольшее расстояние между плитками в мм	5	10	38	15	50	80	80	80	100	200	200
Тип зажимных приспособлений	Пружинный	—	Экспандирующий	Рычажный	Экспандирующий	Рычажно-винтовой	Рычажно-винтовой	Рычажно-винтовой	Пневматический	Пневмо-гидравлический	
Наибольшее усилие зажима в кг	7	60	500	—	2000	3000	2000	2000	10 000	35 000	35 000
Характер подвода тока к колодкам зажимов						Односторонний					
Вес машины в кг	17	60	100	205	300	325	410	545	2000	7500	8000
Габаритные размеры в мм:											
высота	1120	1040	660	1275	1285	1100	1100	1050	1300	2210	2210
ширина	515	440	670	650	1110	560	600	1800	2000	3420	3590
глубина	610	650	400	635	1100	1103	1500	1410	1580	1600	1600

рычага освобождают эксцентрик и защелку. Торцовые поверхности свариваемых деталей под давлением пружины приходят в тесное соприкосновение. Усилие сжатия регулируется натягом пружин с помощью гаек 8. Сварочный ток включается кнопкой 9. В момент осадки, когда детали, нагретые до пластического состояния, под действием усилия пружин начнут осаживаться, произой-



Фиг. 25. Общий вид машины типа АСИФ-5 с пружинным механизмом подачи для стыковой сварки сопротивлением.

дет размыкание сварочной цепи конечным выключателем 10. В корпусе машины установлен сварочный трансформатор, первичная обмотка которого имеет ответвления для регулирования вторичного напряжения. Регулирование производится перестановкой вилки переключателя 11.

Стыковые машины средней мощности

Стыковые машины средней мощности предназначены для сварки сопротивлением и оплавлением преимущественно черных металлов. Машины типа АСИФ-50, АСИФ-75 и МСП-100 с рычажным приводом подачи рассчитаны на автоматическую сварку сопротивлением и оплавлением, а машины с приводом от электродвигателя типа МСМУ-150 — на автоматическую сварку оплавлением.

Машины типа МСП-100, так же как и машины типа АСИФ, имеют цилиндрические направляющие относительно большой длины, благодаря которой достигается плавная работа механизма подачи. Машины выпускаются с винтовыми, рычажными или пневматическими зажимными приспособлениями.

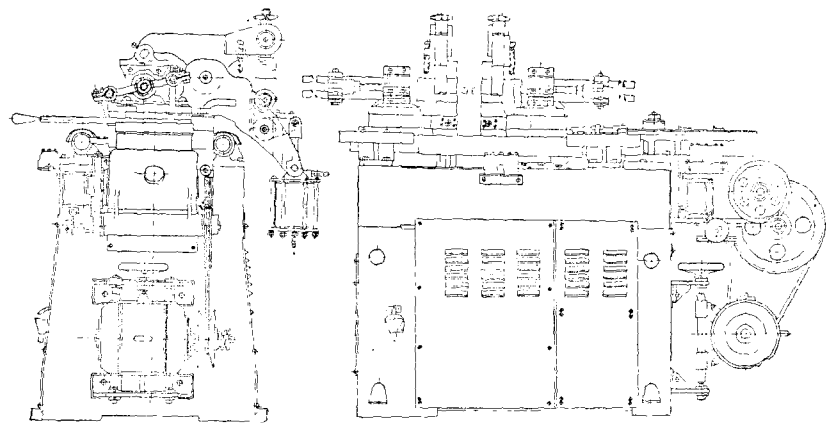
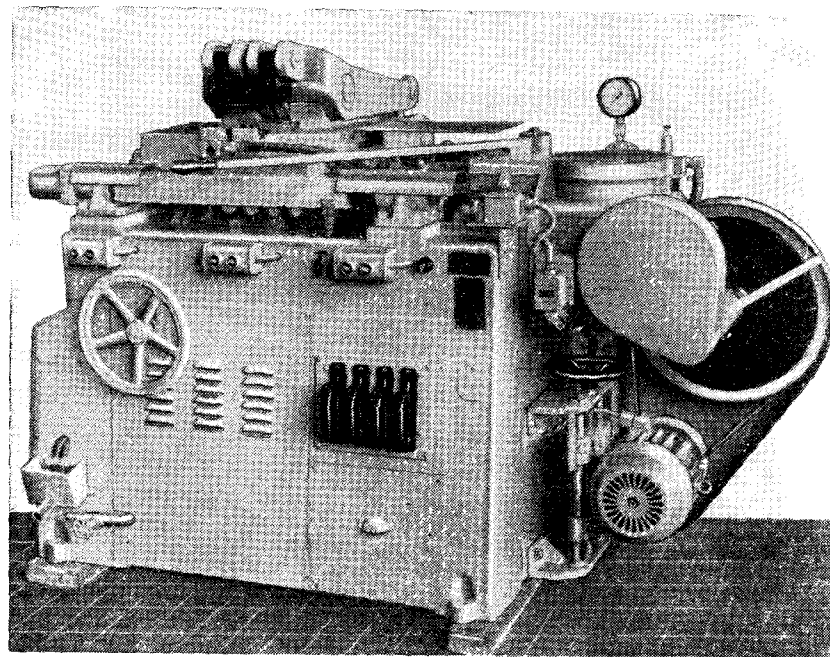
Усилие осадки при рычажной системе равно около 2—2,5 т при усилии, прикладываемом сварщиком к концу рычага, в 20—25 кг.

При расчете максимального усилия осадки угол между выпрямляющимися рычагами принимается равным 160—170°.

Цепь управления питается от вспомогательного трансформатора напряжением 36 в.

Вторичная обмотка сварочного трансформатора охлаждается проточной водой.

Машины с рычажным приводом применяются там, где не требуются повышенная производительность и идентичность качества сварки. В отличие от машин с пружинным и моторным механизмом подачи, они более универсальны, так как позволяют производить сварку сопротивлением, оплавлением и оплавлением с подогревом. Применение этих машин особенно удобно при ремонтных работах



Фиг. 26. Общий вид стыковой машины типа МСМУ-150.

и в производствах, где необходима частая переналадка деталей с одного размера на другой.

В массовом производстве для сварки однотипных деталей, когда требуется повышенная производительность и постоянство режима сварки, применяют машины с приводом от электродвигателя или с гидравлическим приводом при автоматическом оплавлении.

Машины с приводом от электродвигателя выпускаются различных типов для сварки непрерывным оплавлением и оплавлением с подогревом.

Машина типа МСМУ-150 (фиг. 26) предназначена для автоматической сварки непрерывным оплавлением или с подогревом. Машина имеет пневматическое радиальное зажимное устройство. Нижние контактные колодки зажимного приспособления имеют вертикальное и горизонтальное регулирование.

Механизм подачи состоит из электродвигателя, вариатора скорости, редуктора, пары сменных шестерен и эксцентрикового кулачка, подающего подвижную плиту. Электродвигатель имеет возможность перемещаться вверх и вниз. При перемещении электродвигателя вниз уменьшается диаметр рабочей части вариатора, а следовательно, и скорость вращения кулачка. Продолжительность одного цикла сварки регулируется с помощью сменных шестерен и вариатора скорости в пределах от 15 до 30 сек. Максимальный ход подвижной плиты, определяемый профилем кулачка, равен 20 мм. Включение подогрева свариваемых деталей перед оплавлением производится при помощи рычажной системы.

Возвращение подвижной плиты в исходное положение производится с помощью пневматических цилиндров.

Стыковые машины большой мощности

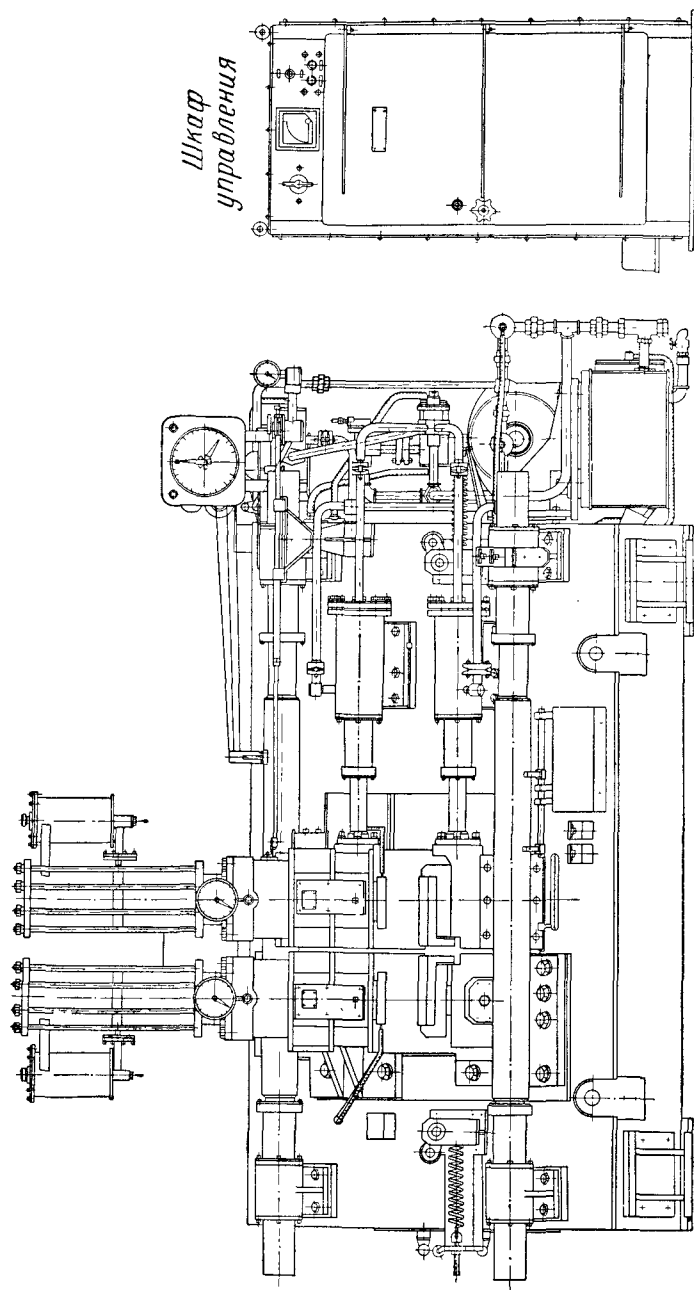
Серийные машины МСГА-300 и МСГА-500 мощностью соответственно 300 и 500 ккал рассчитаны на автоматическую сварку оплавлением с автоматическим подогревом.

Машины имеют гидравлический привод подачи и пневмогидравлические зажимные приспособления, обеспечивающие возможность сварки деталей неограниченной длины без применения упорных устройств.

Скорость перемещения подвижной плиты во время процесса оплавления регулируется гидравлическим дросселем вместо гидравлического золотникового устройства, применяемого на большинстве машин с гидравлическим приводом. Процесс автоматического подогрева осуществляется с помощью специального реле типа РИС. Гидравлическим дросселем задается определенная скорость перемещения подвижной плиты в зависимости от размеров свариваемого изделия, а реле РИС управляет через электропневматический клапан и реверсивный золотник подвижной плитой. Подогрев осуществляется путем повторного кратковременного замыкания торцовых поверхностей свариваемых деталей. Длительность отдельных замыканий контролируется электронным регулятором времени. Скорость перемещения подвижной плиты определяет конечную температуру предварительного подогрева, при которой может начаться процесс непрерывного оплавления, в зависимости от применяемой электрической мощности и размеров свариваемых деталей. Чем больше будет установлена скорость перемещения плиты, тем до более высокой температуры должна быть подогрета деталь, чтобы начался процесс оплавления.

Машина МСГА-300 (фиг. 27) состоит из собственно машины и шкафа управления. В шкафу размещены линейный контактор и пускорегулирующая аппаратура. Гидравлический насос с системой гидроклапанов с целью уменьшения потерь в гидрораспределителе расположен непосредственно у гидравлических цилиндров подачи. Для удобства обслуживания машины вертикальные зажимные приспособления расположены на наклонной плите, закрепленной на станине машины под углом 60° к горизонтали.

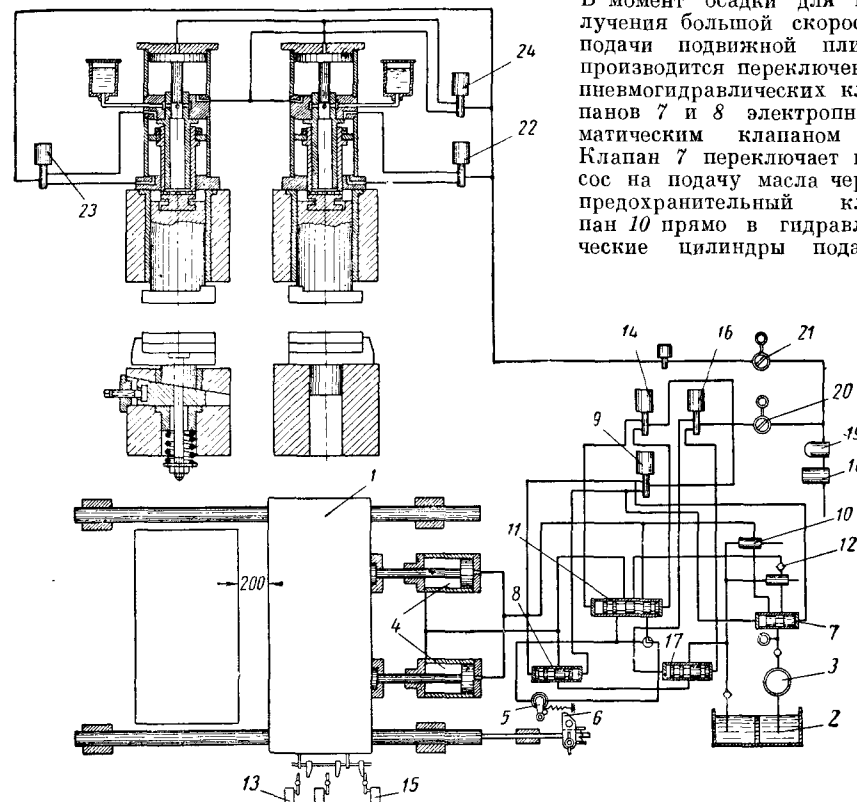
Для предохранения медных контактных колодок от повреждения во время перемещения стержня на машине установлены опорные устройства, приподнимающие деталь над контактными колодками при разжатии зажимных приспособлений.



Фиг. 27. Общий вид машины типа МСГА-300 с гидравлическим приводом.

Для подачи подвижной плиты 1 (фиг. 28) во время процесса оплавления или подогрева масло из бака 2 насосом 3 подается в гидравлические цилиндры 4 через систему гидроаппаратуры. При выходе из гидравлических цилиндров масло проходит через гидравлический дроссель 5, регулирующий объем пропускаемого масла, т. е. скорость подачи плиты. Перед моментом осадки для получения повышенной скорости подачи во время оплавления производится поворот рычажка гидравлического дросселя с помощью передвижной собачки 6.

В момент осадки для получения большой скорости подачи подвижной плиты производится переключение пневмогидравлических клапанов 7 и 8 электропневматическим клапаном 9. Клапан 7 переключает насос на подачу масла через предохранительный клапан 10 прямо в гидравлические цилиндры подачи



Фиг. 28. Пневмогидравлическая схема машины типа МСГА-300 с гидравлическим приводом.

помимо пневмогидравлического распределительного золотника 11. Предохранительный клапан 10 регулируется на повышенное давление до 65 ат соответственно требуемому усилию осадки. Во время процесса оплавления давление масла, регулируемое клапаном 12, устанавливается в пределах от 10 до 30 ат.

В конце осадки будет разомкнут концевой выключатель, прекращающий процесс осадки, а затем почти одновременно концевой выключатель 13 разомкнет цепь сварочного тока.

Для обратного хода плиты после того как будут раскрыты зажимные приспособления клапан 9 приведет пневмогидравлические золотники 7 и 8 в исходное положение, а электропневматический клапан 14 переключит реверсивный золотник 11. В конце хода подвижной плиты концевой выключатель 15 через электропневматический клапан 16 переключит пневмогидравлический золотник 17, который прекратит доступ масла из гидравлических цилиндров в бак,

и подвижная плита 1 остановится. В пневматическую схему машины включены: фильтр 18, лубрикатор 19 и пневматические редукторы 20 и 21.

Электропневматическими клапанами 22 и 23 производятся подъем и опускание верхних контактных колодок зажимных приспособлений, а электропневматический клапан 24 управляет подачей сжатого воздуха для создания давления при зажатии свариваемых деталей до 25—35 т.

Специализированные стыковые машины

Специализированные стыковые машины выпускаются в индивидуальном исполнении применительно к конструкции свариваемых деталей.

Для сварки непрерывным оплавлением выпускаются машины преимущественно с приводом подачи от электродвигателя; они предназначены для сварки ободьев колес автомобиля, лент в прокатном производстве, обечаек металлической тары, оконных переплетов, тонкостенных труб, тонких листов и т. п.

Для сварки оплавлением с подогревом выпускаются машины с приводом подачи от электродвигателя и гидравлическим приводом. Машины предназначены для сварки стержней арматуры железобетонных изделий диаметром до 100 мм, цепей диаметром до 40 мм, рельсов и др.

Специализированные машины для сварки сопротивлением выпускаются с пружинным и рычажным приводом подачи для изготовления цепей с диаметром стержня до 20 мм, для сварки проводов из черного и цветного металла и ряда других изделий.

Стыковая машина АСМП-1 мощностью 1 кВа при ПВ=15% предназначена для стыковой сварки сопротивлением углеродистой стали, а также медной проволоки диаметром от 0,4 до 1,25 мм.

Машина снабжена пружинными зажимными устройствами с регулировкой контактных колодок эксцентриковым кулачком.

Процесс сварки происходит автоматически. Сжатие свариваемых деталей и подача подвижной плиты производятся пружиной.

Включение машины осуществляется кнопкой, выключение — концевым выключателем, размыкающим первичную обмотку трансформатора во время осадки свариваемых деталей.

В схему включены два трансформатора. Один, помещенный на тележке, понижает напряжение до 110 в, второй — сварочный трансформатор, встроенный в корпус машины, понижает напряжение до сварочного. Машина имеет 20 ступеней регулирования с изменением вторичного напряжения холостого хода в пределах от 0,37 до 0,83 в.

Машина оборудована специальным устройством для отжига места сварки и ножницами для резки проволоки. Производительность машины до 180 сварок в час.

Стыковая машина типа АСМП-3 мощностью 3 кВа при ПВ=5% предназначена для стыковой сварки сопротивлением проволоки из углеродистой стали диаметром от 0,8 до 3 мм.

Машина снабжена пружинными зажимными устройствами и пружинным механизмом сжатия.

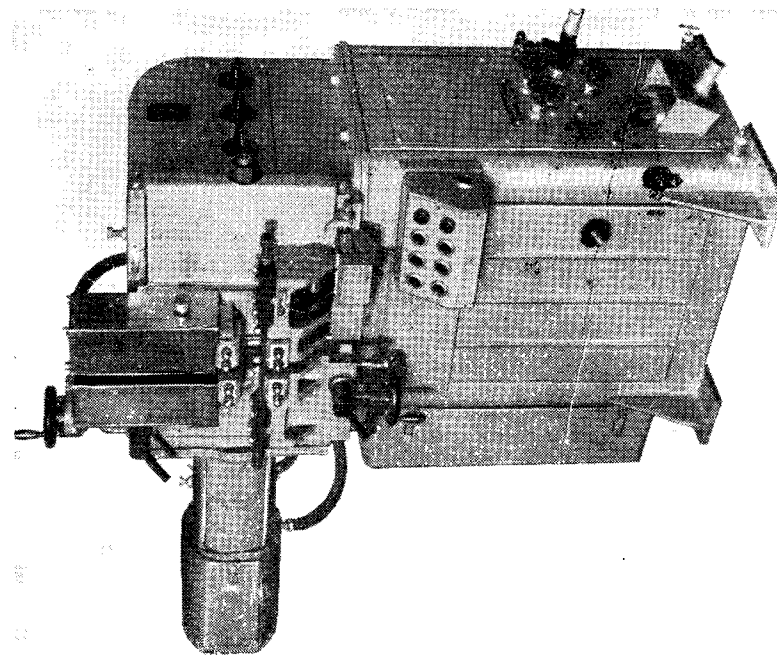
Включение машины осуществляется кнопкой и выключение во время осадки — концевым выключателем.

Первичная обмотка сварочного трансформатора имеет 4 ступени регулирования вторичного напряжения в пределах от 1,2 до 2,65 в.

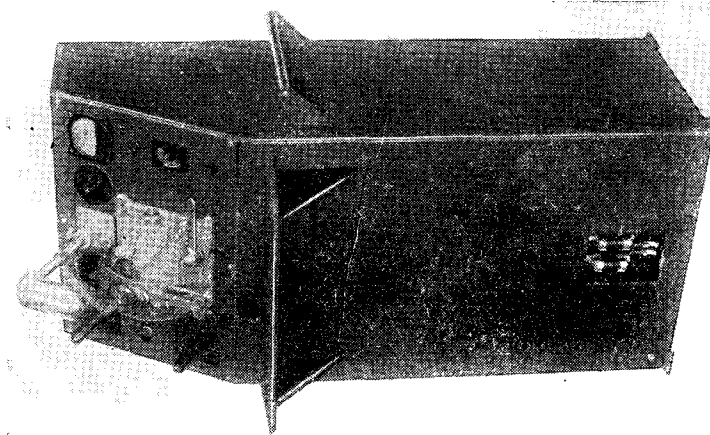
Машина снабжена приспособлением для отжига места сварки, тисками и ножницами для резки проволоки. Производительность машины до 180 сварок в час.

Машина типа МСК-0,1 (фиг. 29) предназначена для стыковой сварки сопротивлением проволоки из разнородных металлов и сплавов диаметром от 0,35 до 1 мм.

Сварка осуществляется от разряда конденсаторов. Пределы регулирования емкости конденсаторов от 25 до 500 мкф. Номинальная мощность зарядного трансформатора 0,1 кВа. Пределы регулирования зарядного напряжения конденсаторов 300—500 в. Машина выполнена в виде металлического шкафа со столиком. На наклонной плоскости передней стенки машины расположена



Фиг. 30. Машина типа МСП-25 для стыковой сварки оплавлением медных труб с алюминиевыми.



Фиг. 29. Стыковая машина типа МСК-0,1 для сварки разнородных металлов.

сварочная головка. Внутри корпуса находятся конденсаторы и пускорегулирующая аппаратура. Подвижная плита сварочной головки для легкости перемещения установлена на шариковых направляющих.

Наибольшее расстояние между зажимами 6 мм. Усилие зажатия деталей в 14 кг осуществляется с помощью рычажно-пружинных зажимных устройств. Усилие осадки создается двумя спиральными пружинами и регулируется гайками в пределах от 0,2 до 4 кг. Малая пружина создает усилие осадки до 0,7 кг, большая — до 4 кг. Машина имеет увеличительную лупу и специальный нож для обрезки и заторцовки свариваемой проволоки под прямым углом. В диске ножа имеются отверстия разных диаметров.

Электрическая схема подключается к сети с помощью пакетного выключателя. Производительность машины 300 сварок в час. Габариты машины в мм: высота 1000, ширина 450 и глубина 480. Вес машины 125 кг.

Для стыковой сварки оплавлением алюминиевых сплавов, а также сплавов алюминия с медью применяются машины типа МСЦ-25, МСПТ-150 и МСКН-150.

Машина типа МСЦ-25 (фиг. 30) предназначена для стыковой сварки оплавлением медных трубок с алюминиевыми диаметром до 12 мм при толщине стенок 1—2 мм. Машина может также сваривать стержни из цветных металлов и сплавов сечением до 50 мм². Перемещение подвижной плиты, расположенной в шариковых направляющих, во время оплавления и осадки производится от пневматического привода с гидравлическим тормозом.

Усилие осадки 750 кг. Максимальный ход плиты 30 мм. Скорость перемещения плиты регулируется в пределах до 35 мм/сек. Характер изменения скорости перемещения зависит от положения иглы дросселя, а также от соотношения плеч рычага привода дросселя. Зажатие детали с усилием до 300 кг осуществляется с помощью пневматических зажимных устройств, разжатие — возвратными пружинами, размещенными внутри цилиндров.

В машине имеется вертикальная регулировка губок, осуществляемая перемещением неподвижного зажимного приспособления. Мощность машины 25 квт при ПВ = 20%.

Вторичное напряжение регулируется в пределах от 1,7 до 3,4 в. Число ступеней регулирования 8. Наибольший сварочный ток во время осадки 21 800 а. Производительность машины 60 сварок в час. Габаритные размеры в мм: высота 1460, ширина 1440, глубина 882. Вес 650 кг.

Машина МСР-100-3 (табл. 11) рассчитана на сварку оплавлением полос из углеродистой стали с поперечным сечением 2 × 100 мм. Зажатие ленты осуществляется пневматическими зажимными приспособлениями, а подача детали во время оплавления и осадки — рычажной системой. Машина снабжена приспособлением для отжига места сварки.

Для управления режимом сварки и отжига в электрическую схему машины включены электронные регуляторы времени типа РВ1 и РВ2. Включение сварочного трансформатора ТС на сварку и на отжиг производится электромагнитными контакторами. Катушки контактора работают поочередно; при замыкании одного контактора второй выключается. Управление катушками производится регуляторами времени, промежуточными реле, конечным выключателем и пусковой кнопкой. Мощность, потребляемая при отжиге, на 20% меньше, чем при сварке.

Машина типа РСМ-320У рассчитана на автоматическую сварку рельсов методом оплавления с прерывистым подогревом и неавтоматическую с ручным управлением.

Зажатие изделия и осадка производится от механического зажима, приводимого в движение от электродвигателя. Электродвигатель трехфазного тока мощностью 11 квт при 1500 об/мин обеспечивает усилие зажатия до 35 т. Усилие зажатия регулируется динамометром, автоматически выключающим электродвигатель после достижения установленной величины давления.

Осадка производится специальным механизмом, приводимым в действие электродвигателем трехфазного тока мощностью 17 квт при 1500 об/мин, развивающим давление осадки до 26 т. Регулирование давления производится пружинным динамометром.

11. Техническая характеристика машины типа МСР-100-3

Технические данные	МСР-100-3
Номинальная мощность в квт	100
ПВ в %	20
Первичное напряжение в в	220, 380
Вторичное напряжение холостого хода для сварки в в	5,05—7,6
Вторичное напряжение холостого хода для отжига в в	4,5—6,35
Наибольший размер поперечного сечения свариваемой ленты из углеродистой стали в мм	2 × 100
Число ступеней регулирования	12
Ход подвижной плиты в мм	36
Наибольшее расстояние между плитами в мм	80

Перемещение подвижной плиты при подогреве осуществляется от вспомогательного электродвигателя мощностью 1,7 квт при 750 об/мин.

В машине установлен сварочный трансформатор мощностью 320 квт. Ток подводится к верхним и нижним контактными колодкам.

Автоматическое управление подогревом производится специальным реле, катушка которого питается от потенциометра, включенного во вторичную цепь трансформатора тока.

12. Техническая характеристика машины типа РСМ-320У

Технические данные	РСМ-320У
Номинальная мощность в квт	320
ПВ в %	25
Первичное напряжение в в	380
Вторичное напряжение холостого хода в в	5,4—10,8
Номинальный первичный ток в а	840
Орентировочный вторичный ток в а	35 600
Максимальное сечение при сварке изделий с малым периметром в мм ²	10 000
Производительность (сварок в час)	5—16
Расход охлаждающей воды в л/час	800—1000
Вес машины в т	13
Габаритные размеры в мм:	
длина	3040
ширина	1890
высота	2010

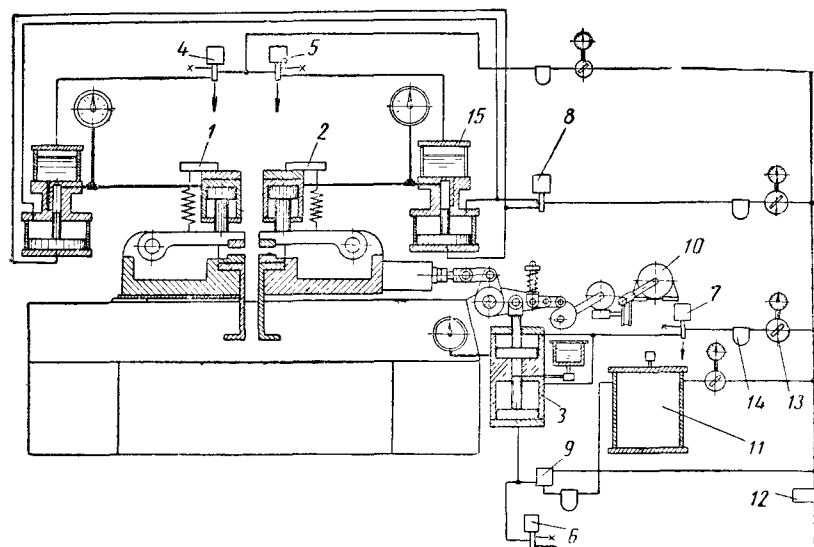
Машина типа МСЛ-200-3 предназначена для автоматической сварки оплавлением лент из малоуглеродистой стали толщиной 2—3 мм и шириной 150—300 мм.

Машина имеет пневмогидравлические зажимные приспособления и пневмогидравлический механизм осадки, передающий давление на подвижную плиту через систему рычагов. Перемещение подвижной плиты в процессе оплавления осуществляется эксцентриковым кулачком, приводимым во вращение от небольшого электродвигателя мощностью 0,25 квт.

Скорость оплавления плавно регулируется в пределах от 1,6 до 5 мм/сек. Наибольшая скорость осадки составляет 30 мм/сек. Время сварки одного стыка ленты ~ 15 сек.

Машина снабжена устройством для автоматического удаления грата после сварки.

Пневмогидравлическая схема машины показана на фиг. 31.



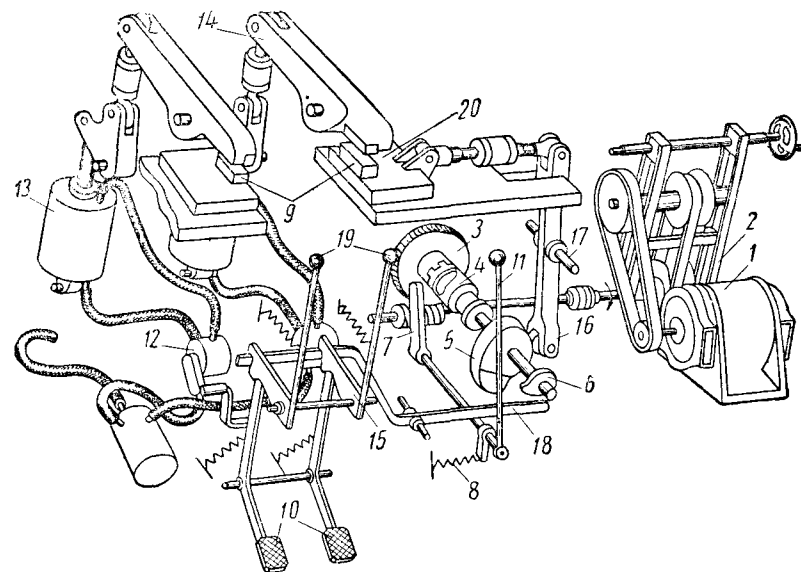
Фиг. 31. Пневмогидравлическая схема стыковой машины типа МСЛ-200-3: 1 — неподвижное зажимное устройство; 2 — подвижное зажимное устройство; 3 — пневмогидравлический механизм осадки; 4, 5, 6, 7, 8 и 9 — электропневматические клапаны; 10 — механизм подачи подвижной плиты; 11 — ресивер сжатого воздуха; 12 — воздушный фильтр; 13 — пневматический редуктор; 14 — лубрикатор; 15 — пневмогидравлический цилиндр зажимных устройств.

13. Техническая характеристика машины типа МСЛ-200-3

Технические данные	МСЛ-200-3
Номинальная мощность в <i>кка</i>	200
ПВ в %	10
Вторичное напряжение в <i>в</i>	2,3—7,6
Число ступеней регулирования	16
Производительность (сварок в час)	20
Наибольшее усилие зажатия ленты в <i>кГ</i>	14 000
Наибольшее усилие осадки в <i>кГ</i>	7 000
Вес машины в <i>кГ</i>	2 500
Габаритные размеры в <i>мм</i> :	
длина	2 820
ширина	1 350
высота	1 770

Специализированная машина для сварки ободьев колес. Мощность 600 *кка*; привод — от электродвигателя. Сварка производится непрерывным оплавлением. Электродвигатель 1 (фиг. 32), связанный бесшумной цепью с вариатором скорости 2, приводит во вращение редуктор 3. Червячное колесо редуктора через муфту сцепления 4 вращает кулачок давления 5. Для получения повышенной скорости перемещения плиты в конце процесса сварки кулачок

снабжен специальной вставкой, несколько выступающей от основного профиля кулачка и дающей требуемый резкий толчок подвижной плите при осадке. Наличие вариатора скорости позволяет легко изменять скорость подачи при изменениях сечения свариваемых деталей. На одной оси с кулачком давления закреплен кулачок тока, включающий и выключающий сварочный трансформатор при определенном повороте вала, а также кулачок 6, управляющий раскрытием пневматических зажимных приспособлений. При холостом ходе рычаг 7 под действием пружины 8 поддерживает муфту 4 в расцепленном состоянии. Свариваемый обод устанавливается на контактные колодки 9; зажатие его в зажимных приспособлениях производится нажатием на педали 10. Сцепление полумуфт осуществляют поворотом рычага 11.



Фиг. 32. Кинематическая схема специализированной машины для сварки ободьев колес.

При нажатии на педаль пневматические клапаны 12 подают воздух в камеру цилиндров 13 и через системы рычагов 14 зажимают свариваемую деталь в контактных колодках. Педаль 10 удерживается в нажатом состоянии рычагами 15. Сцепление полумуфт вызывает вращение кулачка давления, который, в свою очередь, поворачивает рычаг 16 вокруг оси 17 и подает плиту вперед со скоростью, соответствующей профилю кулачка. В конце хода плиты после оплавления и осадки кулачок 6 нажимает на рычаг 18 и выводит педаль из расцепления с рычагом 15. Воздух перемещается в нижнюю камеру пневматических цилиндров и раскрывает зажимные приспособления. Зажимные приспособления могут быть также раскрыты поворотом рычагов 19. Подвижная плита 20 возвращается в исходное положение с помощью пружин.

Машина типа ССМ-750 с приводом от электродвигателя по конструкции аналогична рассмотренной выше; применяется также для сварки непрерывным оплавлением ободьев колес диаметром 500 *мм* и сечением 1350 *мм*². Номинальная мощность машины 750 *кка* при ПВ = 8%. Машина имеет 12 ступеней регулирования вторичного напряжения в пределах от 5,5 до 14,6 *в*.

Максимальное усилие осадки кулачкового механизма привода равно 20 *т*, а усилие зажатия, осуществляемое рычажно-пневматической системой, 50 *т*. Время, потребное для сварки обода, 5 сек. Габаритные размеры машины в *мм*: длина 3575; ширина 2100; высота 2000. Вес машины 5 *т*.

Машина типа МСР-500 предназначена для сварки рельсов сечением до 10000 мм² методом оплавления с предварительным подогревом. Машина рассчитана на работу как в стационарных условиях так и в передвижном рельсо-сварочном поезде, где она устанавливается в специально оборудованном вагоне.

14. Технические данные машины типа МСР-500

Технические данные	МСР-500
Номинальная мощность в кВа при ПВ = 20% . . .	500
Вторичное напряжение сварочного трансформатора в В	6,55—13,1
Число ступеней регулирования вторичного напряжения	16
Производительность (сварок в час)	7
Наибольшее усилие осадки в кГ	40 000
Наибольшее усилие зажатия в кГ	60 000
Максимальное расстояние между губками в мм	200
Наибольший ход подвижного зажима в мм	200
Скорость оплавления в мм/сек	0,5—8
Скорость осадки в мм/сек	25
Габаритные размеры в мм:	
длина	3710
ширина	1790
высота	3020
Вес машины в кГ	15 000

Зажимные и упорные приспособления стыковых машин

Зажимные приспособления стыковых машин предназначены для зажатия свариваемых деталей усилием, предотвращающим проскальзывание деталей в контактных колодках во время осадки, и для подвода к ним сварочного тока. Конструкция зажимных приспособлений выбирается соответственно мощности машины и требуемой производительности в зависимости от размеров, формы и сечения свариваемых деталей. В серийных машинах малой мощности применяются эксцентриковые и рычажные зажимные приспособления, в серийных машинах средней мощности — винтовые или быстродействующие зажимные приспособления рычажного и пневматического типа.

По устройству зажимного механизма зажимные приспособления разделяются на эксцентриковые, винтовые, рычажные, пневматические, гидравлические и пневмогидравлические.

Контактные колодки зажимных приспособлений должны обладать большим сопротивлением сжатию и хорошей электропроводностью. Существует ряд сплавов на медной основе, обеспечивающих повышенную стойкость контактных колодок.

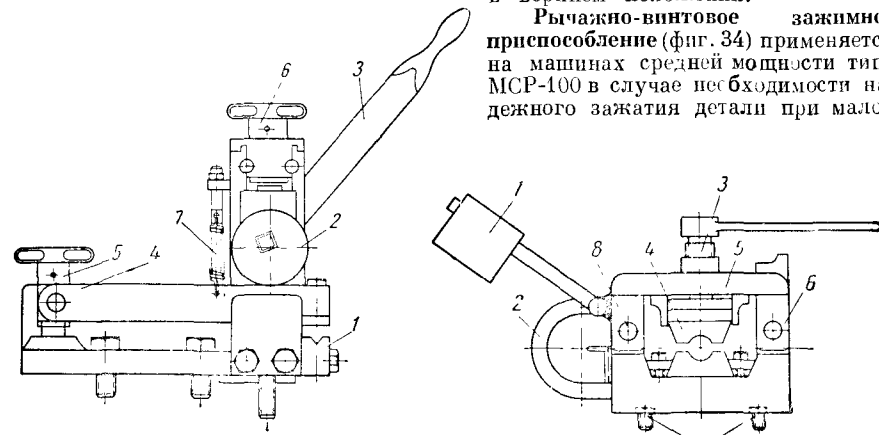
В машинах средней и большой мощности контактные колодки охлаждаются проточной водой. Чтобы ослабить влияние усилия осадки на износ контактных колодок, применяют, где возможно, упорные приспособления, в которые упираются концы свариваемых деталей. Все усилие осадки в данном случае передается на упоры и усилие зажатия рассчитывается только исходя из усилия, необходимого для создания надлежащего контакта. При сварке малоуглеродистой стали без применения упорных приспособлений усилие зажатия берется в пределах от 2 до 5 кГ/мм² площади поперечного сечения свариваемых изделий.

Контактные колодки, особенно для массовых работ, должны иметь регулировку для обеспечения соосности свариваемых деталей. Регулирование кон-

тактных колодок в горизонтальной и вертикальной плоскости в машинах средней мощности дается в пределах 10 мм.

Эксцентриковые зажимные устройства (фиг. 33) применяются на машинах малой мощности, например, типа АСПФ-5 для сварки круглой и полосовой стали. Приспособление является сменным и крепится к контактной плите машины. На нижней неподвижной плите приспособления устанавливается медная контактная колодка 1. Зажатие детали производится эксцентриком 2 при повороте рычага 3. Эксцентрик, нажимая на рычаг 4, зажимает свариваемую деталь. Расстояние между контактными колодками может быть отрегулировано в пределах от 1 до 13 мм с помощью винтов 5 и 6. Пружина 7 удерживает рычаг 4 в верхнем положении.

Рычажно-винтовое зажимное приспособление (фиг. 34) применяется на машинах средней мощности типа МСР-100 в случае необходимости надежного зажатия детали при малой



Фиг. 33. Эксцентриковое зажимное приспособление. Фиг. 34. Рычажно-винтовое зажимное приспособление.

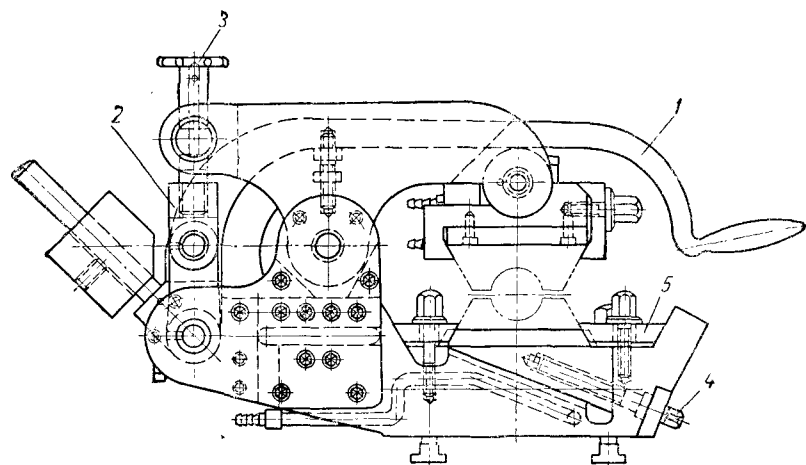
производительности. Зажимное приспособление сменное и крепится к плите машины болтами 1. Подвод тока к верхним контактным колодкам осуществляется через гибкую медную шину 2. Для зажатия детали винтом 3 на нее опускают контактную колодку 4, закладывают защелку 6, удерживающую верхнюю плиту 5 в установленном положении, и только после этого производят окончательное зажатие детали поворотом винта 3. С задней стороны зажимов имеется груз 7, облегчающий подъем верхней плиты зажимного приспособления и поворачивающийся вокруг оси 8. Наибольшее усилие зажатия — до 4 т.

Рычажное зажимное приспособление с ходом верхней контактной колодки по дуге окружности (фиг. 35) применяется на машинах средней мощности МСР-100. Максимальный ход контактных колодок 80 мм, а усилие зажатия около 3 т. Этот тип зажимных приспособлений делается как с односторонним, так и двухсторонним подводом тока. Зажатие осуществляется рычагом 1, связанным с системой рычагов 2. Регулирование степени нажатия производится винтом 3. Зажимные приспособления имеют вертикальную регулировку, которая осуществляется винтом 4 в пределах до 10 мм, и горизонтальную путем установки планок 5 в пределах 5 мм. При использовании этих приспособлений целесообразно применять упорные устройства.

Рычажно-пневматическое приспособление применяется преимущественно на машинах средней мощности с приводом подачи от электродвигателя. По конструкции приспособление аналогично рычажному зажимному приспособлению с той только разницей, что рычажное управление в нем заменено пневматическим цилиндром.

Рычажно-пневматические приспособления используются в массовом производстве для сварки однотипных калиброванных деталей. Их зажимы обла-

дают большой производительностью, благодаря способности автоматически раскрываться по окончании сварки.



Фиг. 35. Рычажное зажимное приспособление.

Гидравлические зажимные приспособления прямого действия, несъемные (фиг. 36), применяются на машинах типа МСГ-200. Ток подводится к верхним 1 и к нижним 2 контактным колодкам через токоподводящие медные шины 3 и 4. Максимальное расстояние между контактными колодками 140 мм. Нижняя контактная колодка регулируется в вертикальном направлении винтом 5 в пределах 40 мм. Для подъема верхней контактной колодки масло под давлением 60—65 кг/см² подается в нижнюю камеру цилиндра через ниппель 6. Масло из верхней камеры вытесняется через ниппель 7 в резервуар для масла. Для опускания контактной колодки масло от насоса подается в камеру цилиндра через ниппель 7. Шток 8 поршня связан с верхней контактной колодкой 1. Диаметр поршня гидравлического цилиндра 110 мм. Усилие зажатия детали между контактными колодками около 6 т.

Для увеличения усилия зажатия служит пневмогидравлический аккумулятор, последовательно включенный в гидравлическую систему. Усилие зажатия может быть увеличено примерно в 2 раза.

При необходимости подводить сварочный ток только к нижней контактной колодке верхняя колодка делается стальной с зубчатой закаленной поверхностью.

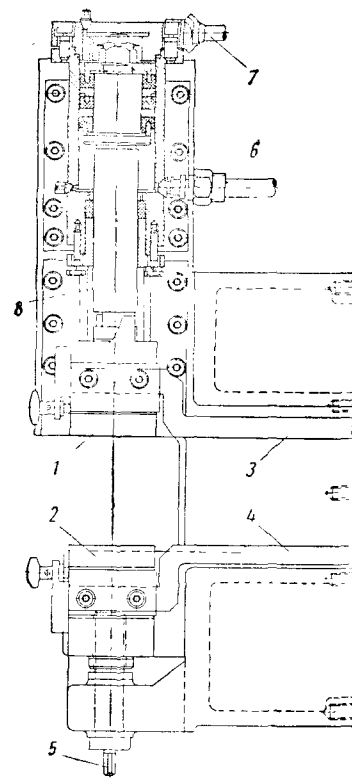
Пневмогидравлическое зажимное приспособление (фиг. 37) применяется на машинах с гидравлическим приводом типа МСГА-300, предназначенных преимущественно для сварки арматуры железобетонных изделий.

Зажимные приспособления несъемные, рассчитаны на сварку без упорных приспособлений и обеспечивают усилие зажатия до 25 т. Стальной литой корпус зажимных приспособлений имеет вид скобы.

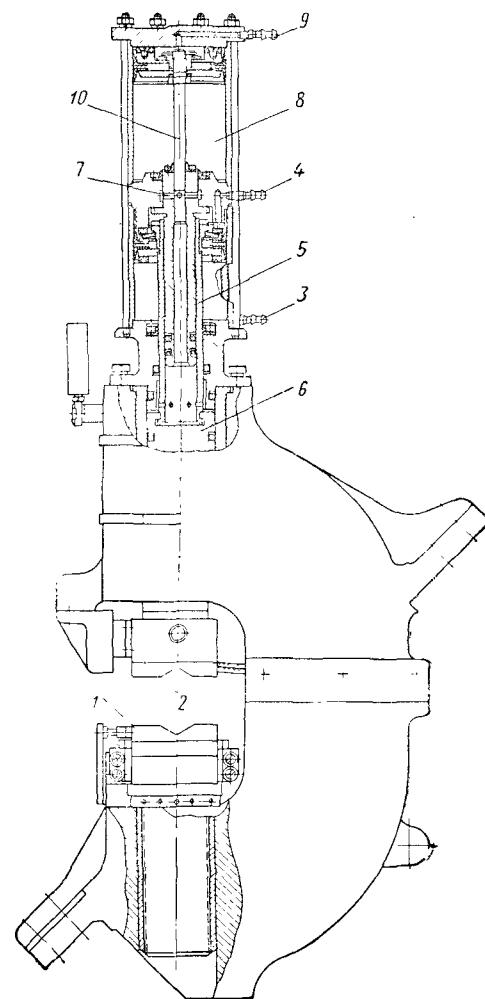
Подвод тока сделан только к нижней контактной колодке 1; верхняя колодка 2 — стальная, имеющая насечку и закаленную поверхность. Подъем и опускание верхней колодки производится сжатым воздухом подаваемым через ниппель 3 и 4. Шток 5 пневматического цилиндра связан с поршнем 6 гидравлического рабочего цилиндра, с которым соединена стальная колодка 2. При опускании стальной колодки масло в камеру гидравлического цилиндра засасывается через отверстие 7.

Для создания давления сжатый воздух подается в пневматический цилиндр 3 через ниппель 9. Шток 10 пневматического цилиндра при опускании открывает

отверстие 7 и создает в рабочей камере гидравлического цилиндра давление, пропорциональное давлению сжатого воздуха, а также площади поршня пневматического цилиндра 8 и штока 10. Диаметр его поршня равен 195 мм, диаметр штока 25 мм. При давлении сжатого воздуха 3,5 кг/см² давление жидкости равно 210 кг/см².



Фиг. 36. Гидравлическое зажимное приспособление.



Фиг. 37. Пневмогидравлическое зажимное приспособление.

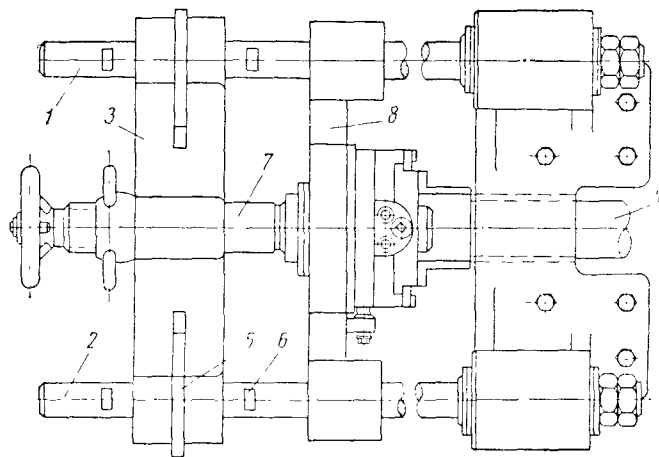
Упорные приспособления, применяемые на стыковых машинах, поддерживают в соответствующем положении свариваемые детали и воспринимают на себя давление осадки. При применении упорных приспособлений конструкция зажимных приспособлений получается более легкой, так как она рассчитывается на меньшее зажимное усилие, достаточное только для создания необходимого контакта между контактными колодками и изделием, без учета осадочного давления, воспринимаемого упорами. Повышается точность установки свариваемых деталей, так как в этом случае детали фиксируются не только на контак-

ные колодки, но также и на упорные приспособления. Устраняется возможность проскальзывания деталей в контактных колодках и снижается их износ. Упорные приспособления весьма разнообразны по конструкции, зависящей от формы и длины свариваемых деталей, от усилия осадки и необходимой точности.

Упорные приспособления для точной установки деталей при наладке машины имеют регулировочные механизмы.

Неподвижные упорные приспособления обычно применяются для фиксации более длинных деталей.

Упорная часть приспособления связывается со станиной машины тягами, концы которых поддерживаются специальным опорным устройством или кронштейном, прикрепленным к станине.



Фиг. 38. Типовая конструкция упорного устройства.

Подвижные упорные устройства чаще применяются для сварки коротких деталей (длиной до 0,5 м) и крепятся на подвижную плиту машины. Типовая конструкция упорных приспособлений, применяемых на стыковых машинах (фиг. 38), представляет собой две штанги 1 и 2, на которых закрепляется при помощи собачек 5 в пазах 6 упорная планка 3. При сварке один конец свариваемой детали 4 доходит до упора, который имеет грубую и точную регулировки. Грубая регулировка осуществляется перестановкой упорной планки 3 по длине штанг. Точная регулировка осуществляется винтом 7, связанным с ползуном 8.

МАШИНЫ ДЛЯ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ

Точечная сварка является одним из наиболее широко применяемых видов контактной сварки и осуществляется на машинах разнообразных конструкций.

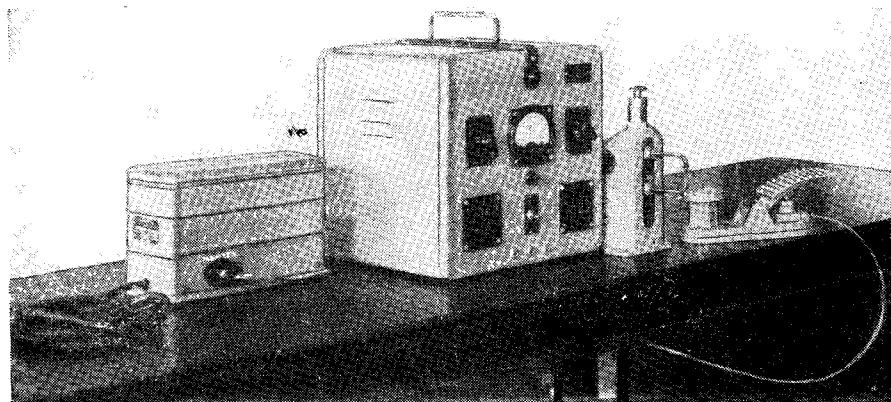
Серийные машины для точечной сварки выпускаются мощностью от 0,1 до 600 кВА как с ножным (педальным) приводом управления и произвольной выдержкой времени прохождения сварочного тока, так и с приводом от электродвигателя, а также электромагнитным, пневматическим и пневмогидравлическим приводом управления с электронным регулированием времени прохождения тока и управления последовательностью процесса сварки (табл. 15).

Стационарные точечные машины малой мощности

Сварка материалов малой толщины дает наиболее положительные результаты на конденсаторных машинах, обеспечивающих возможность получения кратковременных постоянных импульсов с большой амплитудой сварочного тока. Имеется несколько типов машин для точечной сварки тонких изделий из черных и цветных металлов: МТИК-0,1, МТК-2 и ТКМ-4 и др.

Машина типа МТИК-0,1 (фиг. 39) предназначена для точечной сварки деталей из цветных и черных металлов толщиной от 0,01 до 0,1 мм, а также крестообразных пересечений проволоки диаметром от 0,05 до 0,4 мм.

Сварка производится разрядом конденсаторов. Батарея конденсаторов состоит из 7 банок по 10 мкФ каждая. Энергия, запасаемая в конденсаторах, может плавно изменяться в пределах от 0,07 до 5 Вт·с.



Фиг. 39. Машина типа МТИК-0,1 для точечной сварки малых толщин.

Напряжение, получаемое с феррорезонансного стабилизатора, подводится к первичной обмотке трансформатора питания. Напряжение со вторичной обмотки трансформатора подается через селеповый выпрямитель на батарею конденсаторов. Напряжение заряда конденсаторов 70—380 В.

Разряд конденсаторов на первичную обмотку сварочного трансформатора осуществляется с помощью игнитровой лампы. Сварочная головка машины и блок управления устанавливаются на столе. Управление перемещением электродов производится с помощью педального устройства. Вылет электродов 60 ± 20 мм.

Соединение головки с педалью осуществляется стальным канатиком. Перемещение верхнего электрода радиальное. Рабочий ход электрода 5 мм. Давление на электродах устанавливается регулируемой спиральной пружиной и изменяется в пределах от 0,2 до 3,5 кг. Габариты машины в мм: высота 335, длина 390 ± 20 , ширина 390. Вес машины 35 кг.

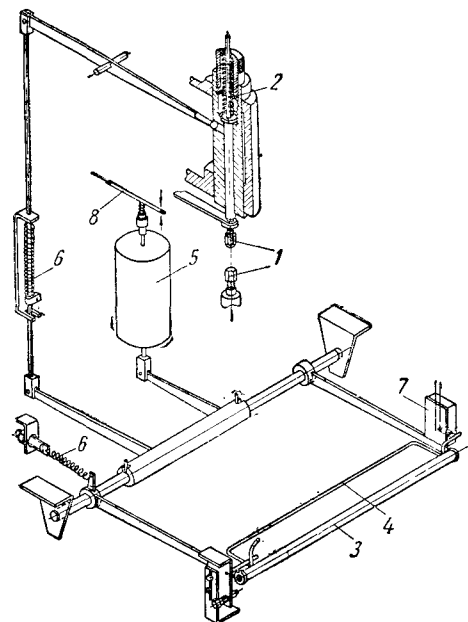
Точечная машина МТК-2 предназначена для сварки деталей из черных и цветных металлов толщиной от $0,1 \pm 0,1$ до $0,35 \pm 0,35$ мм, а также пересекающихся круглых стержней диаметром от 0,6 до 1 мм.

Сварка осуществляется энергией, запасаемой в конденсаторах. Машина рассчитана на автоматический и неавтоматический процесс с производительностью от 20 до 90 точек в минуту. Цикл работы машины определяется электронным реле времени, дающим плавное регулирование в пределах от 0,7 до 3 сек. Конденсаторная батарея дает возможность регулировать емкость в пределах от 25 до 500 мкФ. Напряжение на конденсаторах 500 В. Конденсаторы разряжаются на первичную обмотку сварочного трансформатора. Время разряда

определяется параметрами разрядной цепи и может регулироваться изменением коэффициента трансформации сварочного трансформатора и величиной емкости включенных конденсаторов.

Максимальное значение амплитуды сварочного тока около 10 000 а при длительности первой полуволны тока от 0,0008 до 0,015 сек.

Машина подключается к сети напряжением 220 в. Привод электродов машины — педальный электромагнитный. Давление на электродах регулируетсяжатием пружины в пределах от 2 до 15 кг. Рабочий ход электродов от 5 до 20 мм. Вылет машины 80 мм. На лицевой стенке корпуса машины расположен блок управления и сварочная головка, внутри корпуса — конденсаторная батарея, сварочный трансформатор, электромагнит механизма сжатия и аппарата управления. Габаритные размеры машины в мм: длина 572, ширина 650, высота 1095. Всс 150 кг. Кинематическая схема машины показана на фиг. 40.



Фиг. 40. Кинематическая схема точечной машины МТК-2: 1 — электроды; 2 — пружина механизма сжатия; 3 — ножная педаль; 4 — педаль включения тока; 5 — электромагнит; 6 — возвратные пружины; 7 — микропереключатель; 8 — реле разряда конденсаторов.

Максимальная энергия, запасаемая в конденсаторах, 72 вт-с.

Габаритные размеры машины в мм: длина 620, ширина 800, высота 1245. Всс 165 кг.

Точечная машина типа АТП-5 (фиг. 43) рассчитана на сварку деталей из малоуглеродистой стали с суммарной толщиной до 2 мм.

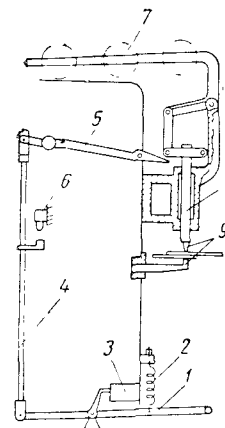
Конструкция педального устройства машины позволяет производить работу сидя. Верхняя консоль закреплена в рычаге 1, качающемся на оси 2. Рычаг 1 приводится в движение от ножной педали 3. При нажатии на педаль верхний электрод опускается до соприкосновения с нижним электродом. Дальнейшее перемещение педали вызывает сжатие пружины 4.

Давление на электродах зависит от размеров пружины и степени ее предварительного сжатия. Регулирование давления производится подтягиванием гаек 5. Для возвращения системы в исходное положение предназначена пружина 6. Выключатель машины установлен на корпусе и приводится в действие от собачки 7, укрепленной на штанге. При определенном подъеме штанги и создании требуемого давления между электродами происходит включение сварочного трансформатора. Машина позволяет производить мгновенную сварку и сварку

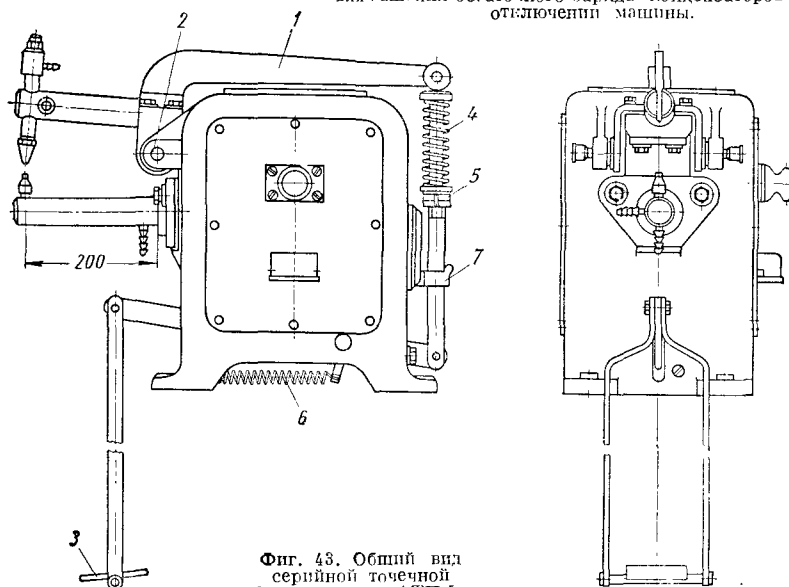
Точечная машина ТКМ-4 предназначена для конденсаторной сварки черных и цветных металлов толщиной от 0,02 + 0,02 до 0,5 + 0,5 мм. Машина имеет педальный привод механизма сжатия и рассчитана на неавтоматическую работу. Усилие сжатия деталей определяется весом сменного груза, перемещаемого по рычагу, и регулируется в пределах 0,5—0,25 кг. Максимальный ход электродов 35 мм. Полезный вылет 60 мм.

Принцип работы машины показан на кинематической схеме (фиг. 41).

В электрической схеме машины (фиг. 42) применены конденсаторы типа КБГ-МН. Батарея конденсаторов имеет регулируемую емкость в пределах от 10 до 400 мкф. Напряжение заряда конденсаторов 600 в.

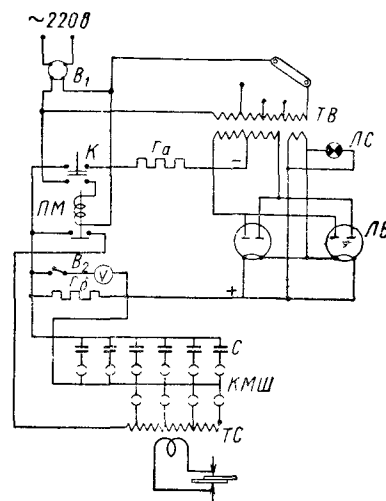


Фиг. 41. Кинематическая схема точечной машины ТКМ-4: 1 — педаль; 2 — возвратная пружина; 3 — пружинный упор; 4 — рычаг; 5 — рычаг противовеса; 6 — выключатель, управляющий разрядной цепью конденсаторов; 7 — груз; 8 — шток верхнего электрода; 9 — электроды.



Фиг. 43. Общий вид серийной точечной машины типа АТП-5.

с выдержкой. При мгновенной сварке включение и выключение тока происходят во время движения педали, причем после момента выключения тока давление



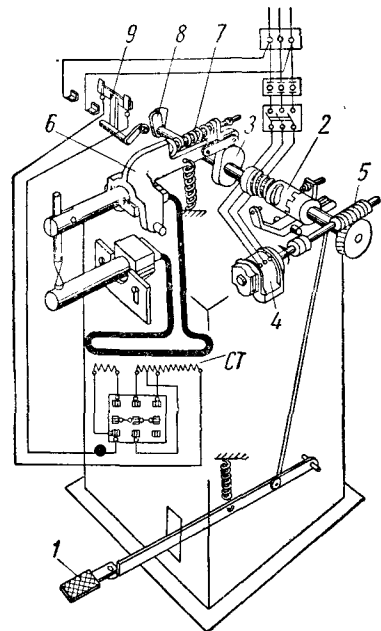
Фиг. 42. Принципиальная электрическая схема машины ТКМ-4: В₁ — двухполюсный выключатель; В₂ — выключатель вольтметра; С — конденсаторы; КМШ — штепсельный переключатель конденсаторов; ТВ — сварочный трансформатор; ЛВ — выпрямительные лампы; ЛС — сигнальная лампа; К — выключатель заряда конденсаторов; ПМ — магнитный пускатель; r_з — зарядное сопротивление для ограничения полного тока; r_б — разрядное сопротивление для гашения остаточного заряда конденсаторов при отключении машины.

между электродами повышается. При сварке с выдержкой нажимают на педаль для создания необходимого давления и включения сварочного тока. В этом положении педаль задерживается до соответствующего нагрева свариваемых деталей, затем производится дальнейшее нажатие на педаль для выключения тока. Верхняя и нижняя консоли машины охлаждаются водой. Производительность машины зависит от размеров свариваемых деталей, характера сварки, умения сварщика и достигает 100 точек в минуту.

Точечные машины АТП-10 и АТП-25 с педальным механизмом сжатия имеют одинаковую конструкцию и почти одни и те же габаритные размеры. Принцип работы педального устройства почти ничем не отличается от машины АТП-5. Так же как и на машине АТП-5 можно производить сварку мгновенную или сварку с выдержкой. Ход педали регулируется упорами. От установки нижнего упора, находящегося под педальным рычагом, зависит степень сжатия пружины, а следовательно, и давление на электродах. Машины имеют 8 ступеней регулирования. Электроды, верхняя и нижняя консоли машины, а также сварочный трансформатор охлаждаются проточной водой.

Стационарные точечные машины средней мощности

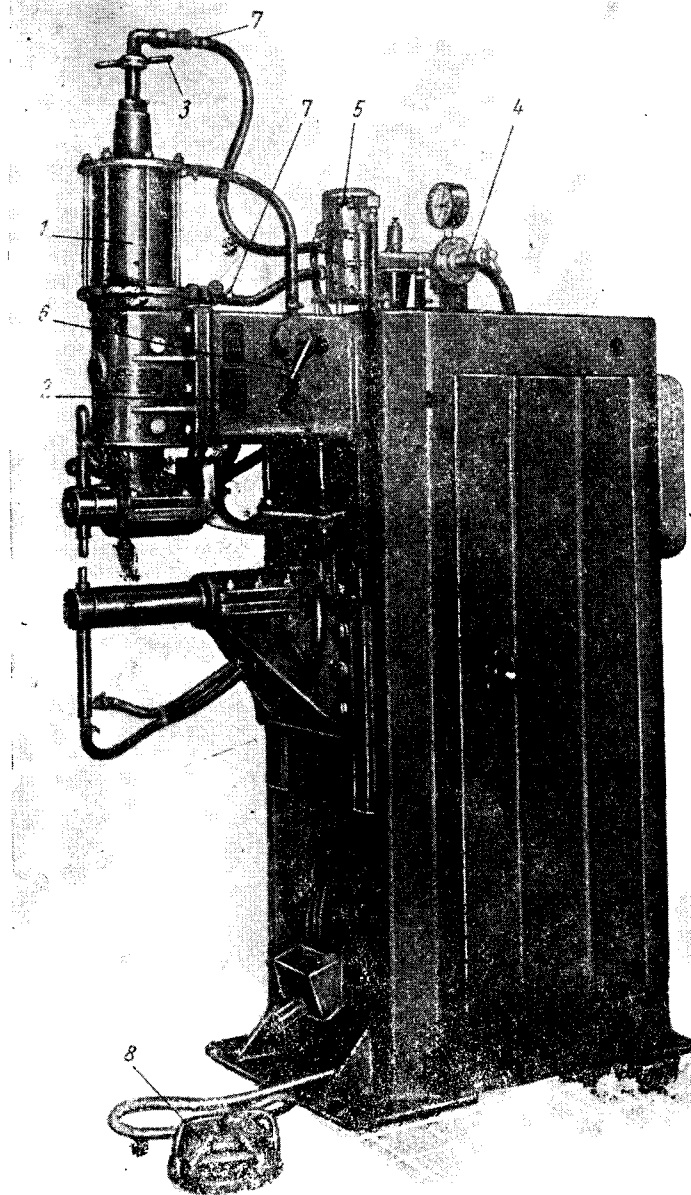
Серийные машины этой группы выпускаются мощностью 50, 75, 150 и 200 *кв*а. Механизм сжатия может быть как электромоторный, так и пневматический.



Фиг. 44. Кинематическая схема точечной машины типа МТМ-50.

диски кулачка 8 замыкают контакты выключателя тока 9, включающего сварочный трансформатор. По окончании сварки контакты выключателя размыкаются и выключают сварочный трансформатор; происходит снятие давления со свариваемых деталей и подъем верхнего электрода.

Точечные машины типа МТН-75, МТН-100, МТН-150 и МТН-200 выпускаются серийно, мощностью от 75 до 200 *кв*а, имеют пневматический механизм сжатия (фиг. 45 и 47).



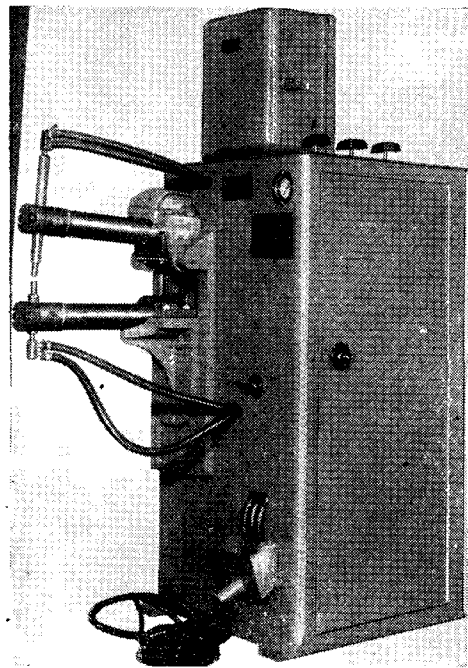
Фиг. 45. Точечная машина типа МТН-75-12 с пневматическим механизмом сжатия.

Машины с пневматическим механизмом сжатия применяются в массовом производстве для сварки односторонних изделий из малоуглеродистой стали, однако, они могут успешно применяться и в индивидуальном производстве. Широкий диапазон регулирования времени прохождения сварочного тока, возможность применения повышенных давлений, высокая производительность, стабильность режима сварки, удобство настройки и обслуживания дали возможность этому типу машин найти широкое применение в промышленности.

Машины снабжаются пультонным прерывателем и электронным регулятором времени, управляющим последовательностью работы машины. Управление ходом верхнего электрода, а также создание давления осуществляется пневматическим цилиндром 1, установленным на верхнем, изолированном от корпуса машины, кронштейне 2. Цилиндр имеет два поршня. Шток нижнего поршня, связанного с ползуном верхнего электрода, осуществляется подъем и опускание электрода, а также создание давления. С помощью верхнего поршня осуществляется регулирование рабочего хода электрода. Регулирование рабочего хода осуществляется подъемом или опусканием верхнего поршня с помощью гаска 3. Давление сжатого воздуха регулируется редуктором давления 4. Управление подачей воздуха в среднюю и нижнюю камеру пневматического цилиндра производится электропневматическим клапаном 5. Дополнительный ход осуществляется ручным клапаном 6 путем подачи или выпуска сжатого воздуха из верхней камеры цилиндра. Для смягчения удара верхнего электрода при его соприкосновении с изделием предусматривается дросселирующий клапан 7. Все токоведущие основные детали вторичного контура, так же как и вторичный виток сварочного трансформатора, охлаждаются проточной водой. Машины управляются переносной педальной кнопкой 8. При нажатии на педальную кнопку включается электронный регулятор времени, управляющий циклом работы машины, заключающимся в опускании верхнего электрода и сжатии свариваемых деталей, в прохождении тока через детали, выключении тока по окончании установленного промежутка времени, в выдержке деталей под давлением без тока и возвращении электрода в исходное положение. При удержании кнопки в нажатом положении рабочий цикл повторяется и машина продолжает работать автоматически. Для получения одной сварной точки педальная кнопка отпускается сразу же после ее нажатия.

Для сварки легированных сталей точечные машины типа МТП снабжаются синхронными прерывателями тока, позволяющими получать более высокое постоянство режима сварки.

Машины типа МТП-25 и МТП-50 (фиг. 46) имеют переменный вылет, оборудованы пультонным контактором и электронным регулятором времени. Они



Фиг. 46. Машина типа МТП-50 для точечной сварки с радиальным ходом электрода.

могут выпускаться как с пневматическим, так и с моторным приводом и радиальным ходом верхнего электрода.

Для сварки легированных сталей или цветных металлов машины комплектуются синхронным прерывателем тока типа ПИТ.

Электрическая схема и принцип действия машин аналогичны машинам МТП-75.

16. Технические данные машины МТП-50

Технические данные	МТП-50
Номинальная мощность при ПВ=20% в кВа . . .	50
Толщина свариваемого материала (сталь) в мм	От 1+1 до 5+5
Пределы регулирования вылета машины в мм . .	250—550
Усилие на электродах в кГ	60—400

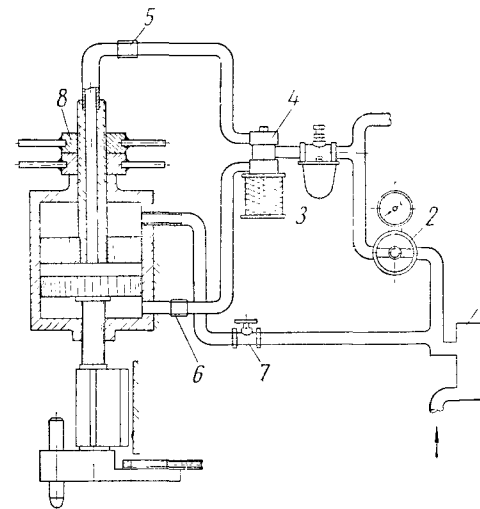
Стационарные точечные машины большой мощности

Точечные машины МТП-300 и МТП-400 мощностью в 300 и 400 кВа выпускаются с пневматическим механизмом сжатия. По своей конструкции они аналогичны машинам средней мощности с пневматическим механизмом сжатия. Машины снабжаются пультонным прерывателем, электронным регулятором времени типа РВЭ-7 и регулятором времени для пульсирующей сварки типа РВЭ-8. Трансформаторы этих машин выполняются с последовательно-параллельным переключением секций первичной обмотки при помощи переключателя барабанного типа.

Точечные машины МТП-300 и МТП-400 выполняются большей частью универсальными как для точечной, так и для рельефной сварки.

Для точечной сварки может быть использована машина МРП-600, предназначенная для рельефной сварки и имеющая электродную часть для точечной.

На фиг. 47 показана типовая пневматическая схема машины МТП с прямым ходом верхнего электрода. Из колонки 1, являющейся резервуаром для сжатого воздуха, воздух поступает по двум направлениям: через редуктор давления 2, лубрикатор 3, электропневматический клапан 4 и дросселирующий клапан 5 в среднюю камеру цилиндра или при соответствующем переключении электропневматического клапана 4 через дросселирующий клапан 6 — в нижнюю камеру цилиндра; через открываемый вручную кран 7 в верхнюю камеру цилиндра. В эту камеру



Фиг. 47. Типовая пневматическая схема машин типа МТП-75 и выше.

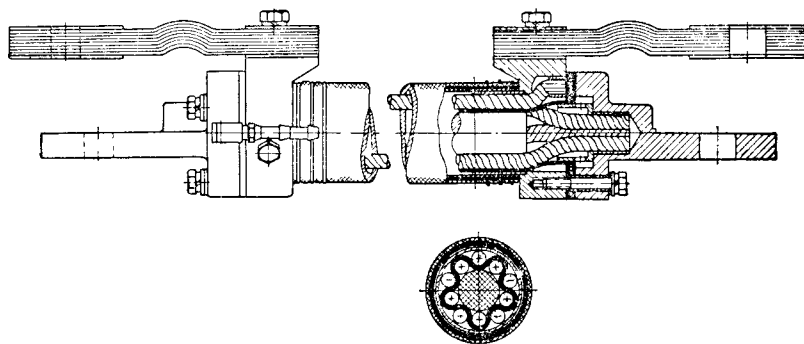
подается нередуцированный воздух, удерживающий верхний поршень в крайнем нижнем положении. Рабочий ход электрода определяется положением верхнего поршня, регулируемого с помощью специальных контргайк 8.

Подвесные точечные машины

Машины подвешенного типа применяются для точечной сварки громоздких деталей и деталей, собираемых на конвейерах (автомобили, стальная арматура железобетонных изделий и др.). Сварочный инструмент (пистолет, клещи), которым сварщик оперирует во время работы, обычно, соединяется с трансформатором машины гибким кабелем.

Из подвесных машин наибольшее распространение получили серийные машины МТПГ-75 с пневматическим и пневмогидравлическими механизмами сжатия.

Вторичная обмотка трансформатора подвесных машин имеет два витка, которые могут быть соединены параллельно или последовательно. Переключение витков вторичной обмотки производится двумя медными перемычками. Вторич-



Фиг. 48. Конструкция малоиндуктивного кабеля для подвесных машин типа МТПГ.

ная обмотка трансформатора, токоподводящий кабель, лампы игнитронного прерывателя и токоведущие части клещей охлаждаются проточной водой. На трансформаторе укреплено пневмогидравлическое устройство и электропневматический клапан для управления клещами. Клещи машины соединены с трансформатором гибким кабелем малой индуктивности. Прямой и обратный проводники кабеля (фиг. 48) заключены в общую оболочку, переплетены между собой и изолированы друг от друга резиновой трубкой. Для облегчения кабеля и придания ему большей гибкости при расчете допускается большая плотность тока за счет усиленного водяного охлаждения кабеля. Один конец кабеля присоединен ко вторичному витку трансформатора, а второй — к сварочным клещам. Клещи могут быть с пневматическим или гидравлическим механизмом сжатия. Серийные подвесные машины выпускаются с клещами, имеющими пневмогидравлический механизм сжатия.

Электрическая схема подвесных машин типа МТПГ аналогична схеме точечных машин типа МТН.

В промышленности находят применение подвесные машины с пневматическим приводом, в которых прямой и обратный проводники токоведущего кабеля, соединяющего клещи со сварочным трансформатором, выделены раздельно. Наличие двух раздельных между собой проводников обеспечивает несколько большую их гибкость в работе.

В табл. 17 приведена техническая характеристика точечных подвесных машин типа МТПГ серийного и индивидуального выпуска.

17. Техническая характеристика подвесных точечных машин типа МТПГ

Технические данные	Тип машины	
	МТПГ-75	МТПГ 150 *
Номинальная мощность в <i>кв</i> а при ПВ=25%	75	150
Максимальная толщина свариваемых деталей из малоуглеродистой стали при автоматической работе в <i>мм</i>	2+2	4+4
Максимальное число ходов в минуту	90	60
Число ступеней регулирования трансформатора	16	16
Пределы регулирования вторичного напряжения холостого хода в <i>в</i>	5,06 19,0	5,85 21,1
Длительность прохождения тока в сек.	0,1 6,0	0,1—6,0
Расход воды на охлаждение в <i>л/час</i>	660	800
Габаритные размеры сварочного трансформатора в <i>мм</i> :		
высота	1166	1500
ширина	452	450
глубина	1350	1400
Вес машины в <i>кг</i>	314	475

* Специализированная, индивидуального исполнения.

Сварочные клещи для подвесных точечных машин. Машины типа МТПГ снабжаются одним из следующих видов клещей: КТГ-75-1, КТГ-75-2 или КТГ-75-3 и КТГ-150-1. Типовые конструкции клещей приведены на фиг. 49.

Клещи КТГ-75-1 (фиг. 49, а) с прямолинейным ходом электрода имеют возможность поворачиваться вокруг оси на 360°. Давление на электродах осуществляется гидравлическим поршнем, связанным с пневмогидравлическим устройством машины.

Клещи КТГ-75-2 (фиг. 49, б) имеют также прямолинейный ход электрода и оборудованы пневмогидравлическим механизмом сжатия.

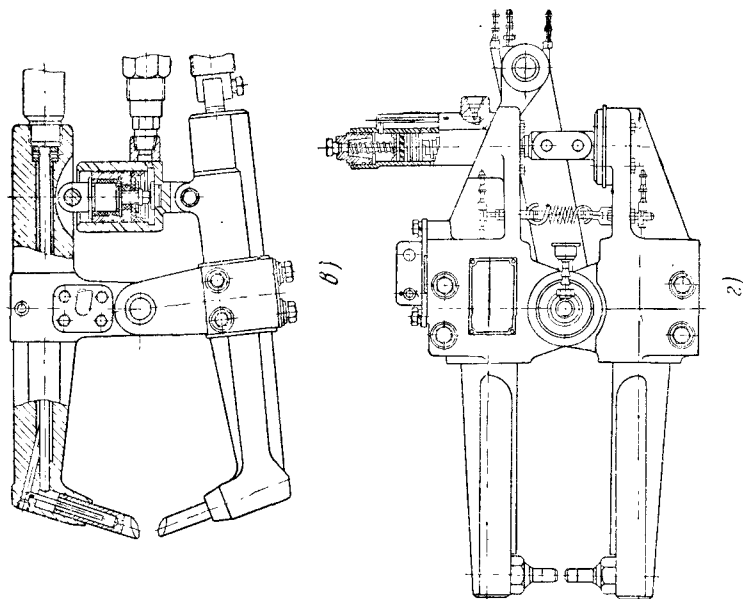
Клещи КТГ-75-3 и КТГ-150-1 (фиг. 49, в и г) имеют радиальное перемещение электродов.

Производительность гидравлических клещей зависит от вязкости применяемых масел.

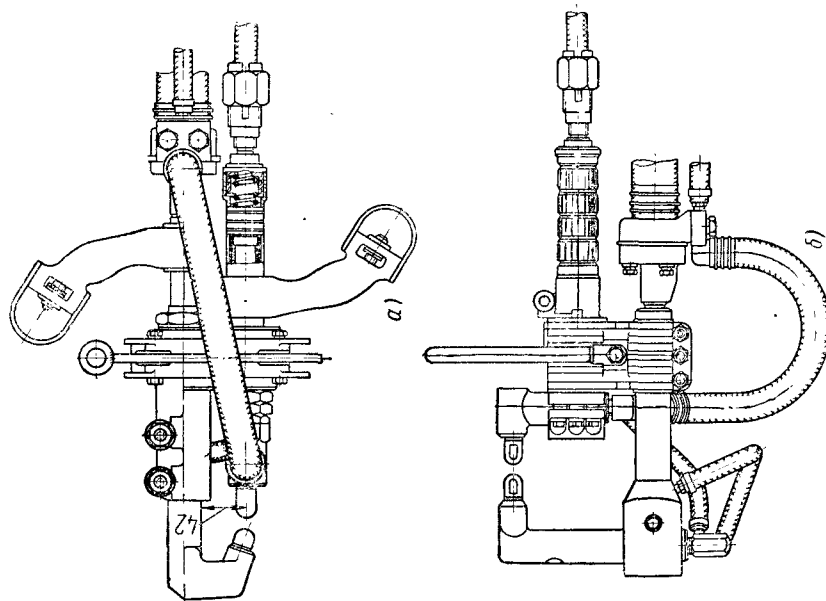
При применении касторового масла производительность клещей КТГ-75-3 около 70 точек в минуту. При применении менее вязких масел (веретенное и турбинное) производительность повышается до 100 и более точек в минуту.

В клещах КТГ-150-1 медные рычаги с укрепленными в них токоведущими консолями шарнирно соединены со втулкой через ось. Рычаги изолированы друг от друга изоляционными втулками. Нижний рычаг связан с гидравлическим цилиндром через серьгу. Ток от сварочного трансформатора к верхнему электроду подводится через рычаг, к нижнему — через планку.

В промышленности применяются также малогабаритные переносные клещи с встроенным трансформатором мощностью до 25 *кв*а. Благодаря небольшому вторичному контуру они имеют малое сопротивление короткого замыкания. Средний вес клещей около 16 *кг*.



Фиг. 49. Конструкция клещей для подвесных машин типа МТПГ.



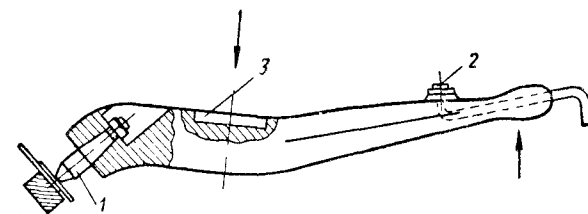
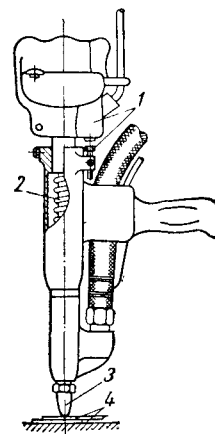
Фиг. 50. Сварочный пистолет.

18. Техническая характеристика сварочных клещей подвесных машин типа МТПГ

Краткая характеристика	Типы клещей			
	КТГ-75-1	КТГ-75-2	КТГ-75-3	КТГ-150-1
Тип машин, на которых применяются клещи	МТПГ-75	МТПГ-75	МТПГ-75	МТПГ-150
Полезный вылет в мм . .	40	125	140	280
Максимальный ход электродов в мм	25	30	25	30
Расстояние между консолями в мм	25	94	100	150
Максимальное давление между электродами в кг	275	200	250	800
Вес клещей в кг	15	12,5	9	104
Движение электродов . .	Прямолинейное		Радиальное	

Сварочные пистолеты, рычажные и распорные устройства подвесных машин. Вместо клещей подвесные машины комплектуются сварочными пистолетами, рычажными и распорными устройствами.

Сварочный пистолет простейшего типа показан на фиг. 50. Давление на электроде пистолета равно усилию, прикладываемому сварщиком при нажатии на него. Один кабель от зажима сварочного трансформатора присоединяется к электроду пистолета, второй — к изделию или медной шине, на которую устанавливается свариваемое изделие. В соответствии с небольшим давлением, которое можно получить между электродом и изделием, пистолеты этого типа могут быть применены для сварки деталей толщиной до 1 мм.



Фиг. 51. Рычажное устройство.

Включение сварочного трансформатора производится выключателем 1 после сжатия пружины 2 и создания давления электродом 3 на изделие 4.

Рычажное устройство (фиг. 51) применяется в сочетании с различными конструкциями сварочных приспособлений. Рычаг выполняется из алюминиевого сплава или бронзы. На одном конце рычага закрепляется электрод 1, а на другом — кнопка 2, включающая сварочный трансформатор. Усилие.

создаваемое сварщиком рычагу и соотношения

на электроде, зависит от усилия, приложенного к плечу рычага между опорой 3 и электродом и между опорой и ручкой рычага.

Для получения более постоянного давления при сварке применяют рычажные устройства с пружинной системой, при помощи которой сварочный ток включается только по достижении на электродах заданного давления.

Распорное устройство (фиг. 52) создает усилие на электроде при помощи пневматического или пневмогидравлического механизма. Во время сварки пистолет своей опорной частью опирается в одну из токоведущих шин приспособления, а электродом через свариваемое изделие — во вторую токоведущую шину.

Токоведущая часть пистолета соединена с электродом гибкой медной шиной.

Ток может быть подведен и непосредственно к электроду, а второй полюс — к токоведущей шине, на которую укладывается свариваемое изделие.

Балансирные устройства подвесных машин изготавливаются различных конструкций, в зависимости от веса сварочного трансформатора, веса клещей и характера выполняемой работы.

Фиг. 52. Распорное устройство.

Назначение балансирных устройств — обеспечивать возможность перемещения и поворота подвешенной сварочной установки относительно свариваемого изделия, а также уравнивать сварочные клещи.

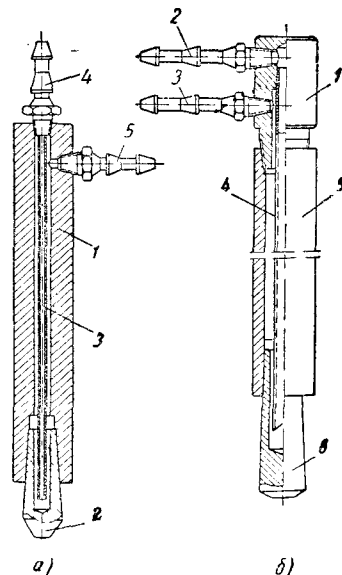
Балансирное устройство, применяемое на подвесных машинах типа МТПГ-75, обеспечивает возможность поворота клещей на угол 360° , а также легкого подъема и опускания их на высоту около 1 м.

Конструкции электрододержателей, консолей и направляющих механизма давления точечных машин

Электрододержатели предназначены для соединения электрода с токоведущей частью консоли точечной машины. Конструкция электрододержателя должна обеспечивать удобную замену электрода и прямолинейность его перемещения при изменении расстояния между консолями или износе электродов.

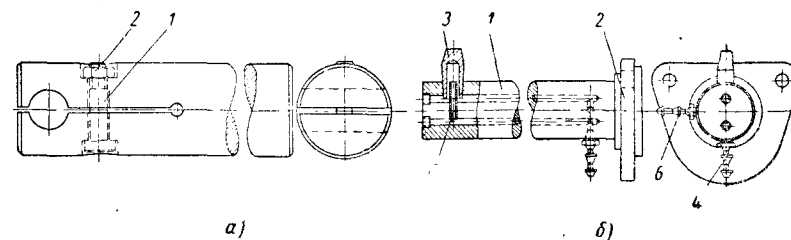
На машинах точечной сварки широко применяются электрододержатели, показанные на фиг. 53. Электрододержатель (фиг. 53, а) состоит из корпуса 1, в нижней части которого закрепляется конический электрод 2. Вода для охлаждения электрода и электрододержателя подводится по стальной трубке 3, припаянной к ниппелю 4. Из трубки вода попадает в канал электрода, отсюда, омывая внутренние стенки корпуса, выходит через ниппель 5.

В машинах типа МТП преимущественное применение имеет электрододержатель со сменной головкой (фиг. 53, б). Стальная головка 1 с закрепленными в ней ниппелями 2 и 3 и трубкой для охлаждения 4 соединяется при помощи резьбы с медным корпусом электрододержателя 5.



Фиг. 53. Электрододержатели к машинам для точечной сварки.

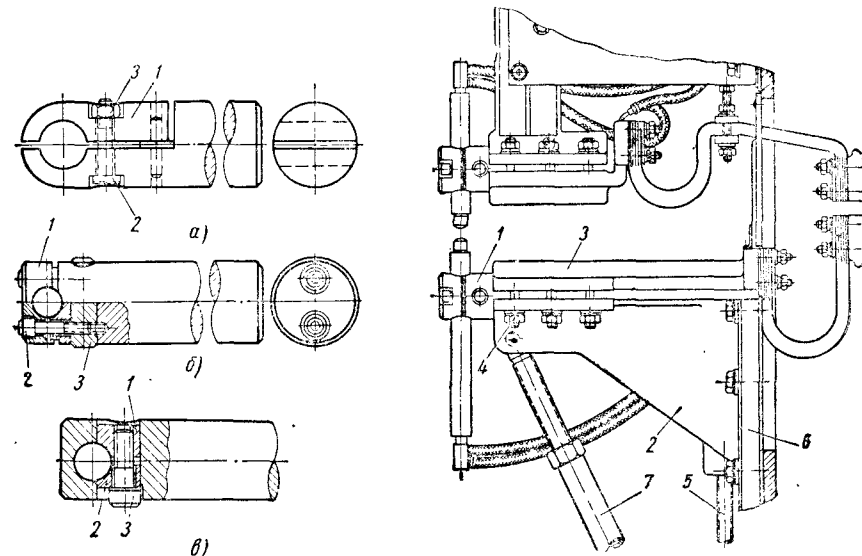
Для получения надежного контакта и крепления электрода в электрододержателе имеет конусное отверстие.



Фиг. 54. Токоведущие консоли машин для точечной сварки.

Токоведущие консоли точечных машин изготавливаются из меди, бронзы, сплава ЭВ или латуни, в зависимости от требуемой электро- и теплопроводимости и механической прочности.

По ГОСТу 297-52 прогиб консоли (упругое смещение каждого электрода при номинальном давлении и безударной нагрузке) допускается в пределах 0,005 длины вылета, но не более 2 мм.



Фиг. 55. Типовые крепления электрододержателя в консоли.

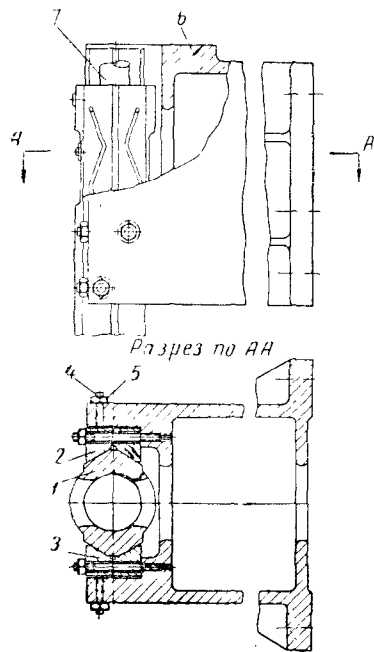
Фиг. 56. Крепление консоли на машине типа МТП-150.

В ряде случаев консоль делается комбинированной из стального или чугунного кронштейна с токоведущей шиной и медной колодкой для крепления электрода. На фиг. 54 показаны типовые консоли, применяемые на машинах для точечной сварки.

Для машин небольшой мощности (3—5 кВа) применяется консоль цилиндрической формы (фиг. 54, а). Электрододержатель закрепляется в консоли при помощи болта 1 и гайки 2. Цилиндрическая форма консоли дает возможность

поворачивать ее или перемещать по длине при установке электродов. Консоль, представленная на фиг. 54, б, также применяется на машинах небольшой мощности преимущественно для сварки цилиндрических деталей малого диаметра. Консоль 1 крепится к корпусу машины через фланец 2, с которым она составляет одно целое. Для охлаждения электрода 3 вода подводится через шпиль 4 по трубке 5 и отводится через шпиль 6.

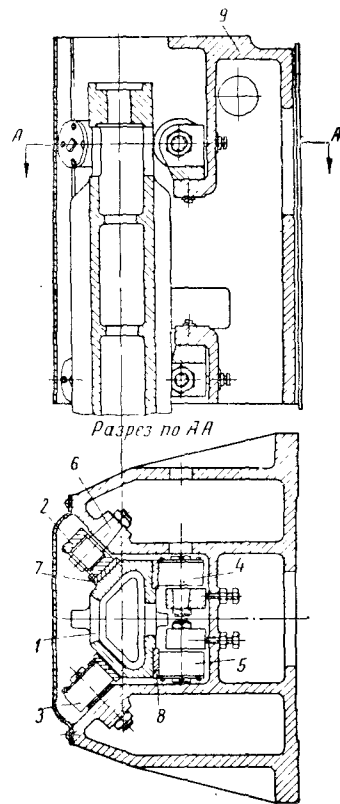
Крепление электрододержателя в консоли часто осуществляется с помощью отъемной планки 1, болта 2 и гайки 3 (фиг. 55, а).



Фиг. 57. Скользящие направляющие механизма сжатия машин для точечной сварки.

В точечных машинах типа МТП наиболее широко применяется конструкция консоли (фиг. 55, б), в которой электрододержатель закрепляется с помощью отъемной стальной колодки 1 и болтов 2. Для более надежного крепления в консоль впрессован стальной стержень 3, в тело которого винчиваются болты 2. Надежное и удобное соединение осуществляется также с помощью двух стальных втулок 1 и 2 (фиг. 55, а). Втулки, имеющие соответствующие вырезы под электрододержатель, стягиваются между собой болтом 3.

Крепление консолей на машинах для точечной сварки мощностью свыше 75 кВА показано на фиг. 56. Крепление верхней консоли аналогично креплению на машине МТП-75. Нижняя консоль 1 закреплена болтами 4 между чугунным кронштейном 2 и медной контактной колодкой 3. Подъем кронштейна 2 производится винтом 5. Кронштейн имеет прямоугольные направляющие для перемещения и закрепляется на корпусе станины планками 6. Для уменьшения прогиба нижнего кронштейна предусматривается регулируемое опорное устройство 7.



Фиг. 58. Роликовые направляющие механизма сжатия машин для точечной сварки.

Направляющие механизма сжатия на машинах типа МТП имеют конструкцию, приведенную на фиг. 57. Чугунный ползун 1 несущий верхний электрод, расположен между двумя стальными призматическими прижимными планками 2 и 3. Рабочая часть прижимных планок, соприкасающаяся с боковыми призматическими плоскостями ползуна, имеет закаленную шлифованную поверхность.

Регулирование направляющих, устранение люфтов и зазоров производится шпильками 4 и гайками 5.

На кронштейне 6 устанавливается пневматический цилиндр, шток 7 которого соединен с ползуном 1. Наличие смазки, подаваемой к трущимся поверхностям от масленок, установленных на прижимных планках, обеспечивает легкую и плавную работу механизма сжатия. В последних конструкциях машин типа МТП применяются цилиндрические направляющие.

В машинах для сварки легких сплавов где требуется большая подвижность ползуна, для уменьшения сил трения применяются роликовые направляющие (фиг. 58), а для уменьшения инерции системы ползун выполняется из более легкого материала — силумина. Ползун 1 расположен между восемью роликовыми направляющими 2, 3, 4, 5. Ролик 2 вращается на игольчатых подшипниках. Ось 6 ролика выполняется эксцентричной для регулирования положения ползуна и устранения зазоров. Ползун облицован стальными планками 7 и 8 с закаленной и шлифованной поверхностью. Система с роликовыми направляющими значительно увеличивает подвижность механизма сжатия, что положительно сказывается на качестве сварного соединения. Пневматический цилиндр закреплен на кронштейне 9; шток цилиндра соединен с ползуном 1.

Специализированные машины для точечной сварки

Стационарная машина МПК-25 рассчитана на сварку металлокерамических и серебряных контактов диаметром до 6 мм, но может быть использована также и для точечной сварки деталей, не требующих большого вылета.

Машина имеет вылет около 80 мм и легкий пневмопружинный механизм сжатия. Сжатый воздух применяется только для опускания верхнего электрода и сжатия пружины, а давление осуществляется регулируемой пружиной в пределах от 20 до 100 кг.

Поршень пневматического цилиндра перемещается на длину 30 мм; величина сжатия пружины ~5 мм, следовательно, рабочий ход электродов равен 25 мм. Благодаря небольшому вылету при относительно небольшой мощности машины (25 кВА, ПВ=20%) ток короткого замыкания на номинальной ступени составляет 15 000 А.

Сварочный трансформатор имеет 2 ступени регулирования вторичного напряжения в пределах от 1,35 до 2,7 В.

Управление электрической и пневматической схемой машины осуществляется ножной педальной кнопкой. Схемой предусмотрен как автоматический, так и полуавтоматический режим работы машины. Последовательность работы механизмов машины, а также точное синхронное регулирование времени сварки осуществляется с помощью электронной схемы управления через индукционные лампы. Схема обеспечивает постоянство сварочного тока при колебаниях напряжения сети в пределах $\pm 10\%$. Оптимальные режимы сварки устанавливаются путем подбора ступеней трансформатора, времени прохождения тока, величины давления, времени проковки и (в случае повторной работы машины) длительности паузы.

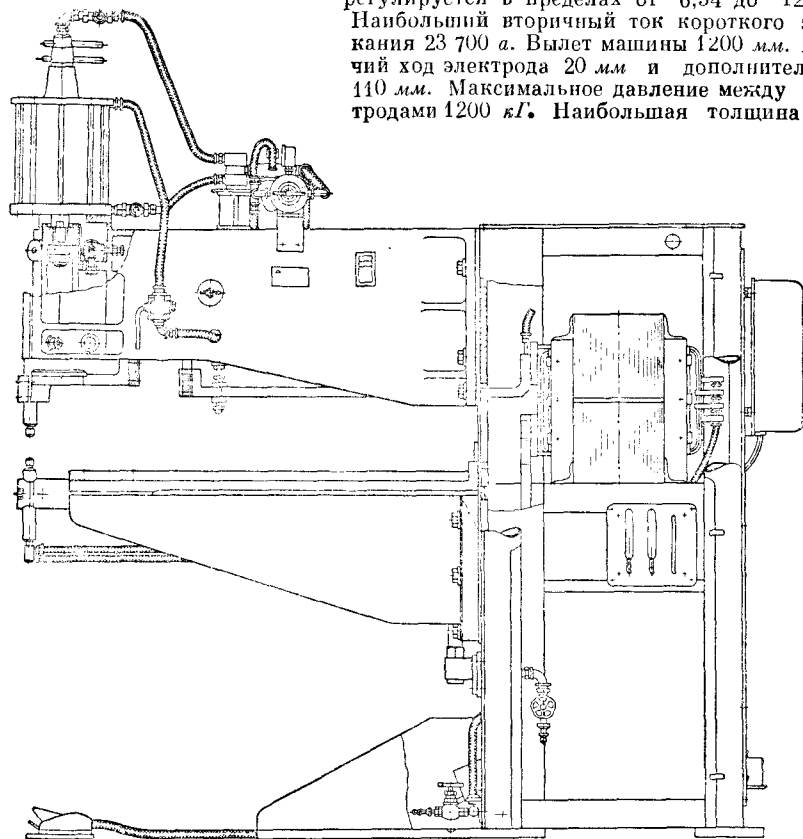
Пределы длительности времени работы отдельных механизмов следующие: сжатие, проковка и пауза — от 0,1 до 1,4 сек.; сварка от 0,02 до 0,38 сек.

Производительность машины — 60 ходов в минуту. Габаритные размеры в мм: высота 720, ширина 600, глубина 825 мм. Вес 160 кг.

Машина МТП-150/1200 (фиг. 59) предназначена для сварки легированных сталей. В отличие от стандартных машин типа МТП эта машина имеет облегченный механизм сжатия, а также синхронный прерыватель тока. Ползун механизма сжатия изготовлен из силумина и расположен между роликовыми на-

вляющими. Пневматическая система позволяет получать повышенное давление в начале и конце сварочного цикла. В качестве синхронного прерывателя используется серийный игнитронный прерыватель типа ПИТ-50. Наличие облегченного, с малым трением, механизма сжатия и синхронного прерывателя тока обеспечивает более стабильный режим сварки.

Мощность машины МТП-150/1200 150 кВа при ПВ = 20%. Машина имеет 8 ступеней регулирования напряжения. Вторичное напряжение холостого хода регулируется в пределах от 6,34 до 12,65 в. Наибольший вторичный ток короткого замыкания 23 700 а. Вылет машины 1200 мм. Рабочий ход электрода 20 мм и дополнительный 110 мм. Максимальное давление между электродами 1200 кг. Наибольшая толщина сва-



Фиг. 59. Общий вид машины для точечной сварки типа МТП-150/1200.

риваемых листов из жароупорной стали — 1,5 + 1,5 мм. Габаритные размеры машины в мм: высота 2340, ширина 780, глубина 2135. Вес 1770 кг.

Машина МТПШ-75 (фиг. 60) предназначена для одновременной приварки двух шпилек (стоек) к пластинам оснований пакетных выключателей типа ПК на 10, 25, 60 и 100 а. Машина состоит из сварного корпуса 1, сварочного трансформатора с переключателем ступеней и нижней контактной частью 3, зажимного устройства 4, подвижного упора 2 для подпора стоек снизу в процессе сварки, механизма сжатия и двух взаимно связанных кронштейнов 9 и 12.

На кронштейне 9 размещены редуктор для регулирования давления сжатого воздуха и два электрообъемных пневматических клапана. Рукоятка 10 редуктора выведена наружу.

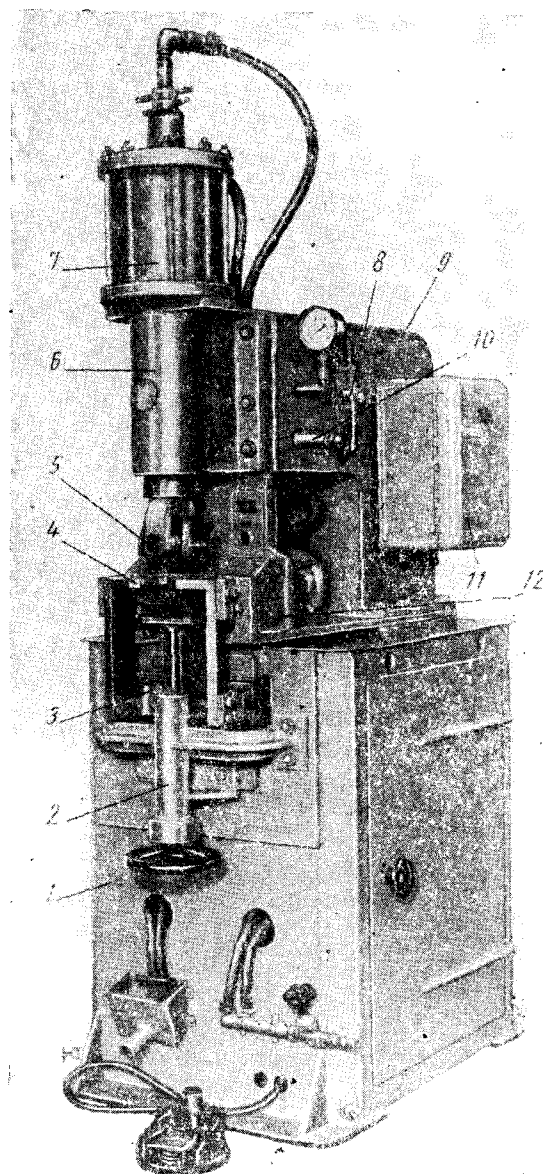
Механизм сжатия представляет собой трехкамерный пневматический цилиндр 7 с направляющим устройством 6 и верхней контактной частью 5.

Колонки корпуса служат резервуарами сжатого воздуха, причем три из них соединены между собой стальными трубами и образуют ресивер для питания рабочих камер пневматических цилиндров.

Машина оснащена четырехпозиционным регулятором времени 11 типа РВЭ. Включение в сеть и отключение первичных обмоток сварочного трансформатора осуществляется синхронным игнитронным прерывателем со стабилизацией напряжения.

Габаритные размеры в мм: длина 1075, ширина 735, высота 2180. Вес 800 кг.

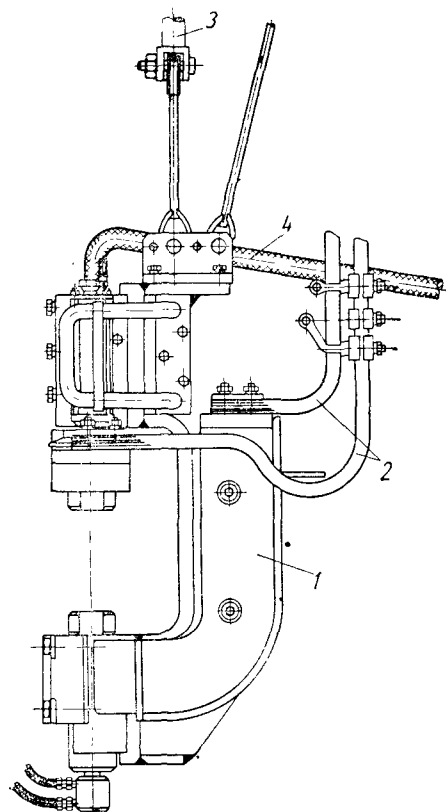
Подвесная машина МТПГ-500 рассчитана на точечную сварку крестообразных соединений стальной арматуры из стержней диаметром до 100 мм. При сварке плоскостных ферм машина устанавливается на тележке портала и во время работы перемещается вдоль и поперек фермы. Клепцы 1 машины (фиг. 61) имеют пневмогидравлический механизм сжатия и соединены с трансформатором гибкими медными шинами 2. Вертикальное перемещение клещей для установки их на месте пересечения свариваемых стержней осуществляется пневматическим цилиндром 3. Полезный вылет клещей 135 мм. Ход верхнего электрода 60 мм.



Фиг. 60. Машина МТПШ-75 для приварки стоек к пластинам оснований пакетных выключателей типа ПК на 10, 25, 60 и 100 а.

Для создания давления сжатый воздух подается в пневматическую камеру пневмогидравлического устройства.

Поршень пневмогидравлического устройства, перемещаясь вниз, нагнетает масло через шланг высокого давления в гидравлический цилиндр клещей,

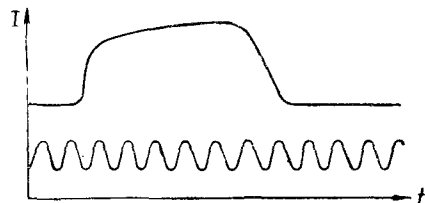


Фиг. 61. Общий вид подвесной машины типа МТП-500 для точечной крестообразной сварки стальной арматуры.

создавая давление между электродами. При давлении сжатого воздуха $5,5 \text{ кг/см}^2$ усилие зажатия 8 т . В корпусе машины установлен сварочный трансформатор мощностью 500 кВА при ПВ = 5%. Вторичное напряжение холостого хода сварочного трансформатора регулируется пластинчатым переключателем ступеней. Сварочный трансформатор имеет 16 ступеней регулирования с изменением вторичного напряжения холостого хода в пределах от 5 до 17,3 в. Максимальный вторичный ток около $50\,000 \text{ А}$.

На машине установлены два электронных регулятора времени: один для общей длительности включения сварочного тока и пауз между включениями тока, второй для управления циклом работы машины.

Регулятор обеспечивает изменение выдержки времени в сек. в следующих пределах: на опускание электродов 0,23—6,75; на сварку



Фиг. 62. Кривая сварочного тока аккумуляторной машины при сварке алюминиевых сплавов толщиной $2 + 2 \text{ мм}$.

0,33—71,97; на прохождение тока 0,85—18,77; на паузу между включением тока 0,004—1,4; на проковку 0,04—1,4; на паузу между сварками 0,04—1,4.

Машины для точечной сварки энергией, запасаемой в аккумуляторах, вследствие их непрерывной зарядки и небольшого времени, на которое машина включается для сварки, по затрачиваемой мощности в 10—15 раз экономичнее обычных машин для точечной сварки.

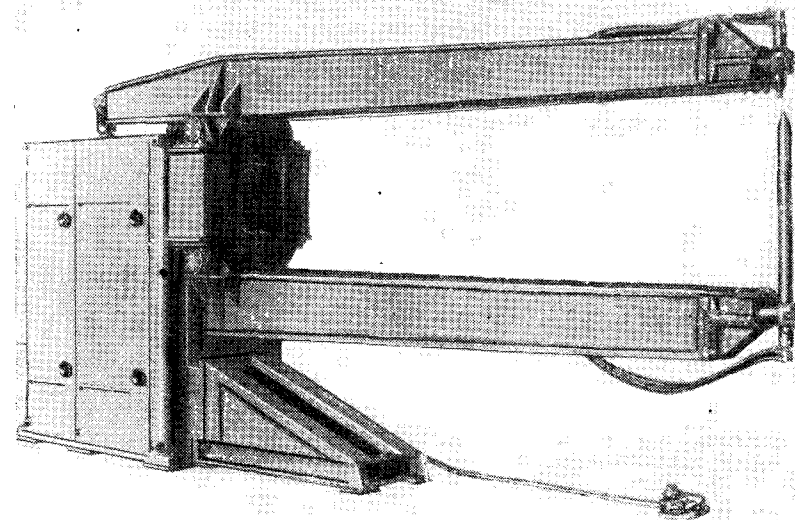
Напряжение аккумуляторной батареи 4—8 в, напряжение каждого элемента 2,2 в.

В машинах для сварки алюминиевых сплавов толщиной $3 + 3 \text{ мм}$ аккумуляторная батарея имеет 32 элемента. Мощность, потребляемая из сети, 23 кВт , сварочный ток $50\,000 \text{ А}$. Элементы аккумуляторной батареи охлаждаются проточной водой.

Кривая сварочного тока аккумуляторной машины при сварке деталей из алюминиевых сплавов толщиной $2 + 2 \text{ мм}$ приведена на фиг. 62. Аккумуляторные машины могут применяться как для точечной, так и для стыковой сварки.

Машины для точечной сварки кинетической энергией, запасаемой в маховых массах мотор-генераторной системы, потребляют из сети мощность примерно в 4—5 раз меньшую, чем обычные стандартные машины.

В качестве источника питания таких машин могут быть применены генераторы постоянного или переменного тока, приводимые во вращение от трехфазного асинхронного электродвигателя. Во время сварки, когда от генератора требуется повышенная мощность, кинетическая энергия, накапливаемая в период



Фиг. 63. Машина типа МТП-500/3100 для точечной сварки деталей больших габаритов

между сварками во вращающихся массах мотор-генераторной установки, преобразуется в электрическую энергию, увеличивая мощность, отдаваемую генератором, без значительного повышения нагрузки на электросеть.

При применении генератора переменного тока напряжение от него подводится к первичной обмотке сварочного трансформатора машины. Управление процессом сварки производится путем воздействия на обмотку возбуждения генератора.

В случае применения генератора постоянного тока напряжение подводится непосредственно к сварочному контуру машины.

Ток, получаемый от генератора, соединенного с электродвигателем мощностью 30 кВт , достигает $50\,000 \text{ А}$.

Мотор-генераторные установки, а также машины для сварки энергией, запасаемой в аккумуляторах, не получили пока промышленного применения.

Машина МТП-500/3100 (фиг. 63) предназначена для точечной сварки деталей больших габаритов из нержавеющей сталей толщиной до $2 + 2,5 \text{ мм}$.

Верхний и нижний кронштейны машины подвижны и шарнирно соединены с корпусом машины.

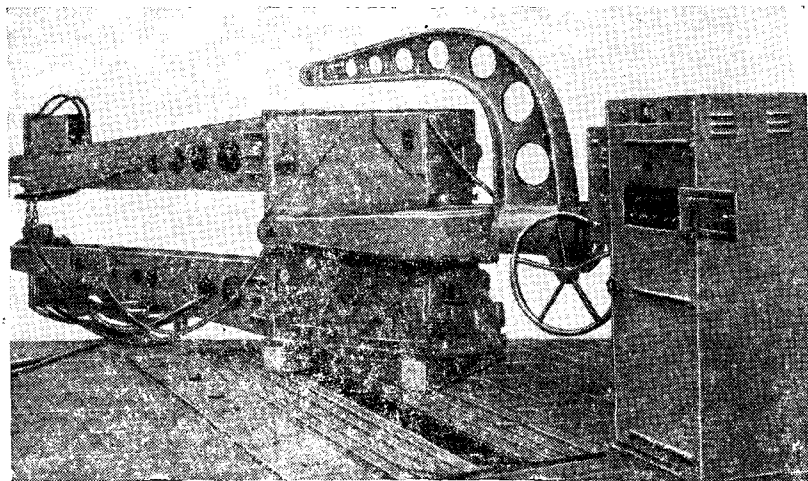
Внутри корпуса расположены цилиндры, управляющие поворотом верхнего и нижнего кронштейна.

Ход нижнего электрода плавно регулируется в пределах до 40 мм , ход верхнего электрода — в пределах до 150 мм .

Максимальное усилие между электродами 850 кг при давлении сжатого воздуха в сети 4 кг/см². Расход воды на охлаждение 820 л/час. Электроды охлаждаются проточной водой. Электрическая схема обеспечивает автоматическое управление последовательностью действия машины и синхронное включение и выключение сварочного тока. Номинальная мощность сварочного трансформатора 500 кВА при ПВ = 20%. Номинальный первичный ток 1300 А. Сварочный трансформатор имеет 32 ступени регулирования вторичного напряжения в пределах от 10 до 40 В.

При работе машины с асинхронным контактором выдержка времени регулируется в пределах от 0,04 до 6,75 сек., при работе с синхронным прерывателем тока от 1 до 50 периодов. Производительность машины 10 сварок в минуту. Вылет электродов 3100 мм. Габаритные размеры машины в мм: высота 2160, ширина 1000, глубина 4900. Вес машины 2950 кг.

Машина типа МТПГ-2 × 50/2500 двухточечная подвесная (фиг. 64) предназначена для сварки нержавеющей стали толщиной до 2 + 2 мм. Вылет



Фиг. 64. Подвесная машина типа МТПГ-2 × 50/2500 для двухточечной сварки.

машины 2500 мм. Для сварки в различных плоскостях машина может поворачиваться относительно горизонтальной оси на угол до 270°.

Для сокращения размеров вторичного контура в машине применен двухсторонний токоподвод, позволяющий значительно снизить потребляемую мощность.

Машина имеет пневмогидравлическое устройство, обеспечивающее усилие на каждой паре электродов 750 кг.

Мощность машины 210 кВА, вторичное напряжение 3,88—7,76 В. Производительность до 20 точек в минуту. Машина снабжена прерывателем, обеспечивающим синхронное и асинхронное включение сварочного тока.

Специализированные машины для многоточечной сварки

Многоточечные машины предназначаются для массового производства, где требуется повышенная производительность при значительном количестве сварных точек на каждой свариваемой детали. Многоточечные машины представляют собой специализированную конструкцию, разрабатываемую в каждом отдельном случае применительно к свариваемому изделию. Количество электро-

дов, применяемых на многоточечных машинах, практически не ограничено и зависит от количества требуемых сварных точек.

Многоточечные машины выпускаются однотрансформаторными и многотрансформаторными; те и другие для последовательного и одновременного зажатия электродов.

В многоточечных машинах с последовательным зажатием электродов сварка производится поочередно под каждым электродом в отдельности. Такие машины большей частью выпускаются с гидравлическим приводом механизма сжатия и коммутацией тока в первичной цепи.

Недостатком их конструкции является возможность коробления изделия во время сварки, так как оно зажимается одним или небольшой группой электродов.

В многоэлектродных машинах с одновременным зажатием электродов коробление изделия наблюдается реже, процесс сварки протекает быстрее, так как перемены между отдельными сварками сводятся до минимума. Основным временем, определяющим производительность машины, является время установки и снятия деталей. Особенностью многоэлектродных машин с одновременным зажатием электродов, к которым питание подводится от одного или нескольких трансформаторов, является необходимость (в большинстве случаев) переключения тока во вторичной цепи.

Многоэлектродные машины широко применяются в автопромышленности для сварки дверей, капота и других деталей.

Конструкции многотрансформаторных машин по своему оформлению аналогичны многоточечным машинам с одновременным зажатием электродов.

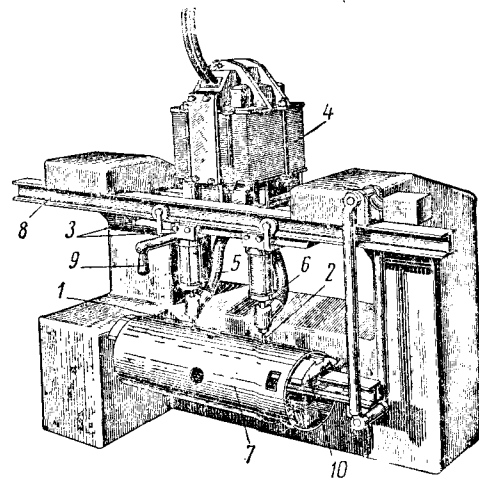
Основное отличие многотрансформаторных машин заключается в применении индивидуальных трансформаторов для каждой пары электродов.

Сварка может быть односторонняя или двусторонняя. В последнем случае для каждой двух сварных точек устанавливаются два трансформатора — по одному с обеих сторон свариваемого изделия.

Применение индивидуальных трансформаторов позволяет значительно уменьшить вторичный контур машины, который остается постоянным независимо от того, на каком участке детали производится сварка, а также позволяет получать широкий диапазон регулирования как времени сварки, так и подводимой мощности к различным парам электродов.

Двухточечная машина (фиг. 65) предназначена для односторонней двухточечной сварки цилиндрических деталей. Сварка производится одновременно двумя электродами 1 и 2, расположенными на подвижной каретке 3. Сварочный трансформатор 4 присоединен к электродам гибкими кабелями 5 и 6. Во время работы каретка перемещается вдоль свариваемого изделия 7 по двутавровой балке 8 при помощи рукоятки 9. Свариваемое изделие помещается на медной подкладке 10.

Машины для односторонней двухточечной сварки применяются также в вагоностроении для сварки крыши. Установка представляет собой самоходный портал, на котором расположена двухэлектродная головка. Головка во время



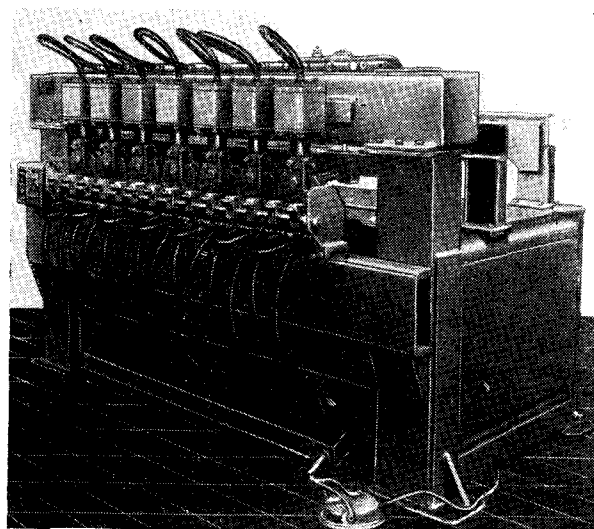
Фиг. 65. Машина для односторонней двухточечной сварки цилиндрических деталей.

работы перемещается вдоль криволинейной балки, которая обеспечивает направление электродов соответственно форме крыши.

После сварки одного ряда точек самоходный портал перемещается вдоль крыши на следующий шаг. Сварка повторяется до тех пор, пока самоходный портал не переместится на длину 5 м. Затем портал возвращают в исходное положение, при этом он перемещает с собой и крышу.

В дальнейшем процесс сварки снова будет повторяться в той же последовательности до тех пор, пока не будет сварена вся крыша.

Машина МТМС-7 × 35 (фиг. 66) предназначена для полуавтоматической сварки плоских арматурных сеток шириной до 1400 мм из проволоки диаметром



Фиг. 66. Машина типа МТМС-7 × 35 для полуавтоматической сварки плоских арматурных сеток.

от 3 до 6 мм. Поперечная проволока укладывается под электроды вручную. Сварка может осуществляться одновременно 14 электродами при одностороннем подводе тока. Ток подводится к нижним неподвижным электродам от сети однофазных сварочных трансформаторов мощностью 35 кВА каждый. Поперечная проволока после приварки ее к продольным проволокам захватывается крюками и с помощью пневматического механизма перемещается на заданный шаг.

Регулирование длительности включения сварочного тока и проковки осуществляется электронным регулятором времени.

Включение трансформаторов производится через игнитронный контактор. Пределы регулирования вторичного напряжения сварочного трансформатора от 2,75 до 6,15 В. Максимальное давление между электродами 200 кГ. Габаритные размеры машины в мм: высота 1645, ширина 2430, глубина 1335. Вес машины 2630 кГ (без шкафа управления).

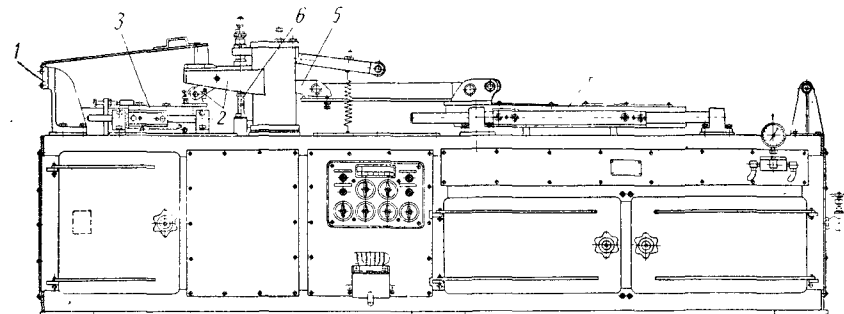
Многоэлектродный автомат АТМК-2 × 50 предназначен для сварки арматуры железобетонных изделий и рассчитан на сварку плоских арматурных каркасов шириной от 50 до 500 мм при диаметре продольных стержней от 3 до 12 мм и поперечных от 3 до 8 мм; производительность до 4 м/мин. Каркасы выполняются как с постоянным, так и с переменным шагом, — 100 и 150 мм, 100 и 200 мм, 150 и 200 мм.

Автоматическая линия для изготовления каркасов состоит из сварочного автомата АТМК-2 × 50; барабанов, на которые наматывается очищенная и

выпрямленная проволока для продольных стержней каркаса; пятироликовых устройств для правки продольных стержней; ножниц для отрезки сваренного каркаса; приемного стола для готовых каркасов.

Продольные стержни пропускаются через станок для правки и очистки и наматываются на барабаны, а поперечные, предварительно выправленные, очищенные и нарезанные по заданным размерам в соответствии с шириной каркаса, укладываются в бункер автомата.

Сварочный автомат выполняет следующие основные операции: подачу поперечной проволоки из бункера в приемный механизм; подачу проволоки из приемного механизма под сварочные электроды; зажатие и сварку проволоки во всех пересечениях; перемещение каркаса в продольном направлении на заданный шаг; подачу команды на ножницы для отрезки сваренного каркаса определенной длины; отсчет количества сваренных поперечных прутков как при постоянном, так и при переменном шаге.



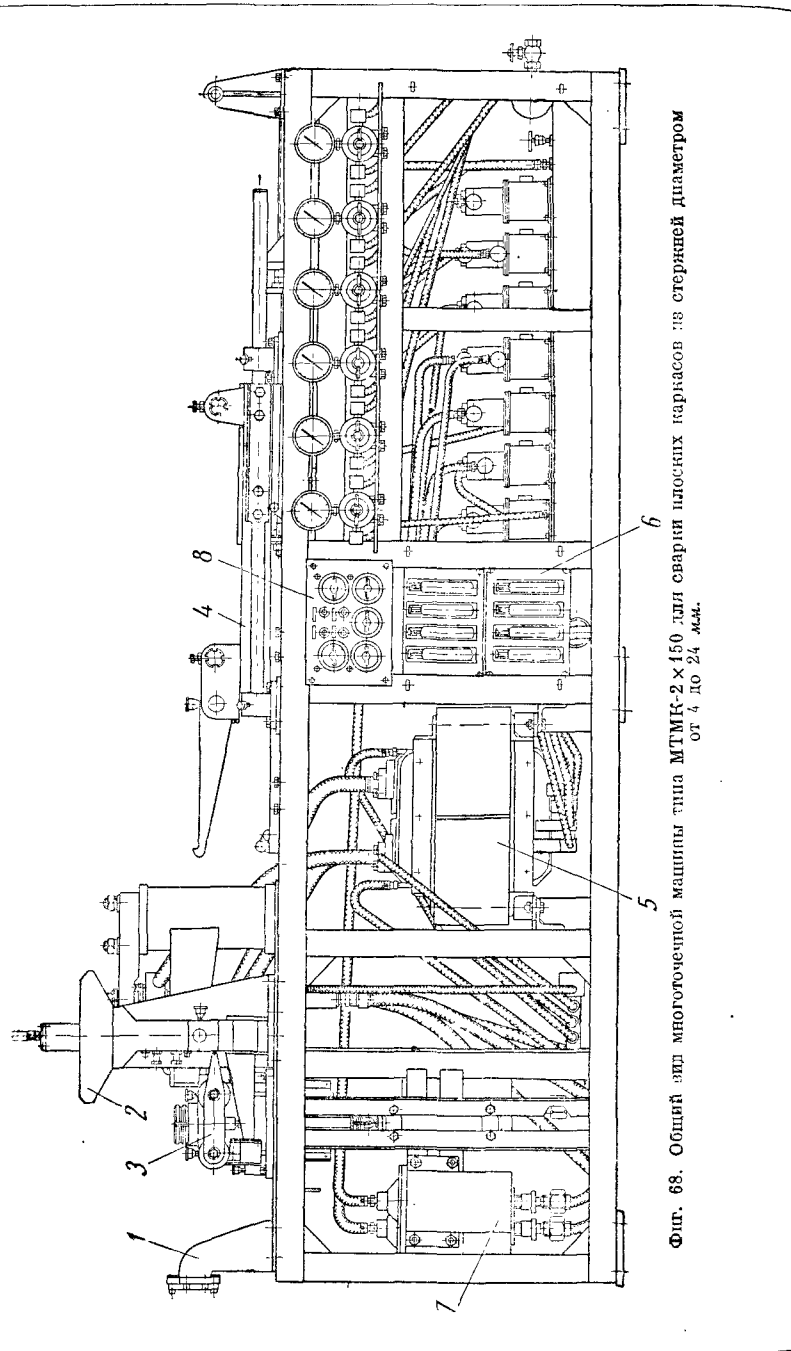
Фиг. 67. Общий вид автомата типа АТМК-2 × 50 для сварки плоских каркасов из стержней диаметром от 3 до 12 мм.

Автомат АТМК-2 × 50 (фиг. 67) состоит из приемного устройства 1, представляющего собой плиту с двумя рядами отверстий через 25 мм, в которые проходят продольные стержни; направляющего приемного устройства 2 с набором сменных кондукторов для приема поперечных стержней из бункера; механизма подачи поперечных стержней под сварочные электроды, состоящего из каретки 3, перемещающейся под действием пневматического цилиндра; устройства для подачи поперечных стержней из бункера в направляющее приемное устройство; механизма перемещения готовой сетки, состоящего из каретки 4 и пневматического цилиндра, управляющего ходом каретки. На каретке расположены два рычага 5 с захватами для перемещения сваренного каркаса. Зажатие электродов 6 производится от пневмогидравлического устройства. Электрическая схема автомата смонтирована на самом автомате и в отдельном шкафу. В электрическое устройство входят сварочные трансформаторы, переключатели ступеней, пульт управления и различная аппаратура для управления работой автомата. В шкафу смонтированы игнитронные лампы, реле отсчета импульсов и другая пускорегулирующая аппаратура.

Автомат имеет два сварочных трансформатора мощностью по 50 кВА каждый. Вторичное напряжение холостого хода с помощью восьмиступенчатого переключателя регулируется в пределах от 2,88 до 5,07 В.

Многоэлектродная машина типа МТМК-2 × 150 (фиг. 68) предназначена для точечной сварки плоских каркасов шириной от 200 до 575 мм из стержней диаметром от 4 до 24 мм.

Машина автоматически производит подачу поперечных стержней из бункера в приемное устройство, подачу их под сварочные электроды, сварку в местах пересечения продольных стержней с поперечными и перемещение каркаса на заданный шаг. Продольные стержни закладываются в машину вручную. На корпусе машины расположены: приемное устройство для продольных стержней 1,



Фиг. 68. Общий вид многооточечной машины типа МТМФ-2х150 для сварки плоских каркасов из стержней диаметром от 4 до 24 мм.

бункер 2 для поперечных стержней, механизм подачи поперечных стержней из бункера в направляющее устройство 3 и механизм перемещения каркаса 4. В корпусе машины установлены два сварочных трансформатора 5 мощностью по 150 кВА каждый при ПВ = 20%; переключатель ступеней 6; пневмогидравлическое устройство 7 управления пистолетами; пульт управления 8 и различная пневмоэлектрическая пускорегулирующая аппаратура.

Все операции в машине осуществляются пневматическими механизмами, управляемыми электропневматическими клапанами и реле.

Трансформаторы имеют 6 ступеней регулирования с изменением вторичного напряжения холостого хода от 3,72 до 11,85 В.

Производительность машины при расстоянии между поперечными стержнями 200 мм составляет 3 м сварной фермы в минуту.

Автомат МТМФ-2х150 предназначен для сварки плоских ферм, изготовляемых из продольных стержней диаметром от 6 до 14 мм и поперечных диаметром от 6 до 10 мм.

Ширина фермы А от 100 до 350 мм, с шагом t поперечных стержней зигзагообразной формы от 200 до 400 мм (фиг. 69).

Автомат МТМФ-2х150 производит следующие операции: зигзагообразную формовку поперечного стержня, подачу сформованного стержня под сварочные электроды, фиксацию стержней при сварке, перемещение плоской фермы после каждой сварки на заданный шаг, отсчет заданного количества шагов, подачу команды на ножницы для резки фермы требуемой длины.

Формовка стержня производится системой, состоящей из шарнирно соединенных рычагов, управляемых пневматическими цилиндрами.

Размеры каркаса по ширине и шаг поперечных стержней определяются ходом поршня цилиндра и длиной сменных рычагов.

Сформованная проволока, натянутая между формующими штырями, а также сваренная ферма фиксируются специальными пневматическими захватами, закрепленными на каретке перемещения фермы. После того, как проволока будет надежно зафиксирована, каретка под действием пневматического цилиндра переместит ферму на заданный шаг.

С правой стороны машины установлено прижимное устройство, фиксирующее положение фермы во время освобождения захватов. Прижимное устройство состоит из стола и прижимной плиты, между которыми зажимается сваренная ферма. Зажатие осуществляется посредством пневматических цилиндров и рычагов, шарнирно связанных с плитой и нижней частью стола.

Зажатие электродов производится от пневмогидравлической системы. В зависимости от давления сжатого воздуха усилие зажатия может регулироваться в пределах от 100 до 500 кг.

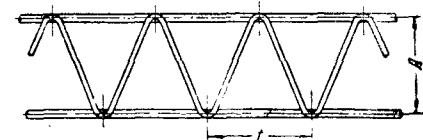
В корпусе машины под электродами установлены два сварочных трансформатора бронзового типа мощностью по 150 кВА каждый. Первичная обмотка трансформаторов имеет 16 ступеней регулирования с изменением вторичного напряжения холостого хода от 4,5 до 9 В.

Первичные обмотки трансформаторов включаются в электросеть через игнитронные прерыватели типа КИА. Длительность включения тока задается электронными регуляторами времени в пределах от 0,23 до 6,75 сек.

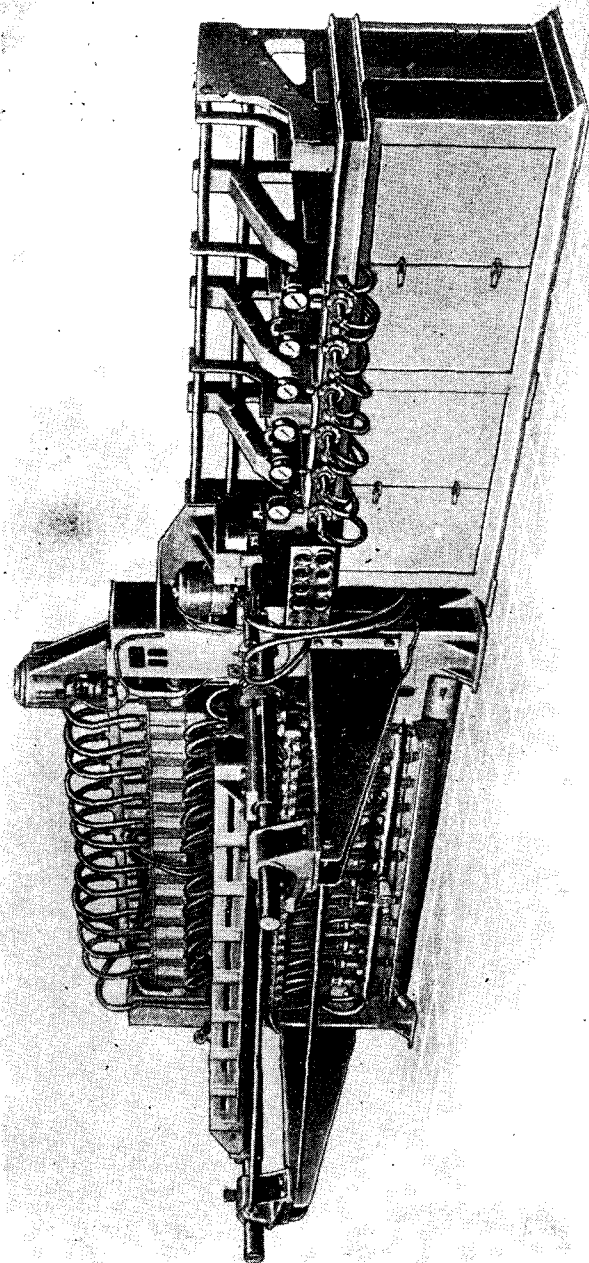
Специальное реле счета импульсов после сварки фермы определенной длины дает команду на включение гильотинных ножниц для отрезки фермы. Производительность автомата около 2 м сварной фермы в минуту.

Сварочный автомат АТМС-14х75-4 является составной частью автоматической линии для изготовления плоских арматурных сеток (фиг. 70).

Автоматическая линия производит все операции, начиная от правки проволоки, подачи и приварки поперечного прутка, кончая отрезкой готовой сетки на заданный размер.



Фиг. 69. Размеры плоских ферм, свариваемых на автомате типа МТМФ-2х150.



Фиг. 70. Автомат АТМС-14×75-4 для сварки арматурных сеток.

Автомат выполняет следующие операции: прием из бункера поперечного стержня и подачу его в приемное устройство автомата, подачу поперечного стержня под электроды, сварку поперечного стержня с продольными в местах пересечения, перемещение сетки на заданный регулируемый шаг, автоматический отсчет длины изготовленной сетки и включение пощипа для ее отрезки на заданную длину.

Наибольшая ширина сетки, которую можно сваривать на автомате, составляет 2350 мм из проволоки диаметром от 3 до 12 мм.

Сварка осуществляется либо одновременно во всех пересечениях, либо в две очереди последовательно. Подвод сварочного тока (односторонний) производится к нижним неподвижным электродам от двенадцати сварочных трансформаторов (к двум электродам от каждого трансформатора). Количество включаемых трансформаторов зависит от числа продольных проволок в сетке.

Для сварки сеток с различными размерами ячеек в машине предусмотрена возможность плавного изменения расстояния между центрами электродов (верхних и нижних), а также величины хода каретки подачи сетки и, следовательно, расстояния между поперечными проволоками.

В автомате предусмотрена возможность производить сварку или всех стержней одновременно или для снижения потребляемой мощности отдельными группами. Автомат имеет 12 сварочных трансформаторов. Мощность каждого трансформатора 75 кВА. Вторичное напряжение холостого хода регулируется 8 ступенями в пределах от 3,58 до 7,9 В. Включение сварочных трансформаторов осуществляется игнитронными размыкателями. Каждый размыкатель включает группу трансформаторов в одну из фаз сети.

Все основные механизмы автомата приводятся в действие сжатым воздухом от пневматической сети давлением 5—6 кг/см². Каретка подачи сетки имеет 4 пневматических цилиндра. Подача сжатого воздуха в цилиндры механизма автомата производится с помощью электромагнитных клапанов. Последовательность действия механизмов автомата и регулирование времени отдельных этапов обеспечиваются с помощью электронных регуляторов времени.

Производительность автомата при сварке сеток из проволок диаметром 5—6 мм при расстоянии между поперечными стержнями 300 мм составляет 4 м/мин.

Автомат АТМС-14×75-5 предназначен для сварки сеток шириной 2350 мм с диаметром проволоки (продольной и поперечной) от 3 до 18 мм. От автомата АТМС-14×75-4 отличается ручной подачей поперечного прутка из бункера подающего устройства машины. Кроме того, схемой предусмотрено включение трансформаторов в 4 очереди. Общая потребляемая мощность 225 кВА.

Машина МТМС-15×450 рассчитана на сварку сеток тяжелой арматуры шириной до 4 м из продольных стержней диаметром до 100 мм. Машина собирается из отдельных секций, расположенных на общей раме. Каждая секция имеет свой механизм зажатия электродов, обеспечивающий давление до 12,8 т, и сварочный трансформатор мощностью 450 кВА. Секции устанавливаются на роликах и в зависимости от требуемого расстояния между продольными стержнями могут быть легко передвинуты вдоль рамы. Машина осуществляет сварку одновременно в трех пересечениях.

Производительность машины при сварке продольных стержней диаметром до 60 мм и поперечных до 30 мм составляет 200—300 пересечений в час.

Технические характеристики машин для сварки арматуры приведены в табл. 19.

Многоточечная машина МТМЖ-2×50 (фиг. 71) предназначена для точечной сварки гребенок жалюзийных решет комбайна.

Машина рассчитана на одностороннюю сварку и имеет 8 пар сварочных электродов.

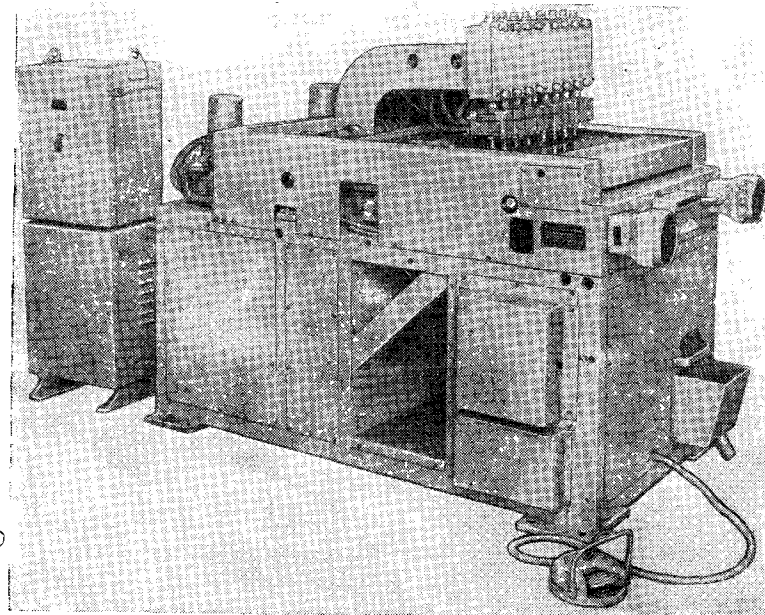
Верхние электроды закреплены на Г-образном кронштейне, приводимом в движение с помощью пневматических цилиндров. Сварочное давление между электродами осуществляется пневматическим цилиндром через пружины,

Наименование параметров	Типы машин					
	МТМС-7×35	АТМК-2×50	МТМК-2×150	МТМФ-2×150	МТМК-3×100	АТМС-14×75-4
Первичное напряжение в в	380	380	380	380	380	380
Мощность трансформатора в кВа	35	50	150	150	100	75
ПВ в %	20	25	20	20	20	10
Количество трансформаторов	7	2	2	2	3	14
Число ступеней регулирования	8	8	16	16	16	8
Вторичное напряжение холостого хода в в	2,75	2,88	3,72	4,52	3,02	2,88
Привод механизма сжатия	Пневматический	5,07	11,85	9,05	9,25	6,56
Усилие сжатия электродов в кг	200	500	700	500	1000	500
Число электродов	14	4	4	4	6	48
Подвод тока к электродам	Односторонний	Односторонний	Односторонний	Двухсторонний	Односторонний	Односторонний
Ширина свариваемой сетки или кар-каса в мм	1400	От 50 до 500	От 200 до 300	От 100 до 300	От 105 до 775	2350
Диаметр продольной свариваемой проволоки в мм	3-6	3-12	4-24	6-14	5-25	3-12
Диаметр поперечной свариваемой проволоки в мм	3-6	3-8	4-12	«Змейка» 6-10	4-12	3-12
Производительность машины в м/мин	—	—	3	2	3	3-4
Подача поперечного прутка	—	—	Из бункера	Из бункера	Из бункера	Из бункера
Привод перемещения сетки — наркаса	—	—	3500	5000	3000	7700
Вес машины в кг	2630	3000	90	150	60	39
Расход сжатого воздуха в м³/ч	17	60	8	5	20	30
Расход охлаждающей воды в л/мин	8	5	—	—	—	—
Габаритные размеры машины в мм:						
высота	1645	1120	1650	1520	1550	2115
ширина	2430	2920	3285	4030	3250	6080
глубина	1335	1400	2150	1140	1400	3500

с которыми связаны верхние электроды. Изменяя натяг пружин, регулируют давление между отдельными электродами независимо от давления пневматического цилиндра. Давление может регулироваться в пределах от 100 до 250 кг. Общее давление на детали до 2000 кг (250 × 8).

Внутри корпуса машины установлены два однофазных сварочных трансформатора бронзового типа мощностью по 50 кВа каждый при ПВ=20%. Трансформатор имеет две вторичные обмотки, электрически независимые друг от друга. Каждый виток присоединен к двум нижним электродам.

Трансформаторы имеют 5 ступеней регулирования вторичного напряжения в пределах от 3,1 до 5,25 в.



Фиг. 71. Многоточечная машина типа МТМК-2×50 для сварки жалюзных решет комбайна.

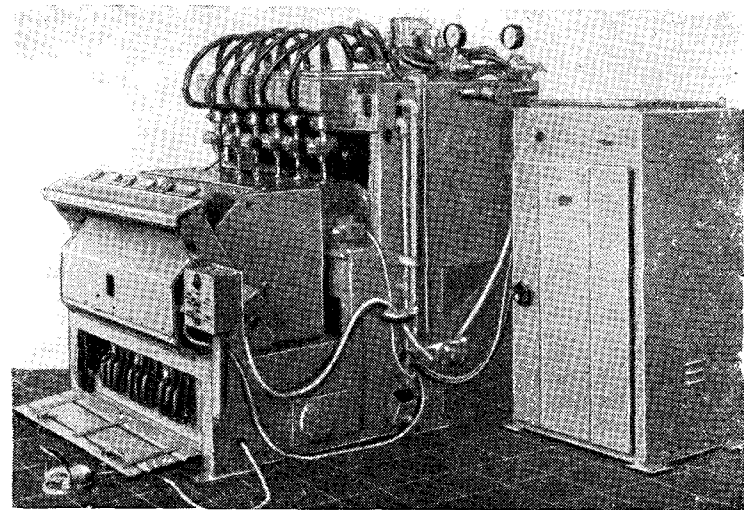
Сварочные трансформаторы включаются в сеть игнитронным контактором. Последовательность действия машины осуществляется электронным регулятором времени. Электрооборудование размещено в корпусе машины и шкафу управления.

Производительность машины 350 деталей в час. Габариты машины в мм: длина 1850, высота 1500, ширина 1060. Вес 1200 кг.

Многоточечная машина МТМК-6×75 (фиг. 72) предназначена для сварки гребенок жалюзных решет комбайна с осью. Жалюзные решета изготавлиются из оцинкованной стали толщиной 0,5 мм, ось — из малоуглеродистой стали диаметром 4 мм.

Машина автоматически выполняет следующие операции: подачу гребенок под электроды, фиксацию их во время сварки, сварку в шести точках, удаление свариваемого изделия из-под электродов.

Сварка осуществляется при двухстороннем подводе сварочного тока. Перед сваркой детали предварительно собираются в кондукторе; установка их на машине производится вручную (табл. 20).



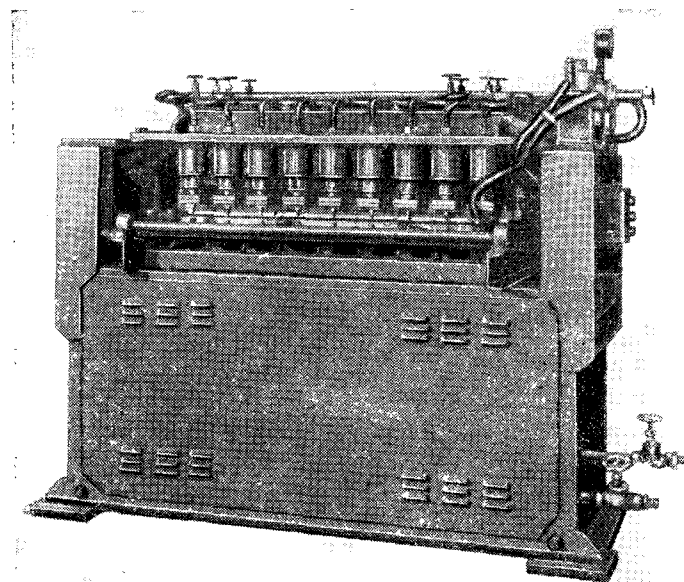
Фиг. 72. Многоточечная машина типа МТМЖ-6 x 75 для сварки гребенок комбайна с осью.

табл. Технические данные машины типа МТМЖ-6 x 75

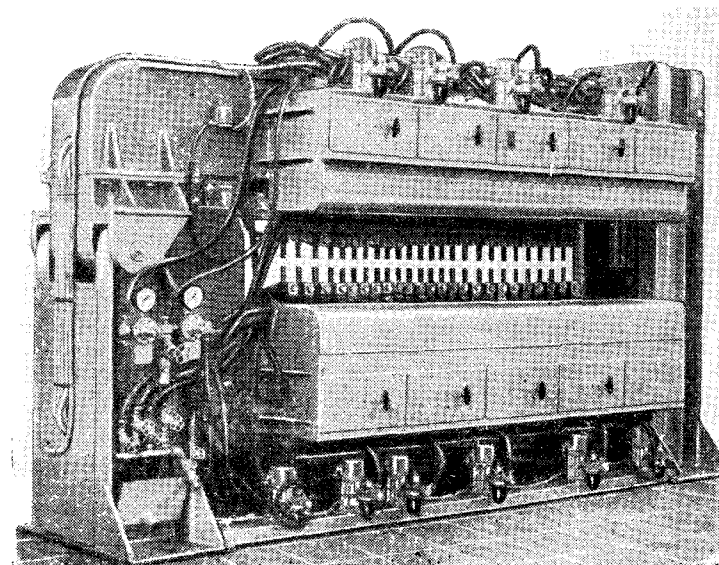
Технические данные	МТМЖ-6 x 75
Мощность в <i>кВа</i>	6 x 75 = 450
ПВ в %	10
Количество трансформаторов	6
Пределы регулирования вторичного напряжения в <i>В</i>	3,12—6,24
Число ступеней регулирования вторичного напряжения	8
Давление между каждой парой электродов в <i>кг</i>	450
Производительность машины (деталей в час)	350
Габаритные размеры в <i>мм</i> :	
высота	1640
ширина	1490
глубина	1790
Вес в <i>кг</i>	2600

Многоточечная машина МТМЛ-9 x 30 (фиг. 73) предназначена для сварки внахлестку малоуглеродистой стали шириной от 500 до 1000 мм и толщиной от 0,22 до 0,6 мм. Машина рассчитана на одностороннюю сварку и имеет 18 сварочных электродов. Усилие на электродах и их перемещение осуществляется с помощью пневматических цилиндров. Ход электродов до 20 мм, максимальное усилие между каждой парой электродов 200 кг при давлении сжатого воздуха 5 кг/см². Подъем электродов производится с помощью пружин. Для фиксирования положения концов свариваемой ленты установлены специальные роликовые направляющие. Предусмотрена также возможность изменения расстояния между направляющими при изменении ширины свариваемой ленты.

Зажатие лент после установки их между верхними и нижними электродами производится с помощью планки, на которую действуют два пневматических



Фиг. 73. Многоточечная машина типа МТМЛ-9 x 30 для сварки ленты.



Фиг. 74. Многоточечная машина типа МТМТ-10 x 240 для точечной сварки боковых стенок кузова тепловоза.

цилиндра. Управление зажатием осуществляется с помощью кнопки и электропневматических клапанов.

В машину встроено 9 сварочных трансформаторов мощностью по 30 *кв*а каждый при ПВ=3%. Общая номинальная мощность машины 270 *кв*а. Трансформаторы имеют 16 ступеней регулирования вторичного напряжения в пределах от 1,27 до 3,68 *в*. Номинальный первичный ток 410 *а*.

Вторичное напряжение сварочных трансформаторов регулируется изменением числа витков первичной обмотки понижающего трансформатора мощностью 270 *кв*а при ПВ=3%, а также изменением схемы соединения вторичной обмотки с треугольника на звезду. Понижающий трансформатор питается от трехфазной сети переменного тока. Вторичное напряжение холостого хода трансформатора изменяется в пределах от 25,4 до 73,7 *в*.

Включение сварочных трансформаторов производится двумя игнитронными контакторами. Длительность включения задается электронным регулятором времени.

Габариты машины в мм: ширина 1895, высота 1608, глубина 900. Вес без шкафа управления 1390 *кг*.

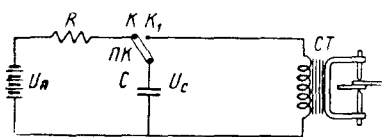
Габариты шкафа управления в мм: ширина 860, высота 1585, глубина 750. Вес 625 *кг*.

Многоточечная машина МТМТ-10 × 240 (фиг. 74) служит для точечной сварки боковых стенок кузова тепловоза. Машина имеет 30 пар электродов, подключенных к 10 сварочным трансформаторам мощностью 240 *кв*а каждый. Давление на электроды осуществляется с помощью многоступенчатых пневматических пистолетов. Расстояние между соседними электродами 65—100 мм; наибольшее расстояние между крайними электродами 2145 мм.

Машины для точечной импульсной сварки

Импульсные машины применяются преимущественно для точечной сварки легких сплавов. Для получения удовлетворительного качества сварки легких сплавов в машинах этого типа предусматривается соответствующая форма волны сварочного тока, переменное давление в процессе сварки и строгое постоянство режима работы.

Для сварки алюминиевых сплавов выпускаются различные типы машин: а) машины переменного тока с синхронным прерывателем тока; б) конденсаторные машины; в) машины для сварки энергией магнитного поля; г) машины для сварки импульсом выпрямленного тока.



Фиг. 75. Принципиальная электрическая схема конденсаторной машины.

Машины с синхронным прерывателем тока по своей конструкции аналогичны машинам типа МТП и снабжаются игнитронным прерывателем типа ПИТ. В этих машинах предусматриваются также облегченные легкоподвижные головки механизма сжатия и возможность получения повышенных давлений в начале и конце цикла сварки. Игнитронные прерыватели дают возможность регулировать продолжительность импульсов тока от 1 до 19 импульсов через один период, а также продолжительность прохождения тока в течение каждого полупериода.

Конденсаторные машины для точечной сварки электростатической энергией по сравнению с обычными однофазными машинами имеют ряд преимуществ, заключающихся в равномерной нагрузке трехфазной электросети, малой потребляемой мощности, а также в возможности получения значительных сварочных токов при точном дозировании энергии для каждой точки.

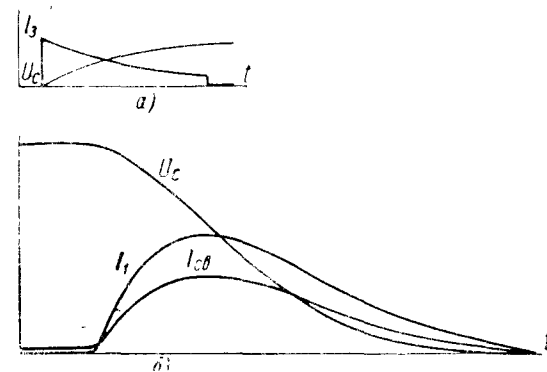
На фиг. 75 приведена принципиальная электрическая схема конденсаторной машины для точечной сварки. При замыкании выключателя ПК с контактом К конденсатор С заряжается от источника питания через сопротивление R. Зарядный ток проходит до тех пор, пока напряжение U_c на конденсаторе не возрастет до напряжения источника питания U_n .

На фиг. 76, а показаны кривые зарядного тока I_z и напряжения U_c .

При замыкании выключателя ПК (фиг. 75) с контактом К₁ запасенная в конденсаторе энергия поступает через первичную обмотку трансформатора СТ во вторичную цепь машины. Продолжительность прохождения сварочного тока, его величина и форма кривой определяются параметрами сварочной машины и конденсаторов.

Регулированием этих параметров изменяют величину и форму кривой тока. На фиг. 76, б приведены кривые разрядного тока.

Количество энергии, аккумулируемой конденсаторами, определяется максимальным напряжением и емкостью конденсаторов.



Фиг. 76. Кривые зарядного тока и напряжения конденсаторной машины.

Энергия электрического поля конденсаторов равна

$$W_k = \frac{CU_c^2}{2},$$

где C — емкость конденсатора в *мкф*; U_c — напряжение на конденсаторе. Обычно применяются батареи конденсаторов емкостью до 4000—5000 *мкф* и напряжением до 4000 *в*.

При равномерной трехфазной нагрузке сети конденсаторные машины потребляют мощность, обычно не превышающую 50—60 *кв*а.

Машины для сварки энергией магнитного поля, так же как и конденсаторные машины, получают питание от трехфазной электросети через выпрямительное устройство. Процесс сварки на машинах с использованием энергии магнитного поля основан на принципе использования в свариваемой точке в короткий промежуток времени части электроэнергии, накопленной в сварочном трансформаторе при пропускании через его первичную обмотку постоянного тока.

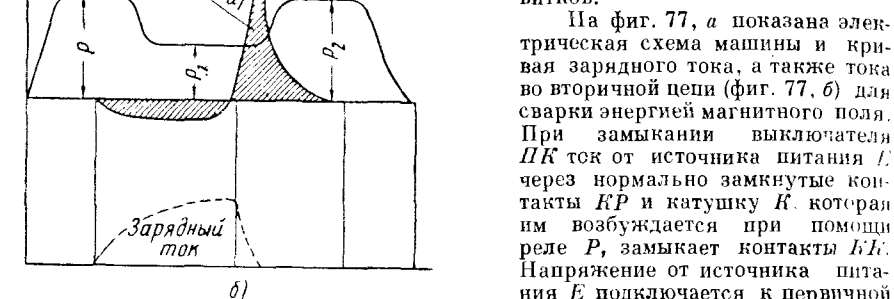
При подключении первичной обмотки трансформатора к источнику постоянного тока ток в обмотке трансформатора возрастает от нуля до максимально установленной величины. При этом в сердечнике трансформатора создается магнитное поле, для возбуждения которого затрачивается определенное количество энергии.

Размыкание первичной обмотки трансформатора вызывает исчезновение магнитного поля и индуктирование электродвижущей силы в обмотках трансформатора. Чем быстрее размыкается цепь первичной обмотки, тем выше скорость изменения магнитного потока и, следовательно, выше индуктируемая э. д. с. Количество энергии, накопленной в трансформаторе, значительно

увеличивается при введении в магнитную цепь трансформатора воздушного зазора.

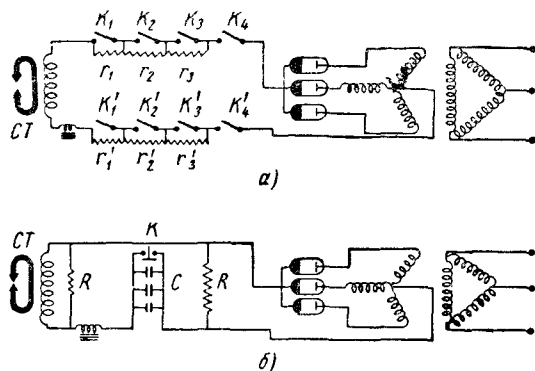
Количество энергии, накапливаемой в сердечнике при оптимальном зазоре, может быть доведено до 12—15 вт·с на 1 кг электротехнической стали.

Трансформаторы для аккумуляции электромагнитной энергии в отличие от обычных сварочных трансформаторов изготовляются из стали повышенного качества, имеют воздушный зазор и увеличенное количество витков.



Фиг. 77. Принципиальная электрическая схема машины для сварки энергией магнитного поля.

Когда ток в первичной цепи достигает определенного значения, возбуждается катушка реле P и размыкает контакты KP . Цепь катушки K контактора размыкается и контакты KK прерывают прохождение первичного тока. Благодаря быстрому уменьшению первичного тока сварочный ток во вторичной цепи быстро возрастает и достигает своего пикового значения в точке, где первичный ток уменьшается до нуля. Пиковое значение сварочного тока можно регули-



Фиг. 78. Принципиальная электрическая схема размыкания первичной цепи трансформатора.

ровать изменением тока, при котором возбуждается реле P , и скоростью размыкания первичной обмотки.

На фиг. 77, б приведены кривые зарядного и разрядного токов и соответствующие им давления на электроды (P , P_1 и P_2).

Прерывание первичного тока производится контакторами различного типа. На фиг. 78 приведены два варианта схем для размыкания первичной цепи трансформатора. В схеме фиг. 78, а применена группа контакторов, при поочередном действии которых и при размыкании их контактов вводятся сопротивления в первичную цепь. В момент размыкания первичной цепи последним контактором ток успевает значительно снизиться, чем достигается снижение в этот момент пика напряжения в первичной цепи. Группы контакторов включаются последовательно с обеих сторон первичной обмотки трансформатора. Контакты K_1 , K_2 , K_3 и K'_1 , K'_2 , K'_3 шунтируются сопротивлениями r_1 , r_2 , r_3 и r'_1 , r'_2 , r'_3 . Контактors отрегулированы таким образом, что вначале размыкаются контакты K_1 , K'_1 затем K_2 , K'_2 и K_3 , K'_3 и, наконец, K_4 , K'_4 .

К недостаткам этих контакторов следует отнести трудность настройки на последовательное отключение и значительные потери энергии, рассеиваемой в дуге во время разрыва, составляющие около 25% от общей аккумуляченной энергии.

На фиг. 78, б показана схема с применением однополюсного пневматического контактора, шунтированного конденсаторами. Чтобы предотвратить искрение между контактами при такой системе, скорость подвижного контакта K должна быть очень высокой. Емкость конденсаторов C подбирается в зависимости от параметров цепи. Сжатый воздух, проходящий через отверстие контакта, значительно уменьшает время горения дуги и охлаждает контакты. Средняя скорость перемещения подвижного контакта до 6 м/сек. Время разрыва цепи от 0,005 до 0,006 сек.

Для предохранения элементов цепи от высоких напряжений, возникающих при разрыве первичной цепи, параллельно первичной обмотке трансформатора подключается сопротивление

Во время зарядки сварочного трансформатора через замкнутые электроды вторичной цепи проходит ток. Этот ток, используемый для подогрева деталей, не должен быть слишком большим во избежание чрезмерного нагрева деталей. Ток подогрева может быть уменьшен за счет увеличения времени зарядки, однако, это приводит к снижению производительности машины.

Для того чтобы аккумулировать требуемое количество электроэнергии в приемлемый промежуток времени и избежать при этом повышенного значения вторичного тока, применяют дополнительный дроссель, включаемый последовательно первичной обмотке сварочного трансформатора.

Во время зарядки, длительность которой колеблется в пределах от 0,5 до 1,5 сек. при сварке тонкого материала сварочный трансформатор отключается и вся энергия аккумулируется лишь в дросселе.

Когда зарядная цепь размыкается, напряжение на зажимах дросселя меняет свой знак на обратный и аккумулятивная в дросселе энергия с помощью игнитронной лампы передается через сварочный трансформатор во вторичный контур машины.

При сварке толстого материала, когда ток подогрева положительно сказывается на работе, во время аккумуляции энергии одновременно работают сварочный трансформатор и дроссель.

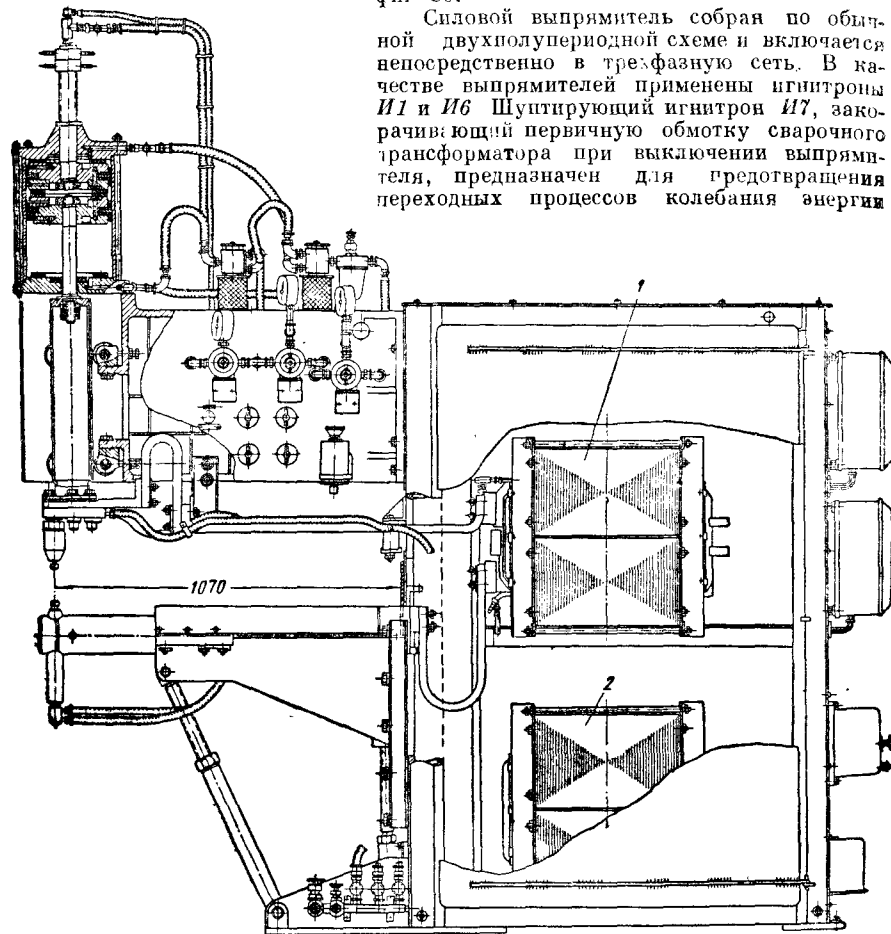
На фиг. 79 показана конструкция машины МТПИМ-200 для сварки легких сплавов толщиной $1,5 + 1,5$ мм. Для аккумуляции энергии машина имеет трансформатор 1 и дроссель 2. Вылет машины 1070 мм. Наибольший ход верхнего электрода 150 мм. Ползун механизма сжатия для уменьшения веса выполнен из силумина и для облегчения хода при перемещении имеет роликовые направляющие. Пневматическая система обеспечивает подъем и опускание электродов, создание давления между электродами с плавным регулированием в пределах от 250 до 2500 кг. изменение давления в процессе сварки, создание пониженного давления для зачистки электродов и увеличенный подъем верхнего электрода для случая сварки отбортованных деталей и зачистки электродов. Повышенное ковочное давление в конце сварки устраняет возможность образования грешин в сварной точке и улучшает ее структуру. Производительность машины до 30 точек в минуту.

Машины типа МТИП для точечной сварки импульсом выпрямленного тока выпускаются для сварки легких сплавов толщиной до $7 + 7$ мм.

Выпрямление тока осуществляется в первичной цепи с помощью выпрямителя. Длительность прохождения тока регулируется в пределах от 0,1 до 0,6 сек.

Простейшая электрическая схема, показывающая принцип работы машины для сварки импульсом выпрямленного тока типа МТИП, приведена на фиг. 80.

Силовой выпрямитель собран по обычной двухполупериодной схеме и включается непосредственно в трехфазную сеть. В качестве выпрямителей применены игнитроны И1 и И6. Шунтирующий игнитрон И7, закорачивающий первичную обмотку сварочного трансформатора при выключении выпрямителя, предназначен для предотвращения переходных процессов колебания энергии



Фиг. 79. Общий вид машины типа МТИП-200 для сварки легких сплавов.

между сетью и сварочным трансформатором. Для изменения направления тока в обмотках сварочного трансформатора СТ при каждой последующей сварке применен пневматический реверсивный контактор КР, срабатывающий после каждого импульса сварочного тока.

Форма кривой выпрямленного сварочного тока приведена на осциллограмме (фиг. 81).

Такая форма импульса тока позволяет получать хорошее качество соединений, особенно при сварке легких сплавов.

Машины типа МТИП обеспечивают равномерную загрузку трех фаз питающей сети, постоянство электрического режима сварки при колебаниях напряжения питающей сети и широкий диапазон регулирования режимов сварки.

Процесс работы машины полностью автоматизирован как для сварки одной точки, так и для сварки точек, непрерывно следующих друг за другом.

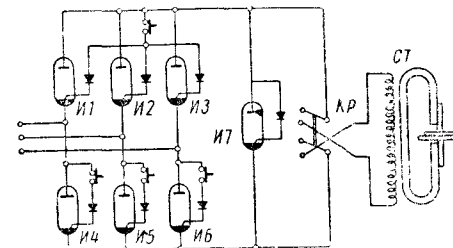
Головка давления, несущая верхний электрод, для легкости перемещения сделана из силумина и расположена между роликовыми направляющими.

Давление между электродами осуществляется пневматическим или пневмогидравлическим устройством, обеспечивающим возможность работы машины как с простым циклом давления, так и со сложным — с переменным давлением во время процесса сварки.

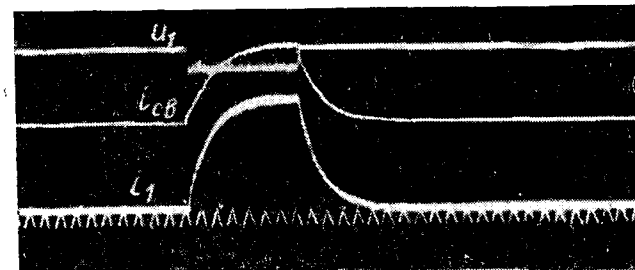
Машины комплектуются станциями питания и управления, которые обеспечивают подачу к первичной обмотке сварочного трансформатора импульсов постоянного напряжения. Для управления последовательностью цикла работы машины применен регулятор времени типа РВЭ-7.

Модернизированная серия импульсных машин типа МТИП выпускается четырех типоразмеров мощностью 300, 450, 600 и 1000 кВа.

Механизм давления этих машин представляет собой трехпоршневой цилиндр, связанный с легким ползуном (из силумина), расположенным в роликовых направляющих.



Фиг. 80. Принципиальная электрическая схема машины типа МТИП для сварки импульсом выпрямленного тока.



Фиг. 81. Осциллограмма сварочного тока машины типа МТИП: u_1 — первичное напряжение; $i_{св}$ — сварочный ток; i_1 — первичный выпрямленный ток.

Давление на электроды передается через диафрагму.

Благодаря такой конструкции механизм давления обладает весьма малой инерцией и трением подвижных частей.

Машина МТИП-1000 (фиг. 82) является наиболее крупной из серии трехфазных импульсных машин и рассчитана на сварку крупногабаритных узлов и деталей из алюминиевых сплавов толщиной до $7 + 7$ мм. Наличие в машине малоинертной подвижной головки с верхним электродом обеспечивает возможность быстрого перехода от сварочного усилия к ковочному, которое составляет 15 т. Вылет машины 1500 мм. Электрическая схема машины рассчитана на полную автоматизацию всех операций сварки. Автоматическая стабилизация рабочего напряжения, специальные циклы изменения сварочного тока и уси-

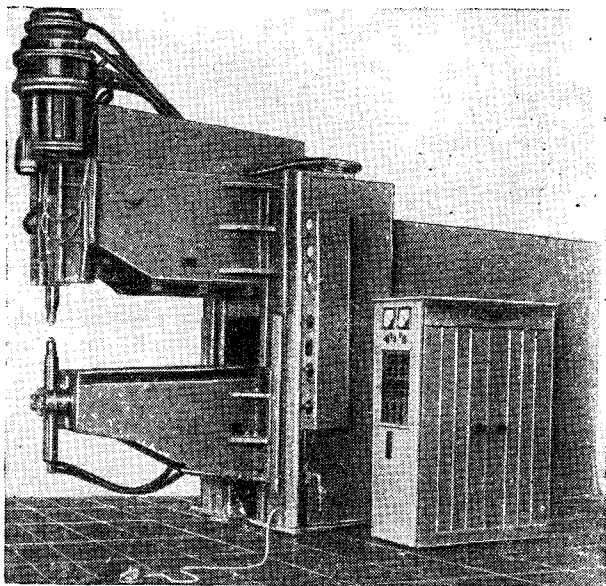
для сжатия деталей обеспечивают высококачественную сварку алюминиевых сплавов.

Трехфазные импульсные машины позволяют сваривать не только легкие сплавы, но и другие цветные металлы, а также стали.

Машины для точечной сварки легких сплавов выпускаются как прессового типа с прямолинейным ходом электродов, так и радиального — с ходом электродов по дуге окружности.

Технические данные машин типа МТИП приведены в табл. 21.

Машина МТИП-600 рассчитана на сварку деталей из легких сплавов толщиной стенок от $0,5 + 0,5$ до $1,5 + 1,5$ мм. Мощность машины 600 кВА. Машина имеет ход верхнего электрода по дуге окружности; кронштейн имеет небольшие размеры, позволяющие вводить верхний электрод внутрь изделия.



Фиг. 82. Машина типа МТИП-1000 для точечной импульсной сварки легких сплавов.

Полезный вылет машины 1200 мм может быть уменьшен до 900 мм. Расстояние между кронштейнами может регулироваться в пределах от 200 до 600 мм.

Механизм привода давления, расположенный внутри корпуса машины, обеспечивает рабочий и дополнительный ход верхнего электрода. Рабочий ход в пределах 10 мм осуществляется специальным пневматическим устройством, снабженным диафрагмой, а дополнительный до 120 мм — от пневматического цилиндра. Усилие на электродах регулируется в пределах от 150 до 600 кГ.

Машина имеет однофазное питание. Вторичное напряжение холостого хода, регулируемое с помощью 16-ступенчатого переключателя, может изменяться в пределах от 9 до 18 в.

Сварочный ток на номинальной ступени около 30 000 а. Средняя производительность 30 сварок в минуту.

Габаритные размеры в мм: ширина 965, высота 1580, длина 2765. Вес машины 1900 кг.

21. Технические характеристики модернизированных импульсных машин типа МТИП

Технические данные	МТИП-300-1	МТИП-450-2	МТИП-600-2	МТИП-1000
Максимальная мощность, потребляемая из трехфазной сети на номинальной ступени в кВА	300	450	600	1000
Толщина свариваемых деталей из легких сплавов в мм: от до	$0,8 + 0,8$ $2,5 + 2,5$	$1,0 + 1,0$ $3,5 + 3,5$	$1,5 + 1,5$ $4,5 + 4,5$	$3,0 + 3,0$ $7,0 + 7,0$
Номинальное напряжение питающей трехфазной сети в в.	380	380	380	380
Номинальное выпрямленное (первичное) напряжение в в.	390	390	390	390
Максимальное значение сварочного тока на номинальной ступени в а	54 500	67 500	82 500	160 000
Максимально допустимое время включения в сек. на номинальной (XIV) ступени при сварке легких сплавов	0,27	0,3	0,35	0,45
Максимальное действующее значение линейного тока сети на номинальной ступени в а	460	685	910	1520
Число ступеней регулирования вторичного напряжения	$16 + 4$	$16 + 4$	$16 + 4$	$16 + 4$
Пределы ступенчатого регулирования вторичного напряжения холостого хода сварочного трансформатора в в .	2,32—6,33	2,78—7,57	2,95—8,05	2,84—5,64
Пределы регулирования допустимой длительности включения выпрямителя в сек. .	0,1—0,45	0,1—0,54	0,1—0,63	0,02—0,6
Максимальный темп работы в св/мин при сварке легких сплавов: максимальной толщины . . минимальной толщины . .	15 30	15 25	12 25	8 20
Рабочий ход верхнего электрода на диафрагме в мм	до 15	до 15	до 25	до 30
Верхний предел плавного регулирования рабочего хода верхнего электрода (без хода на диафрагме) в мм . . .	до 50	до 50	до 50	до 30
Максимальный подъем верхнего электрода в мм	130	130	130	130
Пределы регулирования сварочного усилия электродов в кГ	250—1000	300—1300	300—3000	500—7500
Пределы регулирования ковалочного усилия электродов (при $P_c=4,5$ кГ/см ²) в кГ .	500—3000	500—3000	650—6000	1000—15 000
Вылет электродов в мм . . .	1200	1200	1200	1500

Продолжение табл. 21

Технические данные	МТШП-300-1	МТШП-450-2	МТШП-600-2	МТШП-1000
Габаритные размеры машины в мм:				
ширина	1200	1200	1660	1800
высота	2900	2950	2600	4150
длина	3450	3450	3650	5300
Вес машины (без станции) в кг	7000	9000	12000	30000
Вес станции питания и управления в кг	530	530	530	400

МАШИНЫ ДЛЯ РЕЛЬЕФНОЙ СВАРКИ

Рельефная сварка или сварка выступами применяется преимущественно для соединения деталей одновременно в нескольких точках.

Наличие выступов на свариваемом изделии позволяет применять плоские электроды с развитой поверхностью, которая, в свою очередь, дает возможность применять более стойкие материалы с пониженной электропроводностью вследствие снижения плотности тока, проходящего через электроды.

Машины, применяемые для рельефной сварки, по своей конструкции аналогичны машинам для точечной сварки, отличаясь от них системой электродов. Поэтому стандартные машины выпускаются универсальными и могут быть использованы для рельефной и точечной сварки. В стандартных машинах для рельефной сварки верхние и нижние контактные плиты имеют Т-образные пазы для крепления в них специальных приспособлений, в которых устанавливаются свариваемые детали.

Для перемещения верхней контактной плиты и создания давления применяется пневматический или гидравлический механизм с приводом от электродвигателя, а также сочетание их с кулачковыми и рычажными механизмами.

Наибольшее распространение получили машины с пневматическими механизмами. Серия машин для рельефной сварки с пневматическими механизмами сжатия выпускается мощностью от 100 до 600 *кка* (табл. 22).

МАШИНЫ ДЛЯ ШОВНОЙ СВАРКИ

Характеристика серийных машин для шовной сварки

Шовная сварка является видоизменением точечной сварки и отличается от нее тем, что соединение осуществляется рядом точек, перекрывающих одна другую и позволяющих получить прочно-плотный шов. По конструктивному оформлению стандартные машины для шовной сварки близки к машинам для точечной сварки и отличаются от них электродами, выполняемыми в виде роликов, приводимых во вращение с помощью специальных механизмов. Применяются два основных способа шовной сварки — непрерывный (без прерывателя тока) и прерывистый (с прерывателем тока).

Непрерывная сварка применяется для листов из малоуглеродистой стали толщиной до 1,5 мм.

Для получения плотного шва расстояние между центрами сварных точек при больших скоростях сварки берется не более 2—3 мм.

Наибольшая скорость сварки при частоте 50 *гц*.

$$v = \frac{2 \cdot 60}{1000} = 12 - 18 \text{ м/мин.}$$

где v — скорость сварки в *м/мин*; f — частота тока в *гц*; l — расстояние между центрами точек в *мм*.

22. Технические характеристики машин для рельефной сварки

Наименование технических данных	Тип машины					
	МРП-100	МРП-150	МРП-200	МРП-300	МРП-400	МРП-600
Номинальная мощность в <i>кка</i>	100	150	200	300	400	600
ПВ в %	20	20	20	20	20	20
Первичное напряжение в <i>в</i>	380	380	380	380	380	380
Максимальное число ходов в минуту	90	65	65	40	40	30
Наибольший сварочный ток на номинальной ступени в <i>а</i>	16 000	20 000	24 000	32 000	40 000	44 000
Длительность включения тока в сек.	0,04—6,75	0,04—6,75	0,04—6,75	0,04—6,75	0,04—6,75	0,16—27,4
Регулятор времени включения тока	16	16	16	16	16	16
Прерыватель тока	3,4—6,8	4,05—8,1	4,42—8,85	4,87—9,78	5,42—10,84	6,8—13,6
Число ступеней регулирования	16	16	16	16	16	16
Предел регулирования вторичного напряжения холостого хода в <i>в</i>	3,4—6,8	4,05—8,1	4,42—8,85	4,87—9,78	5,42—10,84	6,8—13,6
Привод механизма сжатия	Пневматический	Пневматический	Пневматический	Пневматический	Пневматический	Пневматический
Наибольшее усилие сжатия в <i>кг</i>	1000	1400	1400	3500	3500	5500
Площадь контактных плит в <i>мм</i>	200 × 200	200 × 200	200 × 200	250 × 250	250 × 250	300 × 400
Рабочий ход верхней плиты в <i>мм</i>	30	30	30	30	30	40
Дополнительный ход верхней плиты в <i>мм</i>	50	70	70	90	90	110
Полезный вылет (до центра плиты) в <i>мм</i>	300	340	340	320	320	290
Расстояние между плитами в <i>мм</i>	50—225	50—225	50—225	50—250	50—250	100—400
Вес машины в <i>кг</i>	1000	980	1025	1300	1360	2500
Габаритные размеры в <i>мм</i> :						
высота	785	785	785	840	840	790
ширина	2150	2225	2225	2550	2550	2890
глубина	1400	1435	1435	1610	1610	1650
Расход воды на охлаждение токоведущих частей машины в <i>л/час</i>	600	795	795	1200	1200	1500

23. Технические характеристики серии

Технические данные	Тип				
	АПП-25	МПП-25	МПП-100-5	МПП-100-6	МПП-100-7
Номинальная мощность в <i>кв</i>	25	25	100	100	100
Напряжение сети в <i>в</i>	380	220—380	380	380	380
Номинальный первичный ток в <i>а</i>	66	96,65	263	263	263
Наибольший сварочный ток на номинальной ступени в <i>а</i>	8000	8000	17 000	19 000	17 000
Максимальная толщина свариваемых деталей из малоуглеродистой стали в <i>мм</i>	1+1	1+1	1,5+1,5	1,5+1,5	1,5+1,5
Скорость сварки в <i>м/мин</i> . .	0,75—3,0	0,86—3,43	1,2—4,3	1,2—4,3	0,89—1,3
Пределы регулирования вторичного напряжения холостого хода в <i>в</i>	2,2—4,5	1,96—3,6	3,34—6,68	3,34—6,68	3,34—6,68
Система включения или прерывания тока	Механическая без прерывателя		Синхронный		
Привод механизма сжатия . .	Педальный	Электрический	Пнев		
Максимальное усилие сжатия в <i>кГ</i>	250	250	800	800	800
Ход верхнего электрода . . .	По дуге окружности		Вер		
Рабочий ход электродов в <i>мм</i>	20	20	50	50	50
Полезный вылет (при сварке листов) в <i>мм</i>	400	400	800	550	800
Регулирование скорости . . .	Ступенчатое		Плав		
Направление пва	Продольное и поперечное		Про		
Расход охлаждающей воды в <i>л/час</i>	300	300	750	750	750
Вес машины в <i>кГ</i>	500	500	1800	1800	1800
Габаритные размеры в <i>мм</i> :					
высота	1338	1378	2250	2250	2250
ширина	636	630	1000	1000	1000
глубина	1080	1080	1700	1450	1850

Примечания: 1. ПВ для всех машин составляет 50%.
 2. Число ступеней регулирования трансформатора для всех машин составляет 8.
 3. Для всех типов машин, кроме АПП-25 и МПП-25 (где не применяется сжатый воз

Машины для шовной сварки

ДАН								
МПП-100-8	МПП-150-5	МПП-150-6	МПП-150-7	МПП-150-8	МППБ-150-3	МППБ-150-4	МПП-200-1	МПП-200-2
100	150	150	150	150	150	150	200	200
380	380	380	380	380	380	380	380	380
263	395	395	395	395	395	395	526	526
19 000	21 000	24 000	21 000	24 000	21 000	21 000	25 000	25 000
1,5+1,5 0,89—3,1	2+2 1,2—4,3	2+2 1,2—4,3	2+2 0,89—3,1	2+2 0,89—3,1	2+2 0,65—2,3	2+2 0,65—2,3	2+2 1,2—4,3	2+2 0,89—3,1
3,34—6,68	3,88—7,76	3,88—7,76	3,88—7,76	3,88—7,76	3,88—7,76	3,88—7,76	4,32—8,64	4,32—8,64
Мгнитронный прерыватель типа ПИП-100							ПИП-200-1	
матический								
800	800	800	800	800	800	800	800	880
Тактовый								
50	50	50	50	50	50	50	50	50
550	800	550	800	550	600	800	800	800
Дольное								
Поперечное		Продольное		Поперечное		Продольное		Продольное
750	1000	1000	750	750	1200	1200	1000	1000
1800	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
2250	2250	2250	2250	2250	2250	2250	2250	2250
1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
1600	1700	1450	1850	1600	1500	1990	1700	1850

Рабочее давление воздуха 5 *кГ/см²*, а наибольший расход воздуха—1,5—2,5 *м³/час*.

Шовная сварка с прерывистой подачей тока получила наибольшее распространение. Для прерывания тока в первичную обмотку сварочного трансформатора включается последовательно специальный прерыватель или модулятор тока. Соотношение между временем сварки, скоростью и количеством точек на 1 см длины шва определяется уравнением

$$t_{св} + t_n = \frac{60f}{v \cdot 100 \cdot n},$$

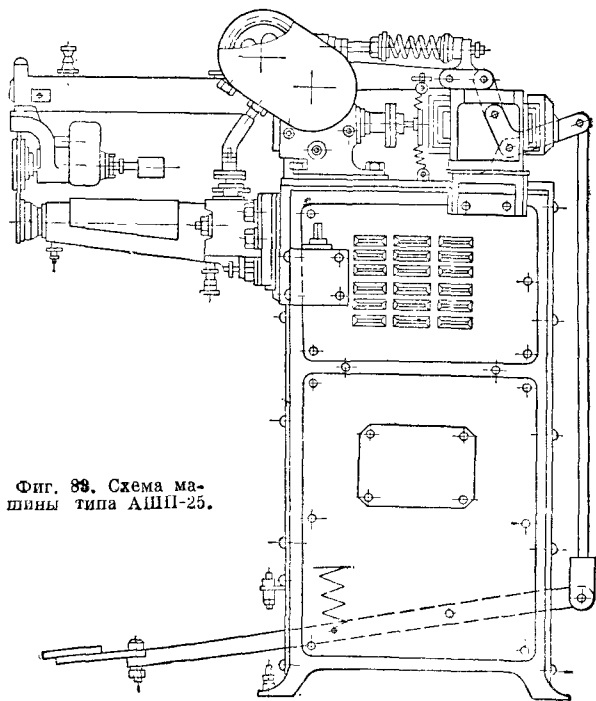
где $t_{св}$ — время сварки в периодах; t_n — время паузы в периодах; v — скорость сварки в м/мин; n — число точек на 1 см; f — частота в гц. При f , равном 50 гц, $t_{св} + t_n = \frac{30}{v \cdot n}$.

Применение синхронных прерывателей тока с электронным управлением дает возможность сваривать малоуглеродистые стали, легированные стали и цветные металлы.

Шовная сварка осуществляется как при непрерывном, так и при прерывистом вращении электродов. В последнем случае вращение роликовых электродов и включение тока согласовано таким образом, что ток включается в тот момент, когда электроды останавливаются, а выключается несколько раньше, чем начинается их движение. Этот вид сварки называется шовно-шаговой сваркой.

Для сварки труб продольным швом применяется шовно-стыковая сварка. Сварка производится с помощью двух профильных роликов, через которые подводится ток к кромкам свариваемой трубы.

Серийные машины для шовой сварки выпускаются мощностью от 25 до 200 кВа (табл. 23).



Фиг. 83. Схема машины типа АШП-25.

Машина АШП-25 (фиг. 83) рассчитана на сварку внахлестку малоуглеродистой стали толщиной $1 + 1$ мм при номинальной мощности и $1,5 + 1,5$ мм при пониженной ПВ.

Роликовые электроды приводятся во вращение от электродвигателя мощностью 0,52 квт. Скорость сварки регулируется с помощью сменных зубчатых шестерен. Машина имеет 5 ступеней регулирования скорости: 0,75; 1,15; 1,72; 2,55 и 3,0 м/мин и выпускается без прерывателя тока.

Первичная обмотка сварочного трансформатора включается механическим контактором, установленным на верхней плите машины. Электрическая схема машины показана на фиг. 84.

Машина для шовой сварки типа МШП-25 отличается от машины типа АШП-25 механизмом сжатия. Вместо педально-рычажного механизма применен механизм сжатия с кулачковым приводом, аналогичный приводу машин для точечной сварки. Машины выпускаются как для продольной, так и для поперечной сварки.

Машины МШП-100 и -150

(фиг. 85) предназначены для поперечной сварки. Корпус машины состоит из четырех колонок — труб, являющихся баллонами для сжатого воздуха. Внутри корпуса установлен сварочный трансформатор 1 с восемью ступенями регулирования вторичного напряжения, осуществляемого переключателем 2. На верхнем крошечейне, изолированном от корпуса, смонтирован пневматический механизм сжатия. Управление пневматическим цилиндром производится системой электропневматических клапанов, установленных на корпусе машины. Припудительный привод имеет нижний электрод. Вращение роликового электрода осуществляется от электродвигателя 3 через редуктор, вариатор скорости и карданный вал 4.

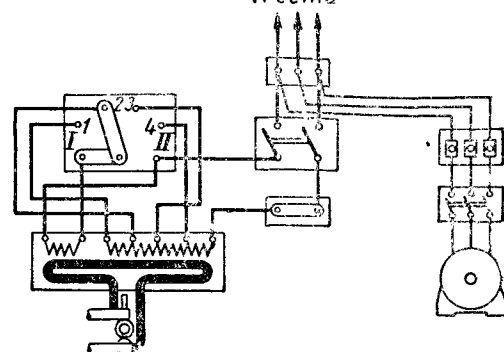
Все токоведущие части вторичной цепи охлаждаются проточной водой. Роликовые электроды имеют наружное охлаждение. Отработанная вода стекает в резервуар 5, соединенный с канализацией.

Пневматическая схема машин типа МШП и МШПБ показана на фиг. 86. Верхняя камера пневматического цилиндра все время заполнена сжатым воздухом требуемого давления. В машину сжатый воздух подается через клапан 1. Из колонки через лубрикатор 3, электропневматические клапаны 4 и 5 и дросселирующий клапан 6 он поступает в нижнюю камеру пневматического цилиндра. Давление в верхней камере цилиндра регулируется пневматическим редуктором 7, в нижней камере — редуктором 8. При подъеме роликовых электродов катушки электропневматических клапанов не включаются, поэтому сжатый воздух поступает в нижнюю камеру цилиндра под давлением, большим, чем в верхней камере. Для опускания электрода сначала включается электропневматический клапан 4, перекрывающий поступление сжатого воздуха в нижнюю камеру, соединяющуюся с атмосферой; затем включается электропневматический клапан 5, соединяющий нижнюю камеру с давлением воздуха, уравновешивающим подвижную часть верхнего электрода.

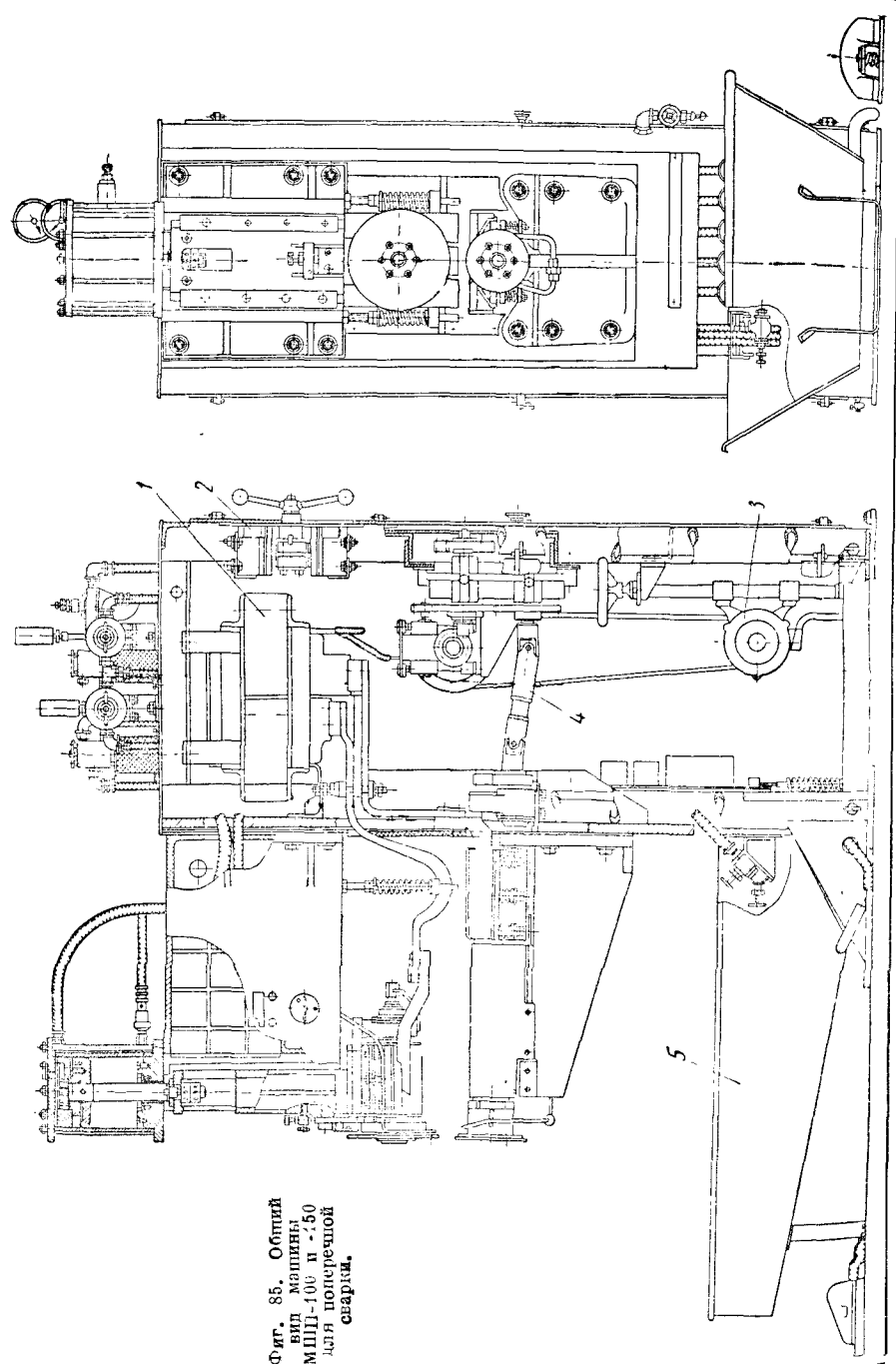
Управление машинами осуществляется педальной кнопкой. При нажатии на педальную кнопку КП-4 (фиг. 87) через промежуточное реле А включается электропневматический клапан ЭПК-1, выпускающий сжатый воздух из нижней камеры пневматического цилиндра. Роликовый электрод опускается при последующем нажатии на педаль; через реле В и пускатель П включается электродвигатель, приводящий во вращение роликовые электроды.

Одновременно выключаются реле В и Г. Реле В включает индукционный прерыватель, т. е. подводит напряжение к первичной обмотке сварочного трансформатора ТС, а реле Г включает клапан ЭПК-2 подачи сжатого воздуха в ниж-

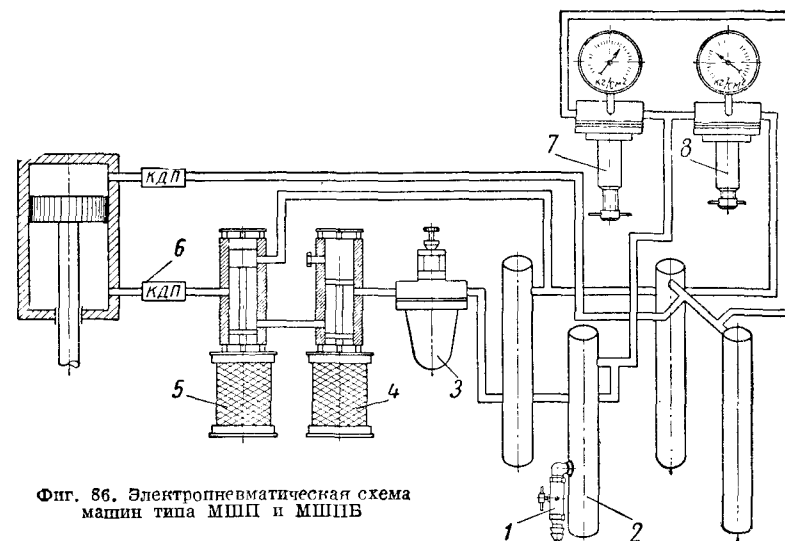
К сети



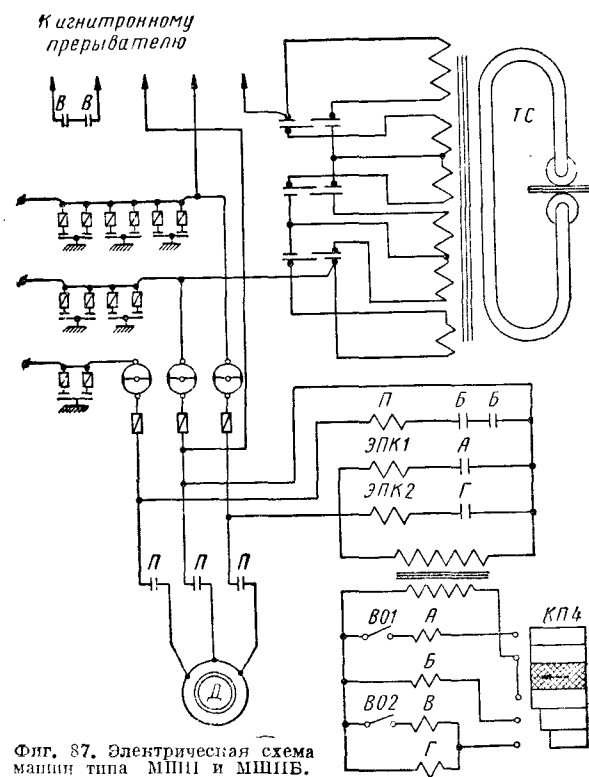
Фиг. 84. Электрическая схема машины типа АШП-25.



Фиг. 85. Общий вид машины МШП-100 и МШП-150 для поперечной сварки.



Фиг. 86. Электропневматическая схема машин типа МШП и МШПБ



Фиг. 87. Электрическая схема машин типа МШП и МШПБ.

ную камеру цилиндра для уравнивания подвижных частей механизма давления. При третьем нажатии на педаль в конце процесса сварки сначала выключается сварочный ток, затем выключается привод электродов и срабатывает клапан ЭПК-1, подающий сжатый воздух в нижнюю камеру пневматического цилиндра для подъема верхнего роликового электрода.

Машина для продольной шовой сварки типа МШП отличается от рассмотренной машины для поперечной сварки конструктивным исполнением консолей и приводом электродов. Привод сделан к верхнему роликовому электроду.

Машины типа МШПБ, выпускаемые преимущественно для сварки бензиновых баков из малоуглеродистой стали толщиной 2 мм с луженой или оцинкованной поверхностью, по конструкции и схеме управления аналогичны машинам МШП и отличаются от них только расположением и приводом подачи роликовых электродов. Оси роликовых электродов в машине МШПБ (фиг. 88) расположены для удобства сварки отбортованных деталей под углом $6,5^\circ$ к горизонтали.

Фиг. 88. Привод роликовых электродов машины типа МШПБ для поперечной сварки.

Принудительный привод имеют оба роликовых электрода. Привод осуществляется через стальные шарошки 1 и 2. Верхняя и нижняя шарошки прижимаются к роликовым электродам с помощью рычагов и пружины 3. Привод к шарошкам осуществляется через карданные валы 4 и 5. Шарошки, имеющие одинаковый диаметр, обеспечивают равномерную линейную скорость обоих роликовых электродов, независимо от их диаметров, а также благодаря насечке очищают роликовые электроды от прилипающего к ним покрытия при сварке луженых или оцинкованных деталей.

Система подвода тока и охлаждения к роликовым электродам. Ток подвод к роликовым электродам осуществляется через вращающуюся токоведущую ось, к которой крепится роликовый электрод. Подвод тока к токоведущей оси производится через скользящий контакт, роликовые игольчатые токоведущие подшипники или ртутные контакты.

В качестве трущихся материалов при скользящем подводе тока применяется алюминиевая или оловянистая бронза или сплав ЭВ.

Зазор между осью и подшипником во избежание заедания при нагреве делается не менее 0,2 мм.

Ролики игольчатых подшипников изготавливаются из твердой бронзы и имеют диаметр 6—8 мм.

В качестве смазки при скользящем контакте, а также при использовании роликовых подшипников применяется смесь из графитового порошка с касторовым маслом.

Подвод тока через ртутные контакты не получил распространения в промышленности.

В современных серийных машинах применяется подвод тока через скользящие контакты как более надежные в работе и простые в обслуживании.

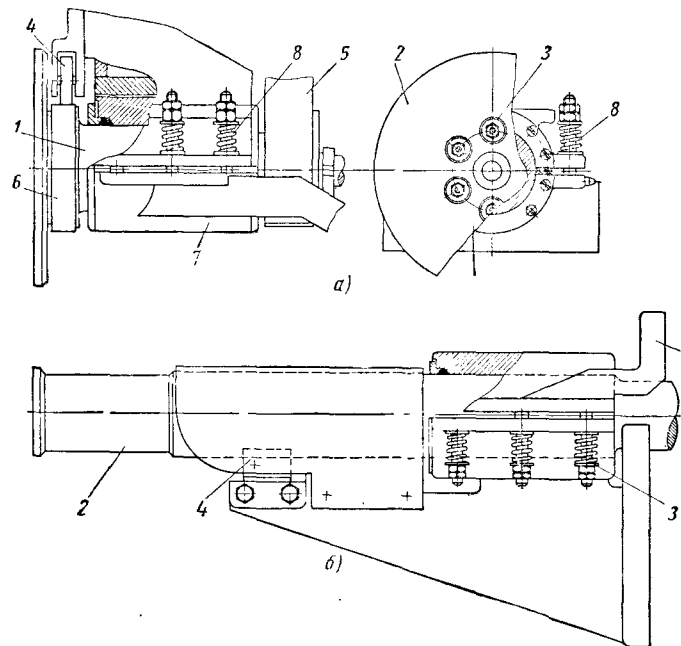
На фиг. 89 приведена конструкция токоподвода к роликовым электродам серийных машин типа МШП.

Токотокующий вал 1 (фиг. 89, а) верхнего роликового электрода 2 сделан из сплава ЭВ. Роликовый электрод крепится к валу с помощью шпилек и гаек 3. Вал расположен между опорным шарикоподшипником 4

и шарикоподшипником, укрепленным на противоположном конце вала в кронштейне 5. Для предотвращения смятия на вал насажено кольцо 6 из немагнитной стали.

Контактная колодка 7 прижимается к токоведущему валу с помощью шести пружин 8, расположенных с обеих сторон.

Натягом пружин создается необходимое контактное давление между токоведущим валом и контактной колодкой. Ток к контактной колодке 7 от сварочного трансформатора подводится через гибкие медные шины.



Фиг. 89. Конструкция токоподвода к машинам типа МШП.

Шины набираются из тонких медных полос шириной 80 мм и толщиной 0,2 мм. В машинах МШП-100 и -150 к хвостовику контактной колодки присоединяются по три соединенных параллельно шины.

На фиг. 89, б показана система токоподвода к нижнему электроду машин типа МШП.

Ток от сварочного трансформатора подводится к хвостовику медной контактной колодки 1. Контактное давление на токоведущий вал 2 создается пружинами 3. Вал расположен в подшипниках качения. На конце вала вблизи контактного соединения устанавливается шарикоподшипник, а на конце кронштейна два роликовых подшипника 4. Скользящие поверхности смазываются графитовой смазкой. Для устранения вытекания смазки между контактной колодкой 1 и нижней колодкой имеются фетровые прокладки.

Охлаждение токоведущих частей машины производится проточной водой. Охлаждению подвергаются: вторичный виток сварочного трансформатора, токоведущие консоли, контактные колодки и роликовые электроды. Для пропуска воды в токоведущих частях предусматриваются каналы, выполненные либо сверлением, либо закладкой трубки при литье, либо приваркой трубки по периферии охлаждаемой поверхности. Охлаждение роликовых электродов

большей частью делается наружным с помощью трубок, по которым проточная вода подводится к наружной поверхности ролика. Иногда применяется внутреннее охлаждение роликовых электродов. При этом вода по трубке через токоведущий вал подводится к центру роликовых электродов и затем через систему каналов поступает в общую кольцевую выточку, находящуюся вблизи контактной поверхности роликовых электродов. Обработанная вода отводится по другим каналам токоведущего вала в канализацию.

Специализированные машины для шовной сварки

Машина МШК-3 конденсаторная (фиг. 90) предназначена для шовной сварки деталей из цветных металлов и их сплавов толщиной от 0,03 до 0,2 мм. Машина рассчитана на продольную и поперечную сварку; сварка осуществляется как при разряде, так и при заряде конденсаторов.

Накопительные конденсаторы в машине питаются напряжением 280—420 в. Потребляемая мощность машины 3 квт. Усилие на электродах регулируется в пределах от 10 до 70 кг. Рабочий ход верхнего электрода 15 мм. Пределы регулирования вылета электродов 50—150 мм.

Производительность машины при поперечной сварке от 0,6 до 1,8 м/мин, при продольной от 0,4 до 0,9 м/мин. Габаритные размеры машины в мм: высота 1395, длина 605, ширина 620 мм. Вес 200 кг.

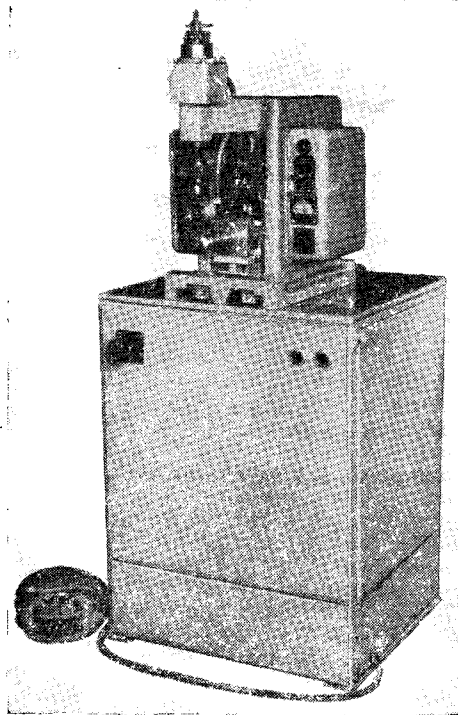
Машина МШШИ-400 (фиг. 91) предназначена для шаговой шовной сварки алюминиевых сплавов толщиной от 0,8 + 0,8 до 2,5 + 2,5 мм. Мощность машины 400 квт при ПВ = 10%.

Вылет 1200 мм. Сварка осуществляется отдельными импульсами выпрямленного сварочного тока, который подается к свариваемому изделию в момент, когда ролики находятся в состоянии покоя. Специальное устройство машины обеспечивает шаговую подачу электродов с постоянным соотношением времени движения (30%) и времени покоя (70%). Величина шага подачи изделия регулируется в пределах от 1,5 до 4 мм через каждые 0,5 мм. Скорость сварки 0,2—0,5 м/мин.

Сварочный трансформатор, подключенный к трехфазной сети на напряжение 380 в, имеет 10 ступеней регулирования вторичного напряжения холостого хода в пределах от 3,0 до 8,4 в. Пределы регулирования длительности импульса тока от 0,04 до 0,36 сек. Наибольший сварочный ток около 50 000 а.

Пневматический механизм сжатия имеет роликовые направляющие и обеспечивает усилие на электродах 800 кг. Рабочий ход верхнего электрода 100 мм.

Габаритные размеры в мм: высота 2650, ширина 1420, глубина 3550. Вес машины 6500 кг.

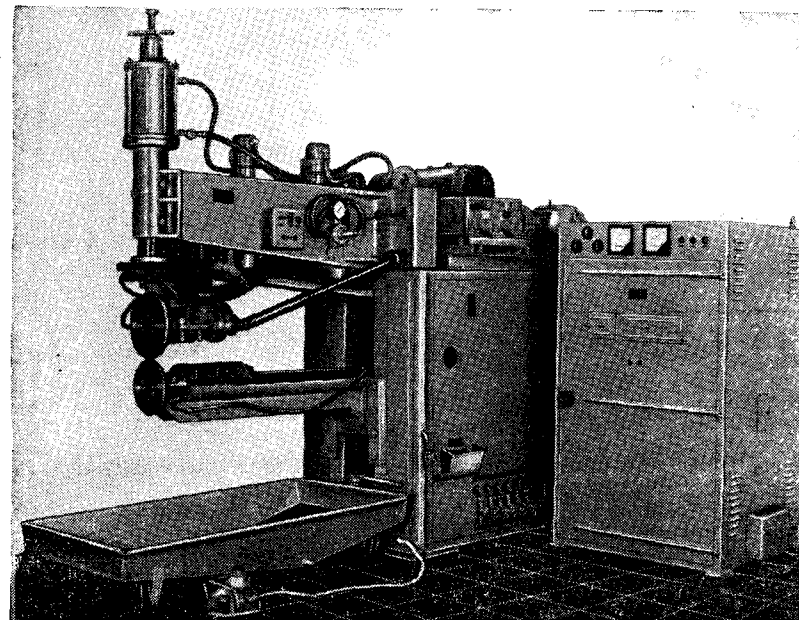


Фиг. 90. Конденсаторная шовная машина типа МШК-3-2 для сварки деталей из цветных металлов малых толщин.

Габаритные размеры в мм шкафа управления, которым комплектуется машина: высота 1780, ширина 1050, глубина 1140. Вес 450 кг.

Машина имеет поворотную верхнюю сварочную головку и две нижние сменные консоли для обеспечения сварки поперечных и продольных швов.

Вращение роликов передается от электродвигателя ПН-17,5 мощностью 1,75 квт, 1450 об/мин, питаемого от мотор-генераторной группы через систему механического редуктора, коробку скоростей и клиновую ремennую передачу.



Фиг. 91. Машина типа МШШИ-400 для шовной шаговой сварки легких сплавов.

Механизм шагового привода выполнен с применением мальтийского креста. Привод осуществляется через верхний сварочный ролик как для поперечной, так и продольной сварки. Импульсы выпрямленного тока подаются к сварочному трансформатору от станции питания.

Изменение направления тока в первичной обмотке сварочного трансформатора производится коммутлирующим устройством, которое приводится во вращение от электродвигателя сварочного ролика.

Коммутлирующее устройство состоит из барабана с системой дисков, разделенных на группы для управления силовых и слаботочных цепей.

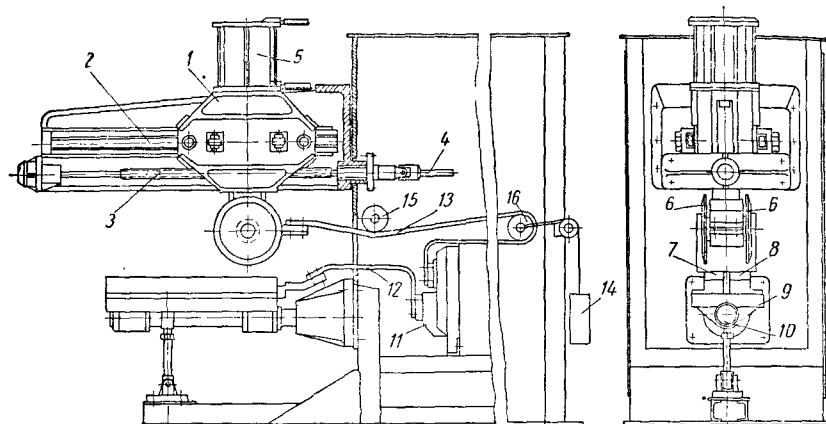
Слаботочные контактные группы управляют работой схемы станции питания и управления машиной, силовые группы меняют полярность напряжения, подводимого к первичной обмотке сварочного трансформатора. Замыкание и размыкание силовых контактов происходит без нагрузки.

Двухроликовая машина МШПЛ-150 (фиг. 92) предназначена для сварки лент шириной 500 мм и толщиной 2 мм.

Сварка производится одновременно двумя швами при расстоянии между роликовыми электродами 205 мм. Скорость сварки до 2 м/мин.

Каретка 1 перемещается в прямоугольных направляющих 2 с помощью винта 3, который получает вращение от электродвигателя через карданный вал 4, вариатор скоростей и редуктор. В верхней части каретки установлен пневматический цилиндр 5 для управления подъемом, опусканием и созданием давления на роликовых электродах 6.

Во время работы ролики перемещаются вдоль нижних контактных шин 7 и 8, расположенных на неподвижном столе 9. Для получения одинакового



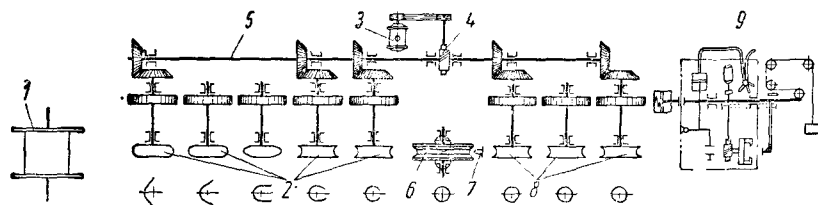
Фиг. 92. Двухроликовая машина типа МШПЛ-150.

давления и самоустановки роликовых электродов стол имеет возможность немного поворачиваться относительно оси 10.

Сварочный ток от сварочного трансформатора 11 к нижнему столу подводится через гибкие медные шины 12, а к роликовым электродам — через шины 13. Шины натянуты с помощью груза 14 через деревянные валики 15 и 16.

Машина АШТ-60 применяется для шовно-стыковой сварки труб из ленты. Машина производит формовку трубы, сварку продольного шва, снятие наружного грат, калибровку трубы и отрезку.

Стальная калиброванная лента из холоднокатаной стали подается с вращающегося барабана 1 (фиг. 93) по направляющим под формовочные ролики 2.



Фиг. 93. Схема трубосварочной машины типа АШТ-60.

Привод роликов осуществляется от электродвигателя 3 через цепную передачу, редуктор 4 и вал 5, связанный коническими шестернями с формовочными и калибровочными роликами. Сформованная труба проходит между кольцами вращающегося трансформатора 6 и опорными роликами, находящимися под кольцами сварочного трансформатора.

При прохождении трубы под сварочным трансформатором происходит варка кромок. Грат, образующийся при обжатии шва, снимается в горячем состоянии резцами 7.

После сварки труба проходит три пары калибровочных роликов 8. Калибровочные ролики средней клетки могут регулироваться в вертикальном направлении, давая возможность выправлять трубу по длине. Во время сварки и калибровки труба охлаждается эмульсией.

С калиброванных роликов труба попадает в отрезное приспособление 9 для разрезки по заданным размерам.

24. Техническая характеристика машины АШТ-60

Технические данные	АШТ-60
Первичное напряжение в в	380
Номинальная мощность в ква	60
ПВ машины в %	100
Число ступеней регулирования вторичного напряжения холостого хода	64
Пределы регулирования вторичного напряжения холостого хода в в	1,02—2,6
Диаметр свариваемых труб в мм	От 14 до 55
Толщина стенки труб в мм	0,8—2
Скорость сварки в м/мин	4—15
Расход воды для охлаждения в л/час	1200—1500
Вес в кг	12 000
Габаритные размеры в мм:	
высота	1 500
ширина	2 050
длина	11 000

Современные трубосварочные машины производят непрерывную сварку продольного стыка труб со скоростью до 30 м/мин. Диаметр свариваемых труб от 6 до 700 мм с толщиной стенки от 0,5 до 20 мм.

Скорость сварки при достаточной мощности зависит от частоты тока; при промышленной частоте тока 50 гц удовлетворительные результаты получаются при скоростях сварки до 15 м/мин.

Для получения большей скорости сварки применяется повышенная частота тока от 100 до 300 гц.

Удаление грат, образующегося внутри трубы, производится резцом, укрепленным в специальном приспособлении, раскатывается роликом или опрессовывается с помощью пневматического устройства.

Агрегат АШО-2×20 предназначен для роликовой сварки заготовок вольфрамового обода из стальной ленты специального профиля.

Агрегат (фиг. 94) производит формовку ленты, приварку загнутых буртиков, профилировку и загибку в спирали сваренной заготовки.

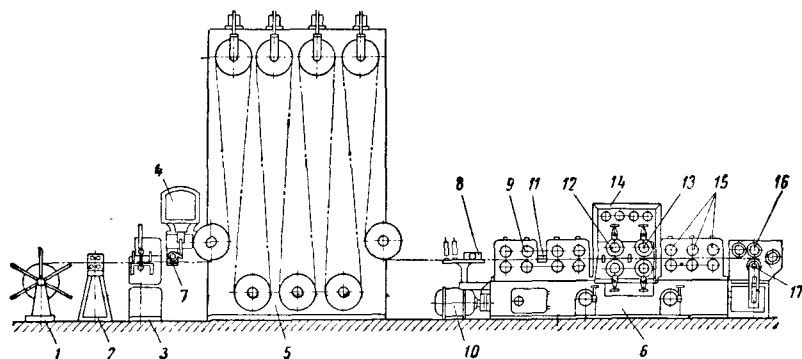
Скорость формовки и сварки регулируется с помощью сменных шестерен в пределах от 3,4 до 5 м/мин.

Сварочный агрегат состоит из устройства 1 для размотки ленты, блокировочного устройства 2, машины точечной сварки 3, тормозного устройства 4, блочного устройства 5 и основного стана 6 для профилировки и сварки ленты.

Блочное устройство 5 предназначено для аккумуляции ленты, чтобы производить сварку заготовки обода без остановки агрегата во время приварки конца нового рулона ленты. Блочное устройство имеет 9 роликов, из которых 4 верхних подвижных ролика уравновешены противовесами; нижние ролики неподвижны.

Когда конец ленты пройдет блокировочное устройство, автоматически включается электромагнит тормозного устройства, который с помощью эксцентрика 7 плотно зажимает ленту. Машина может работать до тех пор, пока зигзагообразно намотанная лента не будет выбрана и верхние ролики не переместятся вниз. За это время на барабане 1 устанавливается новый рулон, концы ленты свариваются на точечной машине 3. По окончании сварки включается электромагнит и ролики под действием противовеса перемещаются вверх в первоначальное положение, выбирая ленту из нового рулона.

Из блочной системы лента попадает вначале в направляющее устройство 8 и затем в формовочные ролики 9 основного стана. Формовочные ролики получают вращение от электродвигателя 10. Между второй и третьей клетью формующих роликов установлены горизонтальные направляющие ролики 11, предотвращающие отклонение ленты в горизонтальной плоскости.



Фиг. 94. Схема агрегата типа АШО-2×20 для сварки велосипедного обода.

Под сварочные роликовые электроды 12—13 лента попадает уже с загнутыми буртиками. Две пары роликовых электродов смещены один относительно другого по ширине ленты на расстояние между кромками заготовки обода и по длине примерно на 500 м. Ток к роликовым электродам подводится от двух сварочных трансформаторов, расположенных в шкафу 14. После сварки заготовка проходит между тремя парами роликов 15, придающими ей окончательный профиль, и попадает под кольца рихтовочного устройства 16, где она загибается по окружности и наматывается спиралью на деревянный барабан 17.

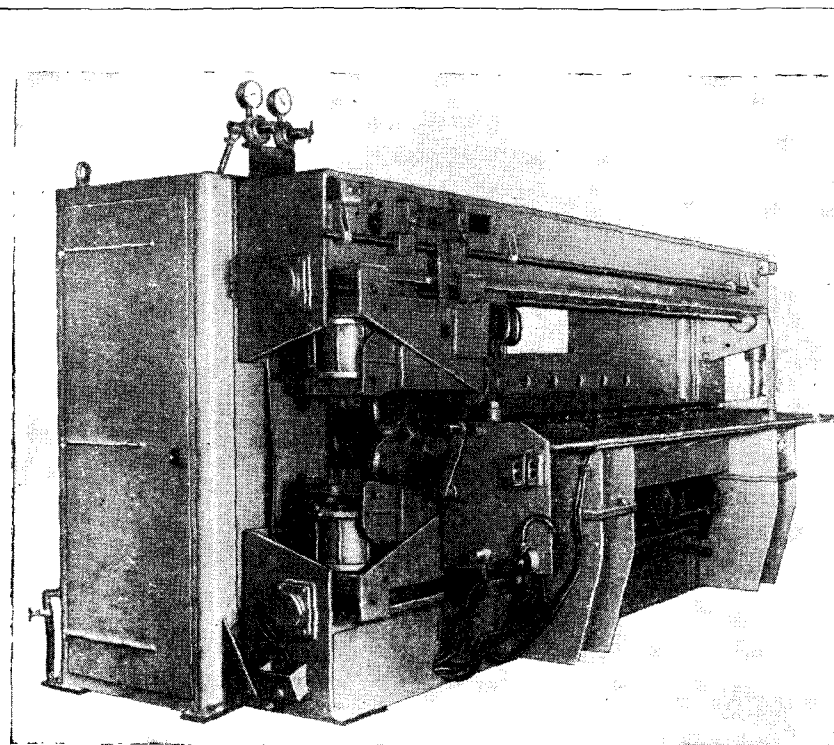
Машина МШСП-2×50 (фиг. 95), предназначенная для шовно-стыковой сварки с присадочным металлом, рассчитана на соединение листов относительно большой ширины и может применяться в тех случаях, когда в месте соединения не допускается утолщение металла.

При сварке соединяемые листы плотно прижимаются друг к другу в стык и удерживаются в таком положении специальными зажимными устройствами.

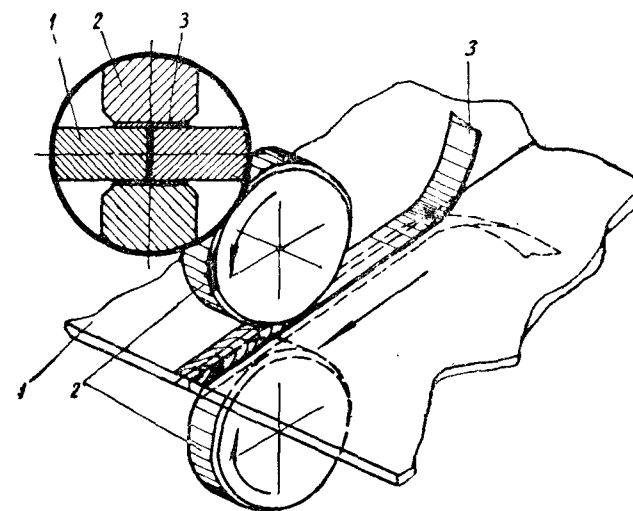
Схема сварки представлена на фиг. 96. С верхней и нижней стороны листов 1 между дисковыми электродами 2 автоматически пропускается тонкая стальная лента 3, подаваемая из бухт, закрепленных на машине. Процесс сварки осуществляется не только между стальными лентами и листами, но и между стыкуемыми торцовыми поверхностями листов.

Машина позволяет сваривать стальные листы толщиной 1—3,5 мм и шириной до 2,5 м. Для сварки применяется лента толщиной 0,2 мм и шириной до 5,5—6 мм. Скорость сварки 0,8—3 м/мин. Усилие сжатия между электродами 1200 кг.

При сварке стальных листов толщиной 0,8—3 мм применяется лента толщиной 0,1—0,2 мм и шириной 6 мм.



Фиг. 95. Машина МШСП-2×50 для шовно-стыковой сварки.

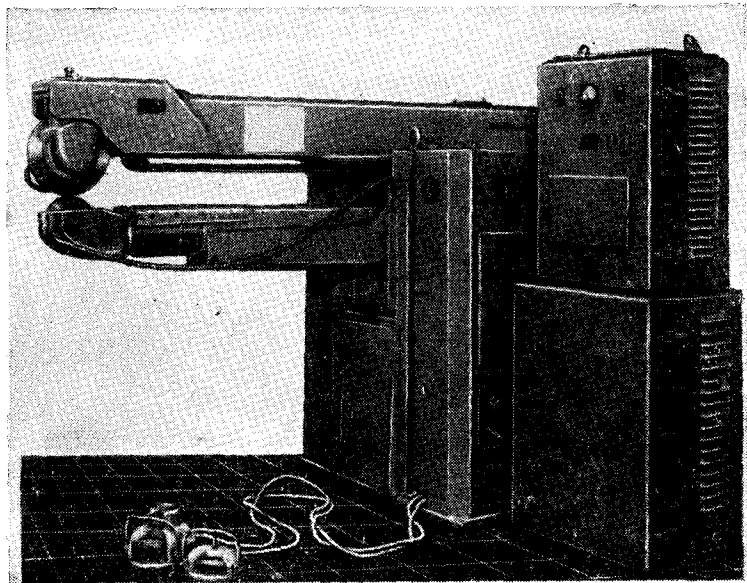


Фиг. 96. Принципиальная схема шовной сварки в стык с применением стальных лент.

Шовная машина МШПР-300/1200-2 (фиг. 97) предназначена для сварки изделий из жароупорных сталей толщиной от $0,5 + 0,5$ до $3 + 3$ мм. Машина выполняется с поворотной верхней сварочной головкой, укрепленной на кронштейне, и сменными нижними консолями для осуществления продольной и поперечной сварки.

Верхний кронштейн имеет радиальное перемещение.

Вылет роликов машины регулируется в пределах от 800 до 1200 мм.



Фиг. 97. Шовная машина типа МШПР-300/1200-2 для сварки изделий из жаропрочных сталей.

Наибольший ход верхнего сварочного ролика в зависимости от длины консоли 50 или 130 мм.

Принудительный привод имеет верхний ролик, получающий вращение от электродвигателя через червячный редуктор, шестерни и карданный вал. Скорость вращения роликов (скорость сварки) изменяется в пределах от 0,5 до 2 м/мин.

Усилие на электродах создается пневматическим устройством, расположенным внутри корпуса машины. Наибольшее усилие на электродах при вылете 1200 мм равно 1600 кг, при вылете 800 мм — 2000 кг при расчетном давлении сжатого воздуха 5 кг/см².

В машину встроен сварочный трансформатор мощностью 300 кВА при ПВ = 40%. Первичная обмотка имеет 8 ступеней регулирования вторичного напряжения в пределах от 5,62 до 11,24 В.

Машина комплектуется игнитронным прерывателем типа ПИШ-200-3. Токоведущие части машины охлаждаются проточной водой.

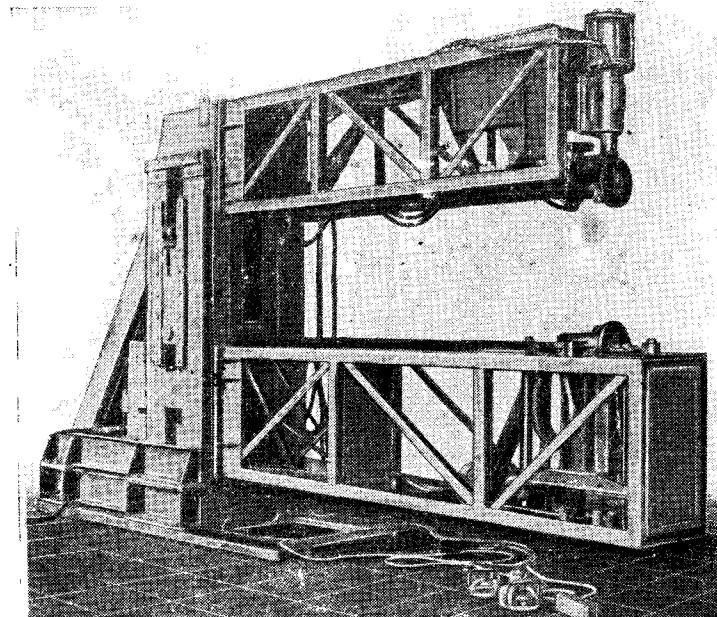
Расход воды для охлаждения 1000 л/час.

Габаритные размеры машины в мм: высота 1560, ширина 1260, глубина 2600/3000. Вес 2500 кг.

Машина МШП-500/3000 (фиг. 98) предназначена для шовой сварки поперечным швом деталей больших габаритов из нержавеющей стали толщиной до 2 мм. Вылет машины 3000 мм. Верхний и нижний кронштейны машины закреплены на корпусе, который имеет возможность перемещаться вертикально в нап-

вляющих станины. Нижний роликовый электрод имеет вертикальное перемещение в пределах 700 мм. Верхний роликовый электрод перемещается с помощью пневматического цилиндра в пределах 100 мм. Наибольшее усилие, создаваемое пневматическим цилиндром при давлении сжатого воздуха 5 кг/см², равно 700 кг. Электромоторный привод верхнего ролика обеспечивает его вращение со скоростью от 0,5 до 1,5 м/мин.

Электрическая схема машины обеспечивает автоматическое управление последовательностью действия машины и синхронное прерывистое включение и выключение сварочного тока.



Фиг. 98. Машина типа МШП-500/3000 для шовой сварки деталей больших габаритов.

Номинальная мощность сварочного трансформатора 500 кВА при ПВ = 20%. Сварочный трансформатор имеет 8 ступеней регулирования вторичного напряжения в пределах 15,8 до 31,6 В. Габаритные размеры машины в мм: высота 3285, ширина 1210, глубина 5435. Вес 5000 кг.

Двухроликовая шовная машина МШПЛ-100/1000-1 (фиг. 99) предназначена для сварки внахлестку трансформаторной стали шириной до 1000 мм. Максимальная толщина свариваемой ленты до $0,8 + 0,8$ мм.

Сварка осуществляется прерывистым швом одновременно под обоими роликами при одностороннем подводе тока.

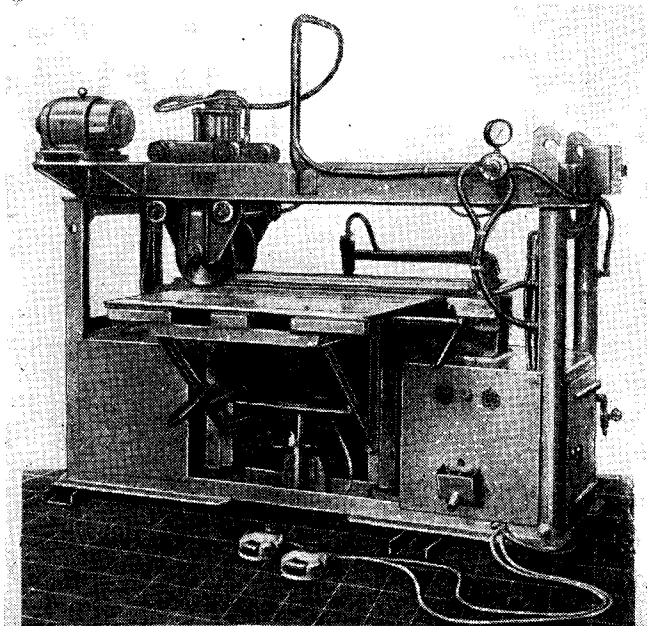
Машина рассчитана на работу в линии непрерывного технологического процесса обработки металла (электролитическое травление, лужение или отжиг). Во время работы агрегата лента проходит между столом и прижимом пневматического зажимного устройства.

Каретка с укрепленными на ней роликовыми электродами имеет поступательно-возвратное движение; сварка производится в обоих направлениях без подъема роликов. В целях свободного перемещения ленты каретка в конце сварки устанавливается вне зоны вертикального перемещения прижима. Для

перемещения каретки применен электродвигатель постоянного тока, связанный с кареткой через ременную передачу и ходовой винт.

Скорость перемещения каретки (скорость сварки) от 4 до 8 м/мин. Усилие на роликах создается пневматическим цилиндром двойного действия.

Максимальное усилие между каждой парой электродов (ролик — шина) 400 кг при расчетном давлении сжатого воздуха 4,5 кг/см².



Фиг. 99. Машина типа МШПД-100/1000-1 для шовной сварки ленты.

В конце сварки, после остановки каретки в исходном положении, прижим поднимается и освобождает ленту. В конце подъема прижима срабатывают конечные выключатели и дают команду на валки для подачи ленты.

В машину встроен сварочный трансформатор мощностью 100 кВА при ПВ=40%. Первичная обмотка трансформатора имеет 12 ступеней регулирования вторичного напряжения в пределах от 3,02 до 9,05 в. Машина оборудована электронным прерывателем тока типа ПИШ-50-2, обеспечивающим длительность импульса тока от 1 до 19 периодов и длительность паузы от 1 до 19 периодов. Габаритные размеры машины в мм: высота 1960, ширина 1845, глубина 2400. Вес 1800 кг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блиштейн А. З., Построение внешних характеристик машин для контактной сварки, Автогенное дело, № 8, 1948.
2. Гельман А. С., Контактная электросварка, Машгиз, 1949.
3. Гельман А. С. и Слепак Э. С., Точечная сварка стальных элементов большой толщины током низкой частоты, Автогенное дело № 4, 1950.
4. Гельман А. С., Технология контактной сварки, Машгиз, 1952.
5. Доценко В. Е., Контактная сварка рельсов, Трансжелдориздат, 1949.
6. Зайцев М. П., Зайчик Л. В. и Карелин А. М., Установка для точечной сварки импульсом постоянного тока, Вестник Электропромышленности № 10, 1952.

7. Зайцев М. П., Универсальный синхронный прерыватель тока, Сб. МЭИ ЦБТИ, вып. 15, 1952.
8. Каганов Н. Л. Контактные электросварочные машины, Энциклопедический справочник «Машиностроение», том 8, 1948.
9. Кацнельсон Н. А., Точечные подвесные машины типа МТПП-7э, Автогенное дело № 8, 1949.
10. Кочановский Н. Я., Машины для контактной электросварки, Госэнергоиздат, 1954.
11. Кочергин К. А., Вопросы теории контактной сварки, Машгиз, 1950.
12. Моравский В. Э. Точечные конденсаторные машины ТКМ для сварки металла малых толщин, Сварочное производство № 1, Машгиз, 1956.
13. Педзевич Г. В., Контактная стыковая сварка труб с последующей высадкой, Автогенное дело № 10, 1950.
14. Радашкович И. М., Электромагнитные машины, Вестник машиностроения № 4, 1952.
15. Сергеев Н. П. и Фейгенсон М. С., Электрическая контактная сварка, Машгиз, 1952.
16. Справочные материалы для сварщиков, Машгиз, 1951.
17. Филанович И. А., Новые машины для роликовой сварки, Автогенное дело № 6, 1949.
18. Чеканов А. А., Сварочная техника в СССР, Машгиз, 1952.
19. Энциклопедический справочник, «Машиностроение», том 8, гл. VII, Контактные электросварочные машины, Машгиз, 1949.

ГЛАВА X

ЭЛЕКТРОДЫ, РОЛИКИ И ГУБКИ КОНТАКТНЫХ МАШИН

Электроды и ролики контактных машин [1] являются рабочим инструментом, а губки стыковых машин являются наиболее изнашивающейся частью вторичного контура машин.

От правильно выбранной конструкции инструмента и правильной эксплуатации (при прочих равных условиях) зависит его стойкость, производительность процесса сварки и качество сварного соединения.

Стойкость электродов, роликов и губок контактных машин определяется материалом и конструкцией инструмента, режимом сварки и условиями охлаждения электрода.

ЭЛЕКТРОДЫ ТОЧЕЧНЫХ МАШИН

Электроды выполняют следующие функции:

сжимают детали, обеспечивая надежный контакт между ними перед включением тока;

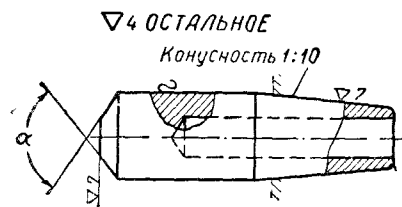
подводят ток, необходимый для сварки (в отдельных случаях для подогрева и отпуска);

сжимают детали в процессе протекания тока и образования литого ядра точки, оказывая при этом влияние на диаметр ядра;

проковывают сварное соединение после выключения тока;

отводят часть тепла из зоны сварки в процессе протекания тока и после его выключения;

Наиболее широко встречающиеся конструкции электродов имеют цилиндрический корпус, оканчивающийся с одной стороны рабочей поверхностью, изменяющейся в зависимости от свариваемого материала и его толщины, а с другой — посадочной частью, имеющей либо коническую поверхность (фиг. 1), либо резьбу.



Фиг. 1. Электрод с плоской рабочей поверхностью.

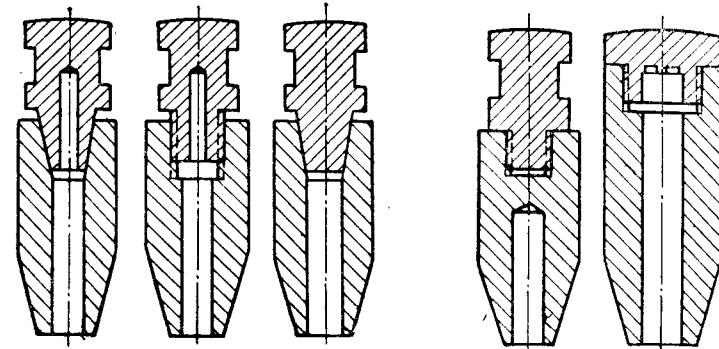
Диаметр корпуса электрода зависит от свариваемых толщин и увеличивается с их ростом. Увеличение диаметра улучшает условия охлаждения электрода. Так как у электрода в большей степени изнашивается рабочая часть, непосредственно контактирующая со свариваемым металлом, рекомендуется в целях экономии электродного материала применять электроды, состоящие из корпуса и сменных вставок (фиг. 2).

Вставки могут крепиться так же, как и сам корпус, в свече, либо на резьбе, либо при помощи посадочного конуса.

В процессе эксплуатации таких электродов производится замена одних лишь вставок.

В электродах для сварки сталей и титана рекомендуется брать угол $\alpha=120^\circ$ при плоской рабочей поверхности, обеспечивающий достаточно высокую стойкость электродов.

Дальнейшее увеличение угла α нерационально, так как это может привести при небольшом износе электрода или небольшой волнистости листа к колебанию площади контакта между электродом и деталью, а следовательно, и к получению нестабильных результатов по прочности сварных точек; при этом затруд-



Фиг. 2. Электроды со сменными вставками.

няются условия сохранения заданного диаметра рабочей поверхности электрода. Уменьшение угла α также не всегда оправдано, так как при $\alpha = 60^\circ$, например, стойкость электродов снижается примерно в 2 раза.

Данные по выбору диаметра рабочей поверхности в зависимости от свариваемых толщин материала приведены в табл. 1.

1. Диаметр рабочей поверхности электрода для сварки сталей и титана

Толщина тонкой детали в мм	Диаметр рабочей поверхности электрода в мм	
	Для стали (кроме нержавеющей) и титана	Для нержавеющей стали
0,5—1,0	5—6	4,5—5,5
1,5	6—8	5—7
2,0	8—10	7—9
3,0—4,0	10—12	10—12
5,0	12—14	—
6,0	14—16	—
7,0	15—18	—

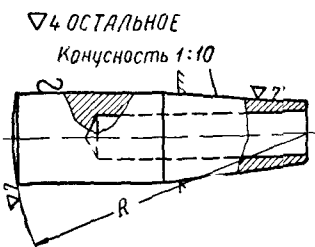
2. Радиус сферы электрода для сварки легких сплавов

Толщина тонкой детали в мм	Радиус заточки рабочей поверхности электрода в мм
0,5—1,0	50
1,5	50—75
2,0	75—100
3,0	75—150
4,0	100—150
5,0	100—150
6,0	150—200
7,0	150—200

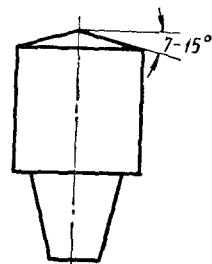
Примечание. С увеличением кривизны деталей (со стороны вогнутой детали) следует брать электрод с меньшим радиусом R.

Для сварки легких сплавов рекомендуется сферическая (фиг. 3) или коническая (фиг. 4) рабочая поверхность электродов. При такой рабочей поверхности обеспечивается повышенное удельное давление на оси электрода, способствующее механическому разрушению окисной пленки. С увеличением толщины свариваемого материала соответственно увеличивается радиус сферы рабочей поверхности R.

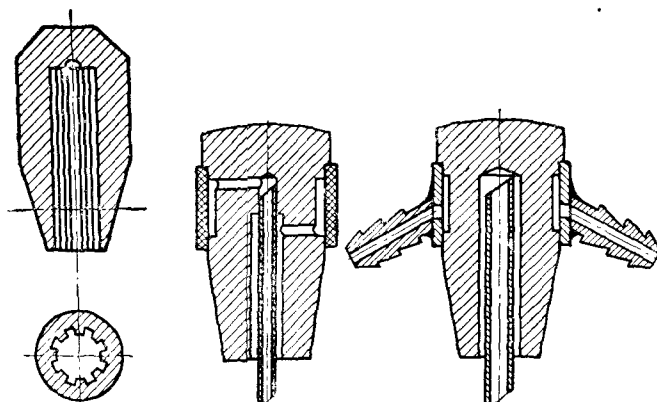
Данные по выбору радиуса сферы R в зависимости от свариваемых толщин материала приведены в табл. 2.



Фиг. 3. Электрод со сферической рабочей поверхностью.

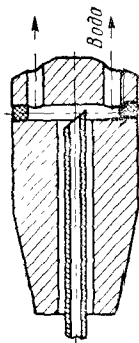


Фиг. 4. Электрод с конической рабочей поверхностью.

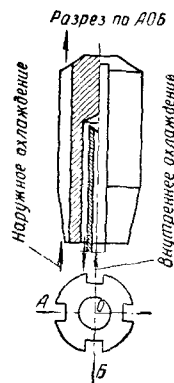


а)

б)



в)

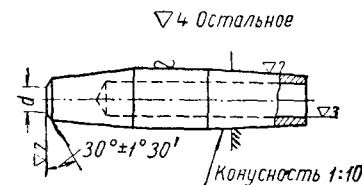


г)

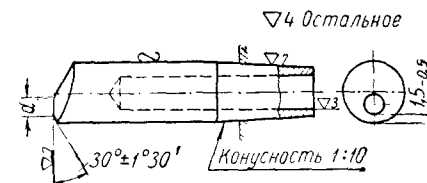
Фиг. 5. Электроды с интенсивной системой охлаждения.

Применение электродов с конической заправкой ограничено вследствие быстрого износа вершины конуса и трудности поддержания стабильной формы рабочей поверхности.

В целях улучшения отвода тепла от рабочей поверхности электродов во внутреннюю полость их по специальным трубкам подается охлаждающая жидкость. Расстояние от дна охлаждающего канала до рабочей поверхности составляет обычно 10—16 мм.



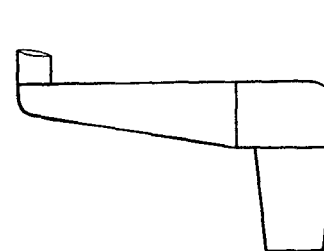
Фиг. 6. Электрод с заостренным рабочим концом и с плоской рабочей поверхностью.



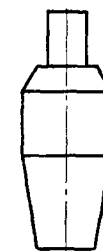
Фиг. 7. Электрод со ступенчатой рабочей поверхностью.

За рубежом (фирма Мэллори и др.) применяются электроды с ребристой формой охлаждающего канала (фиг. 5, а), несколько улучшающей условия охлаждения электродов.

Лучшей системой охлаждения является сочетание наружного охлаждения с внутренним. Электроды с двойной системой охлаждения [2] приведены на фиг. 5, б—г. На фиг. 5, б представлены некоторые возможные конструкции электродов для сварки сталей с повышенным содержанием углерода, низко-



Фиг. 8. Фасонный электрод.



Фиг. 9. Электрод для конденсаторной сварки деталей из материала типа фольги и тонкой проволоки.

легированных сталей и легких сплавов, где нежелательно попадание воды в зону сварки; на фиг. 5, а и б представлены конструкции электродов, обеспечивающие равномерную со всех сторон подачу воды в зону сварки; их рекомендуется применять при сварке аустенитных и малоуглеродистых сталей. В указанных электродах наиболее интенсивно охлаждается наружная поверхность, что позволяет повысить производительность процесса сварки, так как в паузе между импульсами электроды успевают охладиться до температуры охлаждающей воды.

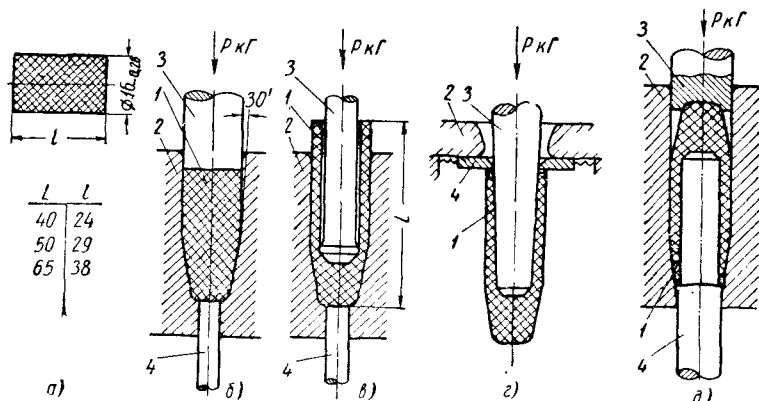
Электрод с плоской рабочей поверхностью (фиг. 1) широко распространен в промышленности и предназначен для сварки деталей из стали, титана и других металлов. Электрод с такой же рабочей поверхностью, но с заостренным рабочим концом (фиг. 6) предназначен для сварки в труднодоступных местах тех же материалов толщиной до 1,5—2,0 мм, а электрод со ступенчатой рабочей поверхностью (фиг. 7) позволяет ставить сварные точки, близко расположенные от

вертикальной стенки Фасонный электрод (фиг. 8) предназначен для сварки деталей типа коробов, цилиндров малого диаметра и т. п.

При сварке деталей из материалов типа фольги на конденсаторных машинах, где импульс тока исчисляется тысячами долями секунды, электроды почти не нагреваются; это позволяет применять электроды, изображенные на фиг. 9. Такие электроды хорошо сохраняют заданный диаметр рабочей поверхности.

Изготовление электродов

Электроды можно изготавливать тремя методами: механической обработкой из прутка, высадкой из прутка, ковкой или отливкой. Первый способ дает боль-

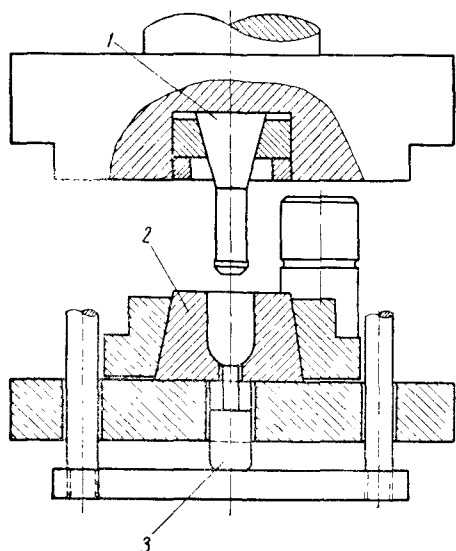


Фиг. 10. Технологический процесс изготовления электродов холодной высадкой: а — рубка заготовки; б — формовка головки; в — выдавливание (обратное); г — вытяжка; д — формовка конуса Морзе; 1 — заготовка электрода; 2 — матрица; 3 — пуансон; 4 — выталкиватель.

шие отходы металла (от 30% и выше) и может быть рекомендован для заводов с небольшим расходом электродов. Второй способ не дает отходов и рекомен-

дуется для заводов со значительным расходом электродов; при этом сокращается трудоемкость их изготовления. Третий способ рекомендуется для изготовления фасонных электродов, предназначенных для сварки деталей в трудно доступных местах.

Первый и третий способы достаточно хорошо известны. Технологическая схема изготовления электродов высадкой приведена на фиг. 10. Пуансоны штампов для высадки электродов выполняются из стали У9 с твердостью HRC 62—63, матрицы — из стали X12M с твердостью HRC 58—60. Операции высадки могут быть выполнены на гид-



Фиг. 11. Штамп для холодной высадки электродов: 1 — пуансон; 2 — матрица; 3 — выталкиватель.

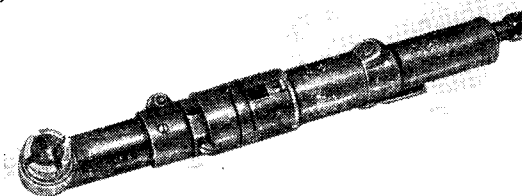
равлических или механических (кривошипных или эксцентриковых) прессах.

Для изготовления электродов таким способом может применяться медь, а также сплавы твердостью HB 110—140. Усилие при высадке электродов определяется из расчета 125—250 кг/мм² площади торца пуансона. Эскиз штампа для высадки электродов приведен на фиг. 11. При холодной высадке происходит значительная холодная деформация и упрочнение материала электрода

Эксплуатация электродов

От правильной эксплуатации электродов зависит их стойкость и качество сварного соединения.

Перед сваркой необходимо убедиться в отсутствии осевого или углового смещения электродов, в хорошем прилегании рабочих поверхностей, а также в безударном сжатии электродов. Во время работы при значительном загрязнении электрода увеличивается тепловыделение в контакте электрод — деталь, что приводит к повышению температуры рабочего конца электрода и появлению следов меди на поверхности свариваемой детали; поэтому необходимо периодически очищать рабочую поверхность электрода от окислов. При сварке сталей



Фиг. 12. Пневмозаправщик рабочего конца электрода.

зачистка производится через 200—2000 точек (в зависимости от производственных условий); при сварке легких сплавов, обладающих пониженной температурой плавления и имеющих на поверхности окисные пленки, процесс загрязнения происходит быстрее — через 10—20 точек.

Зачистка рабочих поверхностей производится тонкой наждачной бумагой, обернутой вокруг стальной пластины (для зачистки электродов с плоской рабочей поверхностью) или вокруг куска резины (для зачистки электродов со сферической рабочей поверхностью). Электроды с плоской рабочей поверхностью зачищаются поочередно, со сферической — одновременно, при небольшом сжимающем усилии. После зачистки следы абразивной пыли удаляются сухой ветошью.

В процессе эксплуатации рабочая поверхность электрода деформируется и нуждается в периодическом восстановлении.

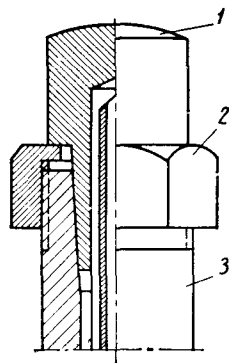
Заправка электродов напильником с мелкой насечкой не всегда обеспечивает правильную форму и размеры рабочей поверхности и удлиняет время подналадки машины. Поэтому рекомендуется для указанных целей применять специальные заправщики.

Существует несколько конструкций ручных и пневматических заправщиков (фиг. 12). Пневмозаправщик оснащен торцевой фрезой, профиль режущей части которой соответствует профилю рабочей поверхности электрода.

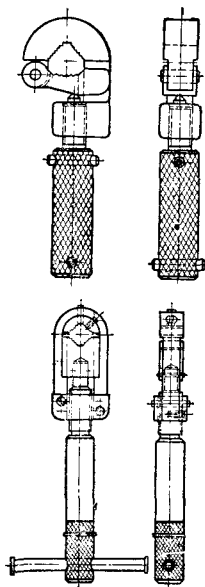
Лучшим способом заправки электродов является заправка на токарных станках с проверкой размеров по шаблону.

При таком методе целесообразно иметь комплект электродов на рабочую смену, чтобы в конце ее сдавать электроды в инструментальную кладовую для заправки.

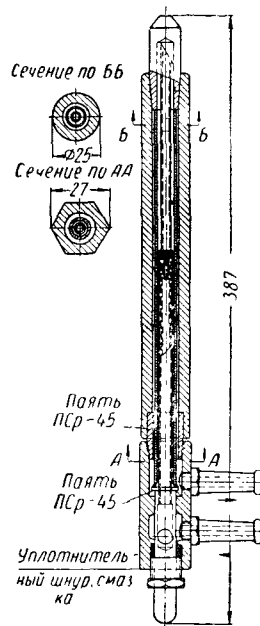
Для быстрой смены электродов или вставок без повреждения рекомендуется применять специальные гайки из немагнитных материалов, крепящиеся на свече или на корпусе электрода (фиг. 13). В отдельных случаях можно пользоваться специальным съемником (фиг. 14) или свечей с выталкивателем (фиг. 15). Такая свеча имеет в канале для воды дополнительную трубку со штырем, доходящим до электрода. Электроды выбиваются из свечи ударом молотка по торцу штыря.



Фиг. 13. Электрод со съемной гайкой: 1 — электрод; 2 — гайка; 3 — свеча.



Фиг. 14. Конструкция приспособлений для съема электродов.



Фиг. 15. Конструкция свечи с выталкивателем.

РОЛИКИ ДЛЯ ШОВНЫХ (РОЛИКОВЫХ) МАШИН

Большая часть общих требований, относящихся к электродам точечных машин, является справедливой и для шовных машин, работающих в условиях, весьма близких к точечным машинам.

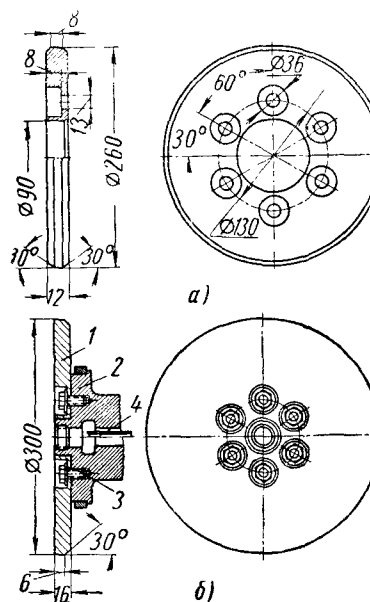
Для шовных машин применяются ролики с наружным охлаждением, внутренним и комбинированным (внутренним и наружным).

Ролик 1 (фиг. 16) для продольной и поперечной сварки с наружной системой охлаждения крепится к токоведущей консоли 2 специальными болтами 3. Контактующие поверхности электродов и консоли плотно подгоняются одна к другой с помощью шабровки. Внутреннее охлаждение имеет лишь токоведущая консоль.

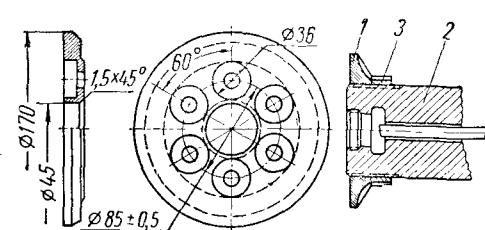
На фиг. 17 приведена конструкция ролика для поперечной сварки с наружной системой охлаждения, но с посадкой ролика 1 на токоведущую консоль машины 2 при помощи резьбы и с креплением его гайкой 3.

На фиг. 18 показан нижний ролик для продольной сварки также с наружной системой охлаждения, но с посадкой ролика на токоведущий палец, крепящийся в консоли машины.

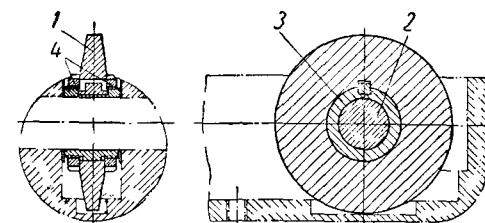
Конструкция ролика с внутренней системой охлаждения приведена на фиг. 19.



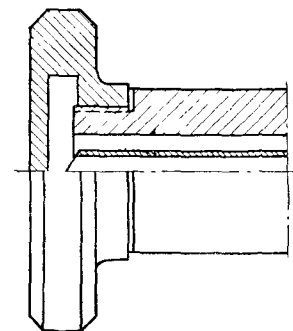
Фиг. 16. Ролик с наружным охлаждением для сварки стальных деталей толщиной 2—2,5 мм: а — конструкция электрода; б — крепление электрода на машине; 1 — электрод; 2 — токоведущая консоль; 3 — шпильки с гайками; 4 — система охлаждения.



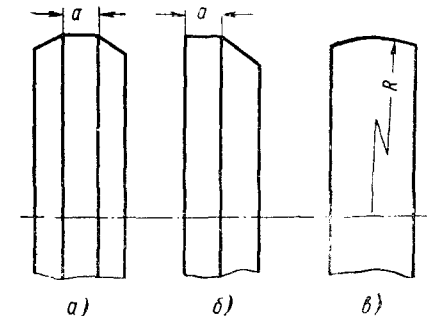
Фиг. 17. Конструкции нижних роликов для поперечно-шовных машин: 1 — электрод; 2 — токоведущая консоль; 3 — гайка.



Фиг. 18. Конструкция нижнего ролика для продольно-шовных машин (охлаждение ролика наружное): 1 — роликовый электрод; 2 — ось; 3 — втулка; 4 — гайка.



Фиг. 19. Конструкция ролика с внутренней системой охлаждения.



Фиг. 20. Формы рабочих поверхностей роликов: а — плоская ролик с двухсторонним скосом; б — плоская; ролик с односторонним скосом; в — ролик с заправкой рабочей поверхности по радиусу R .

Для сварки стальных деталей рекомендуются ролики с цилиндрической рабочей поверхностью (фиг. 20, а и б), для сварки легких сплавов — с заправкой по радиусу R (фиг. 20, в).

Выбор ширины рабочей поверхности роликов в зависимости от толщины свариваемых деталей из стали и титана

Толщина тонкой детали в мм . .	Свыше До	0,1 0,3	0,3 0,4	0,4 0,8	0,8 1,5	1,5 2,0	2,0 2,5	2,5 3,5	3,5 4,5
Ширина рабочей поверхности ролика в мм . .		1,5 —2	2,5 —3	3 —4	5 —6	6 —8	8 —10	10 —12	12 —14

Радиус заправки роликов для сварки легких сплавов на машинах типа МШШН

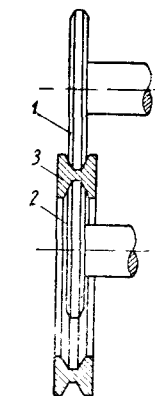
Толщина тонкой детали в мм	1,0—1,5	2,0—4,0
Радиус заправки ролика в мм	75—100	100—150

Ролики могут изготовляться непосредственно методом отливки или ковки, либо из заготовок с последующей механической обработкой.

В зависимости от условий сварки и охлаждения роликов меняется и периодичность заправки роликов. Заправку роликов рекомендуется производить на токарных станках, при обработке на которых обеспечивается строгое соблюдение размеров рабочей поверхности и чистота ее обработки, что особенно важно при сварке легких сплавов.

В машинах с приводом роликов через шарошки заправка производится непрерывно шарошками в процессе работы. В машинах с приводом на ось роликов можно применять съемное приспособление с резцом для механической обработки роликов в перерывах между сварками.

На некоторых машинах заправка роликов производится при помощи стального закаленного кольца, имеющего на внутренней и наружной поверхности насечку. Кольцо зажимается между роликами (фиг. 21), которые приводятся во вращение без тока. В процессе вращения кольцо восстанавливает первоначальную форму рабочей части роликов.



Фиг. 21. Заправка роликов с помощью стального кольца: 1 и 2 — ролики; 3 — кольцо.

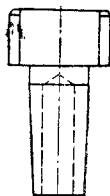
ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ РЕЛЬЕФНОЙ СВАРКИ И СВАРКИ АРМАТУРЫ

При рельефной сварке и сварке арматуры размер рабочей поверхности электродов практически не влияет на размер сварной точки. На многоточечных машинах для сварки арматурной стали применяются электроды, изображенные на фиг. 22. Уширенная контактная поверхность электрода дает возможность зажимать проволоку при небольших смещениях.

Для рельефной сварки применяются специальные электроды, которые крепятся в Т-образных пазах контактных плит машин (фиг. 23).

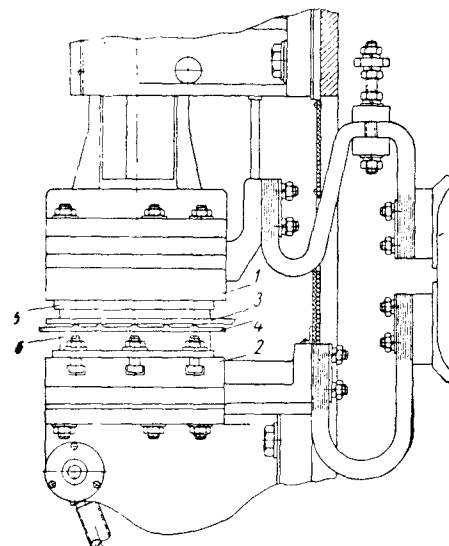
Т-образные пазы в верхней плите 1 и нижней 2 расположены взаимно-перпендикулярно для центрирования электродов. Конструктивно электроды выполняются в зависимости от формы свариваемой детали.

При сварке небольших плоских деталей (3 и 4) обычно применяются плоские электроды (5 и 6), покрывающие всю поверхность свариваемых деталей. При сварке плоских деталей больших размеров электроды снабжаются вставками



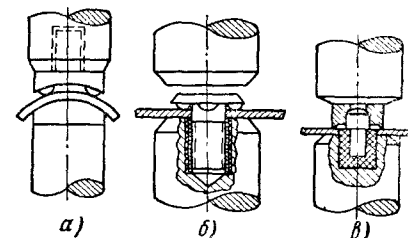
Фиг. 22. Электрод для сварки пруткового материала (арматура и т. п.).

под один или несколько выступов. Значительная поверхность контактных плит снижает плотность тока, проходящего через них; это позволяет применять более стойкие материалы с пониженной электропроводностью. Для снижения



Фиг. 23. Контактные плиты и электроды для рельефной сварки: 1 — верхняя плита; 2 — нижняя плита; 3 и 4 — свариваемые детали; 5 и 6 — электроды.

нагрева контактные плиты имеют проточное водяное охлаждение. Применение специальных электродов для рельефной сварки небольших деталей из листового материала показано на фиг. 24, а—в. На фиг. 24, в показан электрод с фиксатором для центрирования свариваемых деталей; стальной фиксатор закреплен во втулке из изоляционного материала.



Фиг. 24. Специальные электроды для рельефной сварки: а и б — электроды для сварки деталей из листового материала; в — электрод с фиксатором.

ГУБКИ ДЛЯ СТЫКОВЫХ МАШИН

Конструкция губок стыковых машин в большой степени зависит от формы и размеров свариваемых деталей.

Наиболее часто встречающиеся конструкции губок с плоской поверхностью (фиг. 25, а) предназначены для сварки прямоугольных прутков и узких полос, а также профилей, имеющих плоскую контактную поверхность. На фиг. 25, б приведены губки с призматической поверхностью для сварки стержней и прутков, имеющих круглое сечение. С увеличением диаметра увеличивается угол и призматических губок. При сварке труб с целью предупреждения деформации сечения применяют губки с цилиндрической выточкой (фиг. 25, в). Часть губок, контактирующую с нагретыми торцами, рекомендуется облицовывать жаропрочными материалами типа сплавов на базе Cu—W.

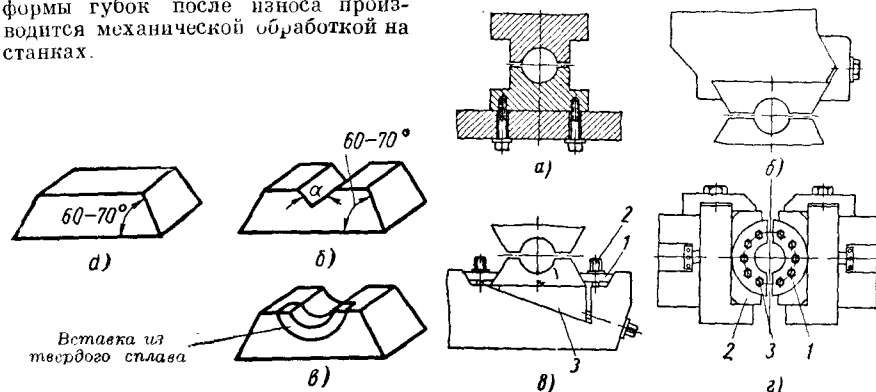
Для получения высокой точности соединения при стыковой сварке рекомендуется подгонять контактные поверхности губок по краске по шаблону. Это позволяет избежать подплавления деталей.

Прижимные губки, не имеющие токоподвода, обычно изготавливаются из стали и имеют насечку, предотвращающую проскальзывание деталей в момент осадки при сварке без упоров.

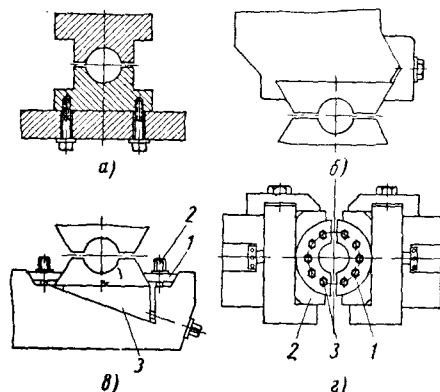
Некоторые способы крепления контактных колодок приведены на фиг. 26, а—г. Крепление колодок болтами (фиг. 26, а) применяется на машинах небольшой мощности, при этом колодки не регулируются. Крепление колодок может осуществляться с помощью прижимной планки (фиг. 26, б). На приспособлениях с радиальным ходом электродов крепление колодок осуществляется подтягиванием планок 1, прижимаемых болтами 2 (фиг. 26, в). Горизонтальное перемещение колодок осуществляется подтягиванием планок 1, а вертикальное — перемещением клина 3 (при незатянутых болтах). Горизон-

тальное и вертикальное перемещение колодок обычно не превышает 5 мм. Крепление, показанное на фиг. 26, г, применяется на горизонтальных зажимных приспособлениях, где контактные колодки 1 крепятся к контактным угольникам 2 винтами 3.

Зачистка контактных поверхностей губок производится напильником и наждачной бумагой с последующей протиркой их сухой ветошью. Восстановление формы губок после износа производится механической обработкой на станках.



Фиг. 25. Губки (контактные колодки) и контактным машинам для стыковой сварки: а — с плоской поверхностью; б — с призматической поверхностью; в — с вставкой из твердого сплава.



Фиг. 26. Способы крепления контактных колодок.

Для предупреждения повышенного износа губок следует обдувать их рабочие поверхности сжатым воздухом после сварки каждой заготовки.

Токоподводящие колодки с целью повышения их стойкости должны иметь проточное водяное охлаждение.

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОДОВ КОНТАКТНЫХ МАШИН

От материала электродов контактных машин в значительной степени зависит производительность процесса сварки и качество сварного соединения. В процессе работы при нажатии на изделие материал электродов пластически деформируется при кратковременном действии повышенных температур. Сопротивление материала пластической деформации при сжатии в процессе кратковременного нагрева является одним из условий, определяющих стойкость электродов. Однако качество материала электрода определяется не только его сопротивлением пластической деформации, а также его тепло- и электропроводностью.

Недостаточная тепло- и электропроводность сплава вызывает повышенный нагрев и износ рабочей поверхности электрода, а также появление на свариваемой детали следов материала электрода, что может привести к возникновению местных очагов коррозии.

Таким образом, к материалам электродов контактных машин предъявляются два основных требования: достаточно высокое сопротивление пластической деформации при сжатии в процессе кратковременных нагревов и достаточно высокая тепло- и электропроводность для сварки данного материала. Дополнительно требуется отсутствие в материале дефицитных легирующих добавок в больших количествах и склонности к растрескиванию и выкрашиванию, технологичность сплава в процессе его изготовления, невысокая окисляемость при сварке (для электродов стыковых машин) и т. д.

На стойкость материала электрода влияют и условия сварки: характер изменения сварочного тока, время сварки, частота импульсов и величина усилия на электродах.

Медь, применяемая до настоящего времени в качестве материала для электродов, не является жаропрочной, но обладает очень высокой тепло- и электропроводностью. Введение легирующих добавок снижает ее тепло- и электропроводность (фиг. 27). Наименьшее влияние на снижение электропроводности оказывают добавки Cd и Ag. Кадмиевая бронза с содержанием до 1,2% Cd, упрочненная методом холодной деформации, применяется в промышленности достаточно широко. Сплавы меди с серебром из-за дороговизны серебра применяются значительно реже.

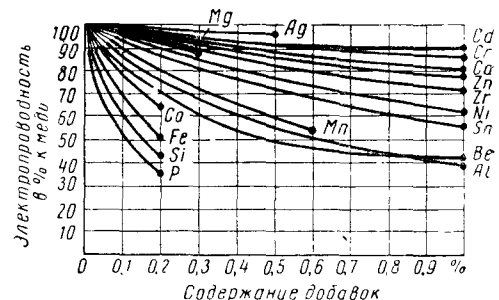
Теоретические исследования последних лет [3] показали, что высокой жаропрочностью и хорошими технологическими свойствами обладают слабегетерогенные медные сплавы с ограниченной растворимостью, имеющие в своем составе тугоплавкую легирующую добавку или тугоплавкое химическое соединение, не содержащее растворителя и не снижающее значительно температуру плавления сплава. Этим требованиям отвечает система Cu — Cr и особенно сплавы, содержащие, кроме хрома, другие легирующие добавки. К таким сплавам относятся: хромистая бронза, сплав Мц-56 [4], сплав Мц-4 [5] идущие на изготовление электродов для точечных и роликовых машин, и др.

Лучшим, но наиболее трудным способом оценки качества электродных сплавов является их испытание в процессе работы. До недавнего времени качества того или иного сплава оценивались по изменению твердости при комнатной температуре после двухчасового нагрева сплава до различных температур (фиг. 28). Холоднодеформируемая медь начинает рекристаллизоваться и терять твердость при 200—225°. Введение в медь Cd сдвигает процесс рекристаллизации вправо приблизительно на 100°, а в сплаве с хромом разупрочнение наступает при температуре ~500°.

Введение дополнительных элементов (помимо хрома) практически не влияет на температуру разупрочнения этих сплавов, хотя стойкость электродов из них может быть весьма различной. Методика измерения кратковременной горячей твердости, когда сопротивление пластической деформации того или иного сплава проверяется непосредственно в процессе нагрева, в большей степени отражает действительные условия работы электродных материалов. Рабочая поверхность электродов нагревается при точечной сварке стали до 800—850°, при сварке легких сплавов до 500—550°. Данные по кратковременной 10-минутной твердости [(8 мин. нагрев, 2 мин. выдержка при заданной температуре, 30 сек. замер (фиг. 29)] позволяют полнее судить о поведении этих сплавов в процессе сварки.

При выборе электродного сплава обычно руководствуются двумя правилами: 1) чем выше тепло- и электропроводность свариваемого материала (и, как следствие, чем выше плотность тока в контакте электрод — деталь), тем выше должна быть тепло- и электропроводность сплава во избежание повышенного нагрева и повреждения свариваемых деталей и электродов;

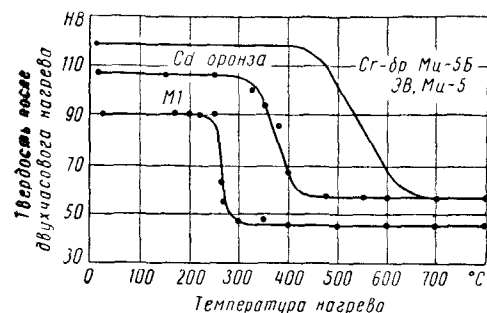
2) чем больше необходимое удельное давление на рабочей поверхности электрода, тем выше должна быть твердость сплава при повышенной температуре во избежание быстрого износа электродов. Поэтому при точечной сварке легких сплавов часто рекомендуют кадмиевую бронзу, обладающую повышенной тепло- и электропроводностью и позволяющую получать на изделии отпечатки от электродов, свободные от следов меди. Более прочный сплав Мц-56 позволяет получать лучшие результаты при сварке легких сплавов на машинах типа МТИП, дающих плавное нарастающий импульс сварочного тока.



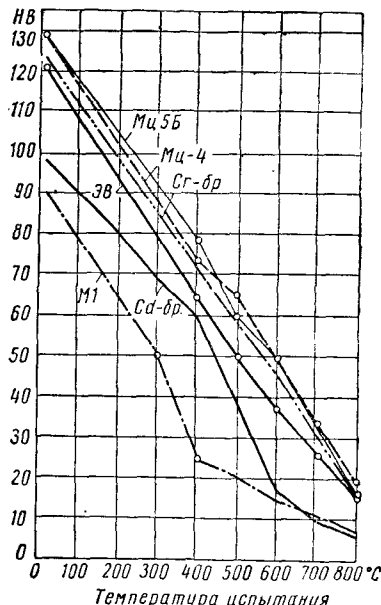
Фиг. 27. Влияние легирующих добавок на электропроводность меди.

При сварке малоуглеродистых, низколегированных и нержавеющей сталей, а также титана можно пользоваться такими сплавами как Мц-5б, Мц-4, ЭВ и хромистая бронза, обладающих меньшей электро- и теплопроводностью, но большей твердостью при повышенных температурах, чем кадмиевая бронза.

К электродам стыковых машин, зажимающим свариваемые заготовки и подводящим к ним ток, предъявляются меньшие требования в части электропроводности, но от них требуется большая жаропрочность и стойкость против окисления. Этим требованиям более полно удовлетворяют медные сплавы Мц-2 и Мц-3, имеющие в своем составе соответственно химические соединения Ni_2Si и $NiBe$. Допускается также применение сплавов Мц-4, Мц-5б, Мц-5, ЭВ (хромоцинковая бронза) и хромистой бронзы. Если медь и кадмиевая бронза упрочняются лишь методом холодной дефор-



Фиг. 28. Твердость меди и ее сплавов при 20° после двухчасового нагрева.



Фиг. 29. Кратковременная (10 мин.) горячая твердость меди и некоторых ее сплавов.

мации, то остальные из приведенных сплавов являются термически упрочняемыми.

Для всех сплавов, содержащих Сг, применяется одинаковая термическая обработка:

а) нагрев до температуры 980—990° в течение 1,5 часа с последующей закалкой в проточной воде. Закалку можно совместить с операцией литья, если сразу после кристаллизации слитка быстро вынуть его из кокиля и опустить в воду;

б) упрочняющий отпуск при 470—480° в течение 4 час., позволяющий обеспечить распад пересыщенного твердого раствора с выделением дисперсных частиц упрочняющей фазы. Горячая ковка, если она необходима для получения заготовок нужного размера, производится до термообработки. Если требуется сплав наиболее высокой твердости ($HВ > 110$), то после термообработки он подвергается холодной деформации.

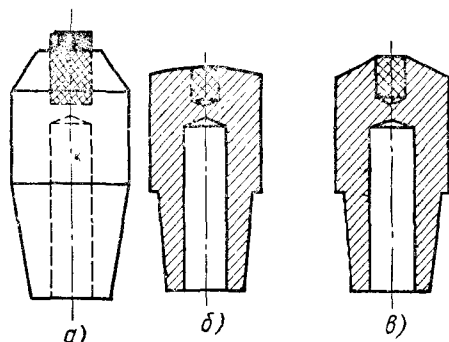
С целью повышения стойкости электродов одно время рекомендовались электроды с вольфрамовыми вставками или напаянными пластинками (фиг. 30, а). Но, как показала практика, вольфрам и металлокерамические сплавы типа W—Cu, отличающиеся высокой жаропрочностью, обладают весьма низкой тепло- и электропроводностью (29—35% от электропроводности меди), в связи с чем при использовании электродов с выступающими вставками или пластинками (через которые проходит весь сварочный ток) наблюдается интенсивный

Таблица 1. Свойства материалов для электродов контактных машин

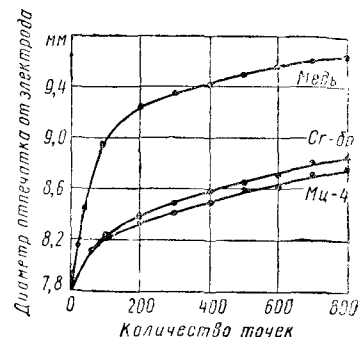
Материал электрода	Рекомендуемый состав в %	Свойства			Область применения
		Твердость, HВ при 20°С	Температура радиационного излучения в град	Кратковременная горячая твердость HВ	
Медь холоднодеформированная	99,9 Cu	70—90	200—250	20/500° 7/800°	Точечная и роликовая сварка алюминий-медных сплавов и бронз; губки стыковых машин при работе без больших тепловых нагрузок
Кадмиевая бронза	0,4—0,7 Cd остальное Cu		250—300	35/500° 6/800°	Точечная и роликовая сварка алюминий-медных сплавов из машин МТЦ, МПЦ, МШЦ, МШЦ, МШЦ, титана, никеля, губки стыковых машин
Сплав Мц-5б	0,25—0,45 Cr 0,17—0,35 Cd остальное Cu			60/500° 17/800°	Точечная и роликовая сварка сталей, титана и никеля, губки стыковых машин
Хромистая бронза	0,3—0,8 Cr остальное Cu			55/500° 15/800°	Точечная и роликовая сварка сталей, титана и никеля, губки стыковых машин
Сплав Мц-4	0,4—0,8 Cr 0,08—0,15 Al 0,08—0,15 Mg остальное Cu			60/500° 20/800°	Точечная и роликовая сварка сталей, титана и никеля, губки стыковых машин
Сплав ЭВ	0,4—0,8 Cr 0,3—0,6 Zn остальное Cu			50/500° 16/800°	Точечная и роликовая сварка сталей, титана и никеля, губки стыковых машин
Сплав Мц-2	1,5—1,8 Ni 0,4—0,6 Si 0,15—0,3 Mg остальное Cu	140—170	540	—	Губки стыковых машин с большими тепловыми нагрузками
Сплав Мц-3	0,9—1,1 Ni 0,15—0,25 Be 0,1 Mg	150—180	550	—	Губки стыковых машин с большими тепловыми нагрузками
Бр-КН-1-4	0,6—1,0 Si 3,0—4,0 Ni	140	450	95/500°	Губки стыковых машин с большими тепловыми нагрузками

нагрев вставок, приваривание электрода к изделию, растрескивание и выкрашивание материала. Электроды указанной конструкции не получили широкого распространения и находят применение лишь при сварке меди и высокоуглеродистых проводящих медных сплавов, когда электроды из меди не обеспечивают получения качественного сварного соединения.

Для улучшения условий работы вольфрамовых или других металлокерамических вставок (кирит и др.) автором предложена конструкция электрода, где вольфрамовая вставка образует единую рабочую поверхность с корпусом электрода из медного сплава или даже занимает всю рабочую поверхность (фиг. 30, б и в), не выступая за пределы корпуса [6]. Стойкость электродов с цилиндрической вставкой диаметром 2,5—3 мм при сварке нержавеющей сталей толщиной 1,5—1,5 мм с наружным водяным охлаждением повышается.



Фиг. 30. Электроды с металлокерамической вставкой.



Фиг. 31. Износ электродов из меди, хромистой бронзы и сплава Мц-4 при сварке титана ВТ-1 толщиной 2+2 мм.

во много раз; применение прямоугольных вставок с шириной рабочей поверхности менее 2,5—3 мм может привести к еще большему повышению стойкости за счет улучшения условий теплоотвода от вставки в медный корпус. Применение вставок большого диаметра приводит к их перегреву, и как следствие, к привариванию электрода к детали.

На фиг. 31 приведены кривые, характеризующие износ (изменение диаметра рабочей поверхности в зависимости от количества поставленных точек) электродов с плоской рабочей поверхностью и углом заточки 120° при сварке титана ВТ-1 толщиной 2+2 мм. Материал электродов: медь, хромистая бронза и сплав Мц-4. Режим сварки: $I = 11\ 800\text{ а}$, $P = 600\text{ кГ}$, $t = 0,26\text{ сек}$. Стойкость электродов из сплава Мц-4 на 30% выше по сравнению с хромистой бронзой. Оба сплава по стойкости превосходят медь. В табл. 3 (см. стр. 433) приведены характеристики электродных материалов, получивших наибольшее распространение в отечественной промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кочановский Н. Я., Машины для контактной электросварки, Госэнергоиздат, 1954.
2. Годин В. М., Билев К. К., Электрод для точечной контактной электросварочной машины. Авторск. свид. № 104465 от 6 октября 1954 г.
3. Захаров М. В., Новые высокоэлектропроводные медные сплавы для электродов контактной сварки, «Металловедение и металлообработка» № 5, 1956.
4. Захаров М. В., Годин В. М., Дмитриев В. М., Сплав для электродов и роликов контактных машин. Авторск. свид. № 105348 от 7 июля 1955 г.
5. Захаров М. В., Ващенко А. А. Авторское свидетельство № 12634, 1949.
6. Годин В. М., Электрод для точечной сварки с металлокерамической вставкой. Авторск. свид. № 120623 от 23 мая 1955 г.

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА КОНТАКТНОЙ СВАРКИ

ИЗМЕРЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ СВАРОЧНОГО ТОКА

Измерение с помощью трансформатора тока

Измерение величины сварочного тока точечных и роликовых машин связано с большой трудностью вследствие значительной величины сварочного тока, достигающего 100 ка и выше, кратковременности импульса тока и несинусоидальной формы тока большинства сварочных машин.

При величине тока, не превышающей 10 000 а, он может быть измерен трансформатором тока непосредственно во вторичном контуре машины. Для этой цели машина должна быть включена на время, достаточное для производства отсчета. При несинусоидальной форме сварочного тока измерения следует производить астатическими приборами типа АСТА с трансформатором тока 10 000/5а.

Определение величины сварочного тока измерением первичного тока

Измерив ток, протекающий в первичной обмотке трансформатора, пересчитывают его по следующей формуле¹:

$$I_2 = (I_1 - I_0) \frac{w_1}{w_2},$$

где I_2 — ток вторичной обмотки при коротком замыкании; I_1 — ток первичной обмотки при коротком замыкании; I_0 — ток в первичной обмотке при холостом ходе; w_1 , w_2 — число витков соответственно в первичной и вторичной обмотке сварочного трансформатора.

При таком измерении тока сварочных машин, работающих с синхронными прерывателями, имеющими регулятор нагрева, следует применять астатические приборы электромагнитной системы АСТА, позволяющие измерять эффективное значение при несинусоидальной форме тока. В этом случае сварочная машина должна быть включена на время (3—5 сек.), необходимое для проведения отсчета. Подобное измерение может быть применено только на машинах небольшой мощности, так как из-за опасности перегрузки сети длительное включение машин большой мощности обычно не допускается.

Первичный ток может измеряться приборами прямого включения, приборами с трансформаторами тока и измерительными клещами, например, типа Ц-30.

Измерение сварочного тока стрелочным прибором с упором

Измерения сварочного тока можно также производить «динамическим методом» при помощи прибора, состоящего из трансформатора тока (тороида) с воздушным сердечником и присоединенного к нему электромагнитного стрелочного

¹ Формула дает не совсем точное значение сварочного тока, так как не учитывает в полной мере влияние тока холостого хода.

прибора (амперметра или вольтметра), снабженного специальным поворотным обратным упором. Последним можно установить стрелку прибора на любое деление шкалы. Прибор вместе с трансформатором тока должен быть протарирован в амперах. Измерения динамическим методом наиболее удобно производить измерительными клещами, также снабженными поворотным упором стрелки.

Измерение величины тока прибором с неоновой лампой

Для измерения сварочного тока может быть применена схема, приведенная на фиг. 1. Торонд Т, помещаемый на консоль сварочной машины, присоединяется через переменное сопротивление R к первичной обмотке трансформатора Тр. Напряжение вторичной обмотки трансформатора подается на неоновую лампу НЛ. При измерении тока устанавливается положение движка переменного сопротивления, при котором начинается свечение лампы; шкала движка проградуирована на величину тока в амперах.

Фиг. 1. Схема измерения величины тока неоновым индикатором.

Указанная схема позволяет измерять сварочные импульсы весьма малой продолжительности; но при несинусоидальной форме тока она дает большие погрешности в измерениях.

Измерение тока катодным вольтметром

На фиг. 2 представлена схема с катодным вольтметром для измерения кратковременных импульсов тока при точечной и шпальной сварке.

Трансформатор тока (торонд) Т через выпрямитель В заряжает конденсатор С небольшой емкости. Напряжение на обкладках конденсатора С измеряется катодным вольтметром КВ. Катодный вольтметр имеет высокое входное сопротивление; заряд, приобретенный конденсатором во время кратковременного импульса сварочного тока, сохраняется довольно долго, поэтому стрелка катодного вольтметра успевает установиться для отсчета.

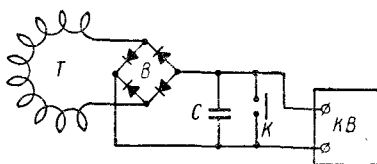
Цепь заряда конденсатора С в указанной схеме имеет очень малую постоянную времени, поэтому даже при кратковременных импульсах напряжение конденсатора будет пропорционально амплитудному значению тока. При синусоидальной форме тока напряжение конденсатора будет пропорционально эффективному значению тока.

Указанный прибор целесообразно применять на машинах, работающих с электромагнитными и электронными контакторами, т. е. в тех случаях, когда отсутствует запаздывание в возбуждении игнитронов. Для повторного отсчета необходимо разрядить конденсатор замыканием кнопки К.

Измерение сварочного тока катодным вольтметром может быть произведено при одном кратковременном включении тока, тогда как для измерения при помощи стрелочного прибора с обратным упором или прибора с неоновой лампой необходимо производить несколько включений.

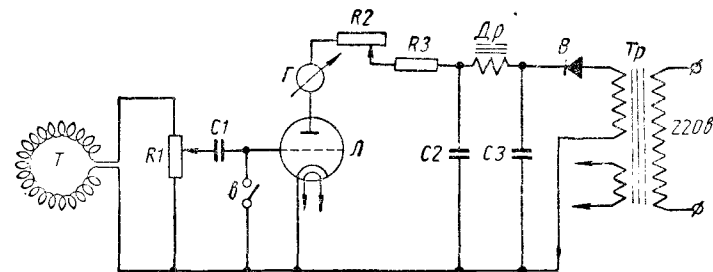
Измерение тока специальными электронными приборами

Для измерения кратковременных импульсов тока может быть применен прибор, принципиальная схема которого показана на фиг. 3. Напряжение с трансформатора тока Т через делитель R1 в моменты импульсов тока заряжает конденсатор C1 отрицательно по отношению к сетке лампы Л. Анодный ток лампы



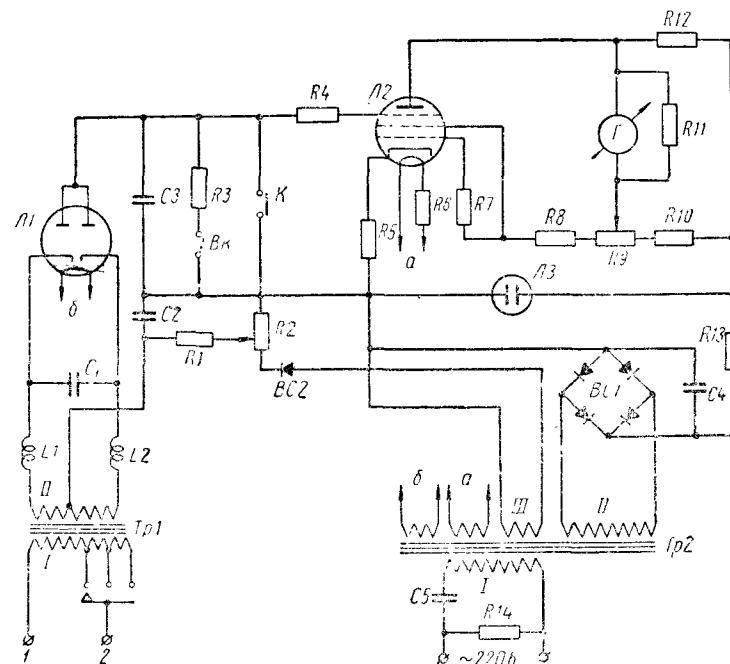
Фиг. 2. Схема измерения импульсов сварочного тока катодным вольтметром.

снижается, и тем самым изменяются показания гальванометра Г, шкала которого проградуирована в амперах. Так как разрядные цепи конденсатора C1 имеют очень большое сопротивление, заряд конденсатора, а следовательно, и



Фиг. 3. Схема прибора для измерения тока при точечной сварке.

показания прибора, остаются неизменными длительное время, достаточное для производства отсчета. В данном случае нуль гальванометра соответствует наибольшему отклонению стрелки, которое устанавливается при настройке прибора переменным сопротивлением R2. Трансформатор Тр, выпрямитель В, дроссель Др и конденсаторы C2, C3 служат для питания прибора.



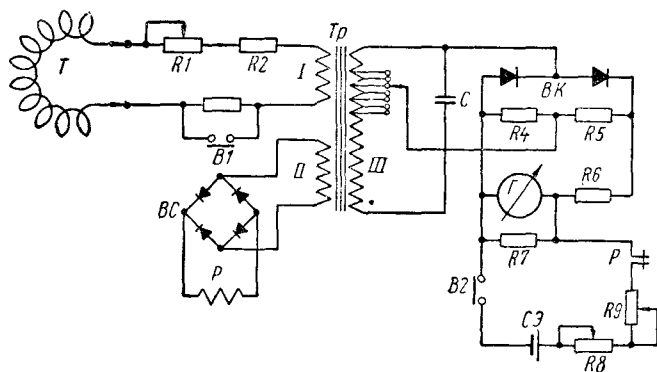
Фиг. 4. Схема прибора для измерения тока при точечной и шпальной сварке.

Указанный прибор служит только для измерения импульсов сварочного тока синусоидальной формы. Этого недостатка лишен прибор, схема которого приведена на фиг. 4. Напряжение торонда, пропорциональное скорости изменения сварочного тока, подается на клеммы 1, 2 трансформатора Тр1. Вторич-

ная обмотка трансформатора Тр1 нагружена индуктивно-емкостным контуром L1, L2, C1, который преобразует напряжение тороида в близкое к синусоидальному с амплитудой, пропорциональной эффективному значению сварочного тока. Это напряжение выпрямляется двойным диодом J1 и заряжает конденсатор C3. Величина последнего подобрана с таким расчетом, что даже при весьма кратковременных импульсах он заряжается до амплитудного напряжения. Таким образом, при импульсе сварочного тока на конденсаторе C3 устанавливается напряжение, пропорциональное эффективному значению сварочного тока. Это напряжение подается на сетку лампы J12, которая работает в режиме усилителя постоянного тока. В анодную цепь этой лампы включен магнито-электрический микроамперметр, проградуированный непосредственно в амперах. При нажатии кнопки К происходит разряд конденсатора C3 и сброс показаний прибора после каждого импульса тока. Особенностью прибора является возможность отсчета при одиночных импульсах сварочного тока, что ценно для измерения при точечной сварке и при подборе режимов сварки. Для измерений тока роликовых машин параллельно конденсатору C3 подключается сопротивление R3, которое частично разряжает конденсатор в течение паузы между импульсами. Питание прибора осуществляется от сети переменного тока, через стабилизированный выпрямитель (Тр2, C5, J13) и не зависит от колебаний напряжения.

Измерение величины тока импульсным амперметром

Для измерения сварочного тока машин, работающих с прерывателями, имеющими регулятор нагрева, применяется импульсный амперметр, схема которого изображена на фиг. 5. Напряжение с тороида Т, устанавливаемого на консоли сварочной машины, подается через переменное сопротивление на первичную обмотку входного трансформатора Тр. Обмотка J11, зашунтированная



Фиг. 5. Схема импульсного амперметра.

конденсатором С, образует интегрирующий контур, преобразовывающий напряжение с тороида, пропорциональное величине $\frac{dI}{dt}$, в напряжение, пропорциональное сварочному току I . Режим купроксного выпрямителя ВК устанавливается путем подбора величины сопротивления R6 с расчетом выпрямления тока на квадратичном участке его вольтамперной характеристики. При таком условии мгновенные значения входного напряжения и тока на выходе связаны между собой квадратичной зависимостью. Последнее приводит к тому, что показания гальванометра Г не зависят от формы кривой сварочного тока. При этом напряжение у тороида существует лишь в моменты импульсов сварочного тока, которые чередуются с длинными паузами при точечной сварке и с более короткими паузами при роликовой сварке. В моменты пауз на клеммы гальванометра Г

через нормально-замкнутый контакт реле Р подается напряжение от элемента СЭ.

Напряжение на клеммах гальванометра подбирается регулированием переменных сопротивлений R9 и R8 так, чтобы стрелка гальванометра при отсутствии сварочного тока устанавливалась на отметку в середине шкалы. В моменты импульсов сварочного тока напряжение на обмотке J1 возбуждает реле Р, и его нормально-замкнутый контакт, размыкаясь, разрывает цепь питания гальванометра постоянным напряжением от элемента СЭ. В эти моменты на гальванометр действует напряжение с купроксного выпрямителя ВК, пропорциональное сварочному току. Во время пауз контакт реле Р вновь подключает к гальванометру постоянное напряжение. Если среднее значение напряжения с купроксного выпрямителя и напряжение постоянного тока одинаковы, то стрелка гальванометра сохраняет исходное положение на середине шкалы. Такое положение стрелки достигается регулированием переменного сопротивления R1. Измеренная величина сварочного тока определяется по шкале переменного сопротивления R1, проградуированной в амперах. Как указано выше, показания прибора будут действительными независимо от формы кривой сварочного тока. Сопротивление R2 служит для получения требуемого диапазона измерений. Сопротивления R4 и R5 выполнены из медной проволоки для устранения температурной погрешности прибора. Выключатели В1 и В2 служат для включения прибора и переключения диапазонов измерения.

Наличие так называемого электрического нуля (напряжение с элемента) делает показания прибора независимыми от длительности импульса при точечной сварке и величины общего цикла при роликовой сварке.

Импульсный амперметр применяется для измерения сварочного тока на машинах точечной и роликовой сварки переменного тока, работающих с прерывателями любого типа. Точность показаний амперметра $\pm 4\%$.

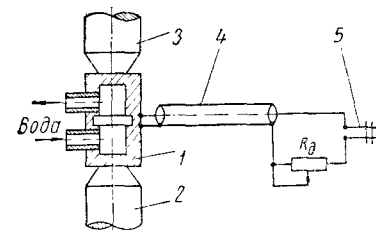
Измерение и регистрация величины тока магнито-электрическим и катодным осциллографом

С помощью магнито-электрического и катодного осциллографа может быть произведено измерение и регистрация тока сварочных машин всех типов. Для этой цели применяются различные датчики тока. Наиболее простыми датчиками тока, подключаемыми к магнитоэлектрическому осциллографу, являются специальные шунты, помещаемые между электродами сварочной машины.

Шунт представляет собой полый, запаянный с обеих сторон цилиндр из меди или латуни, охлаждаемый проточной водой (фиг. 6). Во избежание влияния магнитного поля сварочного контура на шунт, последний имеет небольшую длину; сопротивление шунта подбирается с таким расчетом, чтобы падение напряжения на нем обеспечило необходимое отклонение вибратора осциллографа. Для этой цели внутри шунта делается выточка, увеличивающая его сопротивление в месте присоединения проводов. Отвод напряжения с шунта выполняется коаксиальным кабелем, полностью устраняющим наводки магнитного поля сварочного контура на провода, идущие к осциллографу.

После припайки кабеля измеряется сопротивление шунта вместе с коаксиальным кабелем.

Для измерения величины тока при сварке деталей один из концов шунта должен иметь форму электрода, другой — конуса, которым он крепится в электрододержателе машины, и сварка ведется обычным способом. Концы коаксиального кабеля через переменное сопротивление R_0 подключаются к зажимам вибрат



Фиг. 6. Схема измерения тока с помощью короткого шунта и магнито-электрического осциллографа: 1 — шунт; 2, 3 — электроды; 4 — кабель; 5 — вибратор осциллографа.

тора осциллографа; по величине отклонения вибратора от нулевой линии на экране осциллографа определяют величину тока, протекающего по контуру.

Для расчетов принимаются следующие обозначения:

$R_{ш}$ — сопротивление шунта между точками присоединения кабеля в Ω ;
 R_{θ} — добавочное сопротивление потенциометра в цепи вибратора осциллографа в Ω ;

R_k — сопротивление коаксиального кабеля в Ω ;

R_o — сопротивление вибратора осциллографа в Ω ;

A_0 — токовая постоянная вибратора в $мА/мм$.

Пример. Зная отклонение «зайчика» (l мм), определяют ток в цепи вибратора осциллографа по формуле

$$I_0 = A_0 l \frac{1}{1000} a.$$

Затем определяют падение напряжения на шунте

$$U_{ш} = I_0 (R_{\theta} + R_o + R_k) a.$$

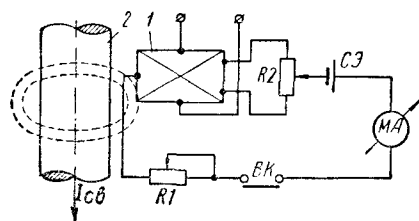
По падению напряжения $U_{ш}$ и сопротивлению шунта $R_{ш}$ определяют амплитуду сварочного тока $I_{св}$, протекающего через шунт,

$$I_{св} = I_{ш} = \frac{U_{ш}}{R_{ш}} a.$$

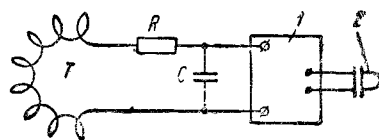
Если сварочный ток имеет синусоидальную форму, можно определить его эффективное значение

$$I_{св.эф} = \frac{I_{ш}}{\sqrt{2}} a.$$

Измерение и регистрацию сварочного тока можно произвести с помощью датчиков, работающих на основе эффекта Холла. Датчики подключаются к маг-



Фиг. 7. Схема датчика тока с использованием эффекта Холла в полупроводниках: 1 — пластинка германия; 2 — токопровод.



Фиг. 8. Схема для регистрации сварочного тока: тороид — интегрирующий контур — усилитель — осциллограф; 1 — усилитель постоянного тока; 2 — вибратор осциллографа.

нитоэлектрическому осциллографу. Эффект Холла заключается в возникновении поперечной э. д. с. на пластинке полупроводника, через которую протекает ток при наличии магнитного поля, перпендикулярного плоскости пластинки. Э. д. с. эффекта Холла пропорциональна напряженности магнитного поля и току, протекающему через пластинку. Прямая зависимость между напряженностью магнитного поля и э. д. с. эффекта Холла позволяет использовать эффект Холла для датчика сварочного тока. Принципиальная схема такого датчика приведена на фиг. 7. Питание датчика осуществляется от сухого элемента СЭ. Величина тока питания регулируется реостатом R_1 и устанавливается по миллиамперметру MA . Сопротивление R_2 служит для балансировки датчика, которая выполняется в следующем: регулировкой движка переменного сопротивления R_2

добиваются такого положения, чтобы при включении тока питания напряжение на выходных клеммах отсутствовало. Э. д. с. датчика прямо пропорциональна величине тока питания, который может устанавливаться в пределах 10—30 $мА$, в зависимости от требуемого масштаба записи осциллограммы, чувствительности осциллографа и величины сварочного тока. Для определения масштаба осциллограммы производят одновременную запись тока с шунта и датчика Холла. В дальнейшем измерение тока производится по масштабу без изменения положения датчика относительно токоведущих элементов сварочного контура машины.

Кроме записи сварочного тока магнитоэлектрическим осциллографом непосредственно с шунта, для регистрации тока может быть применена схема, приведенная на фиг. 8. Напряжение с тороида T , помещаемого на консоль сварочной машины через интегрирующий контур, состоящий из конденсатора C и сопротивления R , подается на усилитель постоянного тока с коэффициентом усиления 1000—1200. Вибратор осциллографа включается на выход усилителя. При измерениях сварочного тока усилитель питается от феррорезонансного стабилизатора. При такой схеме измерения искажения, вносимые магнитным полем сварочного контура, значительно меньше. Кроме того, схема позволяет проводить запись и измерение тока непосредственно во время сварки деталей. Схема может применяться для записи и измерения сварочного тока на сварочных машинах всех типов.

Для визуального наблюдения кривой тока при наладке сварочных машин удобно пользоваться электронным низкочастотным осциллографом с трубкой длительного послесвечения типа ЭНО-1. В качестве датчиков сварочного тока в этом случае могут быть использованы датчик Холла (см. фиг. 7) или трансформатор тока (тороид) с интегрирующим контуром, которые подключаются на вход осциллографа ЭНО-1.

Измерение зарядного тока машин с накоплением энергии в магнитном поле

Величина сварочного тока у машин с накоплением энергии в магнитном поле зависит от величины зарядного тока в первичной обмотке сварочного трансформатора.

Для контроля величины зарядного тока в первичную цепь сварочного трансформатора включается амперметр постоянного тока с наружным шунтом, например прибор типа М-340 с пределом измерений до 600 $а$ (фиг. 9). Шунт устанавливается внутри корпуса сварочной машины, прибор помещается возле рабочего места сварщика.

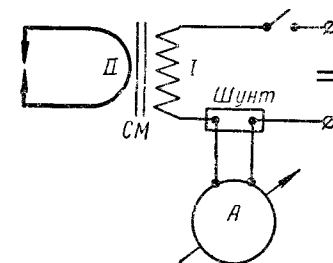
Время зарядки составляет в среднем 0,5—1,0 сек., поэтому величину отклонения стрелки амперметра можно легко наблюдать.

Измерение величины тока низкочастотных машин

Величина тока сварочных машин МТИП, МТПТ, МШШН измеряется с помощью шунта или датчика Холла на магнитоэлектрическом осциллографе. Кроме того, величина сварочного тока с достаточной точностью может быть определена путем измерения первичного тока и пересчета по формуле

$$I_2 = I_1 K,$$

где I_2 — вторичный ток; I_1 — первичный ток; $K = \frac{W_1}{W_2}$ — коэффициент трансформации сварочного трансформатора.



Фиг. 9. Схема измерения зарядного тока машин с накоплением энергии в магнитном поле.

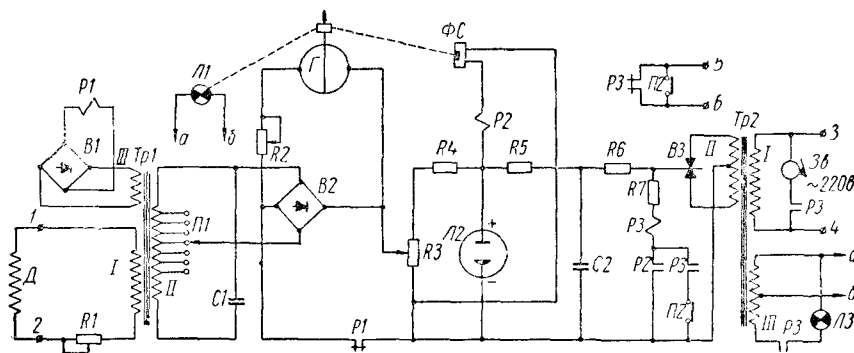
Измерение первичного тока производится с помощью измерительного шунта на 75 мВ и магнитоэлектрического осциллографа. При измерении следует помнить, что сварочный ток пропорционален первичному току только в пределах допустимой величины длительности сварочного импульса на данной ступени трансформатора.

КОНТРОЛЬ ВЕЛИЧИНЫ ТОКА ПРИ СВАРКЕ

Контроль тока при шовной сварке

На фиг. 10 приведена электрическая схема прибора для контроля тока при шовной сварке. Прибор состоит из двух частей: контрольно-измерительной и сигнальной.

Контрольно-измерительная часть. Датчик Д, представляющий собой катушку с немагнитным сердечником, постоянно устанавливается на токоподво-



Фиг. 10. Схема прибора для контроля тока при шовной сварке.

дней шине шовной машины. При работе машины в датчике наводится э. д. с., пропорциональная скорости изменения сварочного тока; через переменное сопротивление R_1 э. д. с. подается на обмотку I трансформатора Тр1. Обмотка III через селеновый выпрямитель В1 питает обмотку реле Р1, которое возбуждается в моменты импульсов сварочного тока. К обмотке II трансформатора Тр1 подключены конденсатор С1, селеновый выпрямитель В2 и гальванометр Г. Конденсатор С1 совместно с обмоткой II образуют интегрирующий контур; при этом напряжение на конденсаторе С1 будет пропорционально величине сварочного тока. Это напряжение в моменты импульсов тока выпрямляется выпрямителем В2 и поступает на гальванометр Г. В моменты пауз при шовной сварке на гальванометр через нормально-закрытый контакт реле Р1 подается постоянное напряжение с потенциометра Р3, которое стабилизируется газовым стабилизатором Л2. Величина напряжения регулируется потенциометром так, чтобы стрелка гальванометра устанавливалась на середину шкалы.

Таким образом, гальванометр Г имеет два источника питания: ток выпрямителя В2, существующий в моменты импульсов сварочного тока, и стабилизированный ток, подключаемый к гальванометру контактами реле Р1 в моменты пауз между сварочными импульсами.

Для настройки прибора на заданный режим при сварке образца вращают рукоятку резистора R_1 и добиваются такого положения, при котором средний ток выпрямителя В2 и стабилизированный ток с потенциометра Р3 будут равны; в этом случае стрелка слегка колеблется и остается на середине шкалы. При произвольных отклонениях установленной величины сварочного тока стрелка

гальванометра будет отклоняться соответственно влево или вправо от своего положения на середине шкалы. Чувствительность прибора (угол отклонения стрелки от середины шкалы) устанавливается при первоначальной наладке прибора изменением величины сопротивления R_2 . Требуемый диапазон контролируемого сварочного тока устанавливается изменением числа витков обмотки II, подключаемых к выпрямителю В2 с помощью переключателя П1.

Сигнальная часть. Работа сигнальной части прибора основана на изменении величины фотосопротивления ФС (фиг. 10) при освещении его светом от лампы Л1. В отсутствие импульсов сварочного тока, а также при сварочном токе, соответствующем заданному режиму, стрелка гальванометра не меняет своего положения на середине шкалы. В этом случае доступ света от лампы Л1 на фотосопротивление ФС, установленное за шкалой, перекрывается флажком из алюминиевой фольги, который укреплен на стрелке гальванометра. При отклонении стрелки влево или вправо от середины шкалы флажок открывает отверстие в шкале гальванометра и фотосопротивление ФС освещается светом от лампы Л1. В этот момент величина фотосопротивления резко понижается, ток в цепи фотосопротивления возрастает и реле Р2 срабатывает, включая своими нормально-открытыми контактами реле Р3, которое включает сигнальную лампу Л3 и звонок Зв.

Питание цепей фотосопротивления ФС, реле Р2 и Р3 осуществляется напряжением от обмотки II трансформатора Тр2 через выпрямитель В3.

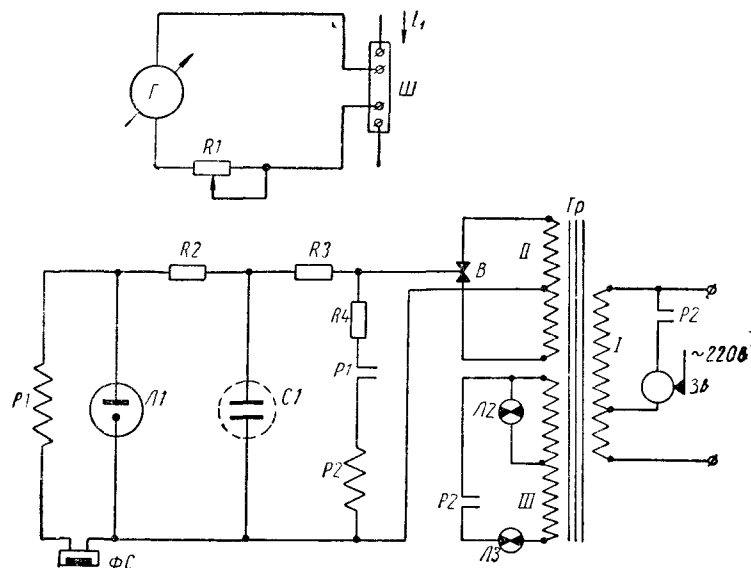
Кроме подачи светового и звукового сигнала при отклонениях сварочного тока от заданного значения, прибор в случае необходимости может автоматически выключать подачу импульсов сварочного тока. Для этой цели в разрыв цепи управления прерывателя ПИИ включаются клеммы 5 и 6 прибора. При положении переключателя П2, показанном на схеме, клеммы 5 и 6 замкнуты нормально-закрытым контактом реле Р2. При срабатывании реле Р3 (при отклонении тока) контакты размыкаются и цепь управления прерывателя оказывается разомкнутой; подача импульсов сварочного тока прекращается. Если автоматического отключения не требуется, то переключатель П2 ставится в положение, при котором он шунтирует нормально-закрытые контакты Р3.

Общее питание прибора осуществляется от сети переменного тока (клеммы 3 и 4).

Контроль величины и длительности импульса тока на низкочастотных точечных машинах МТИП

Электрическая схема прибора для контроля импульса сварочного тока на точечных машинах МТИП приведена на фиг. 11. Схема состоит из двух электрически не связанных между собой узлов: измерительного прибора и узла сигнализации. С шунта Ш, включенного в первичную цепь сварочной машины, снимается напряжение, пропорциональное току, и через переменное сопротивление R_1 , служащее для настройки, подается на гальванометр Г. Так как длительность тока у машин МТИП обычно не превышает 0,5 сек., то за это время подвижная система прибора не успевает установиться в положение, соответствующее измеряемой величине. Угол отклонения стрелки прибора в этом случае является функцией не только тока, но и длительности импульса. На стрелке прибора укреплен легкий флажок из фольги, который при отсутствии импульсов тока перекрывает доступ световому потоку от лампы Л2 к фотосопротивлению ФС. Укрепленному за шкалой прибора; в месте установки фотосопротивления в шкале имеется отверстие. В момент прохождения импульса тока (при правильной настройке прибора) стрелка с укрепленным на ней флажком отклоняется, и флажок открывает доступ света к фотосопротивлению ФС. Величина фотосопротивления резко падает, и реле Р1, включенное в цепь фотосопротивления, срабатывает, замыкая своим нормально-открытым контактом цепь питания катушки реле Р2, которое включает сигнальную лампу Л3 и звонок Зв. В случае снижения величины тока или длительности импульса против заданного значения (на которое настроен прибор) угол отклонения стрелки прибора уменьшается, флажок не открывает доступа света к фотосопротивлению и сигнализация не включается. Для стабильной работы схемы напряжение, поступающее на фото-

сопротивление ФС и реле Р1, стабилизируется газовым стабилизатором Л1. Чувствительность прибора к изменениям тока составляет (-3%) к длительности импульса (-5%).



Фиг. 11. Схема прибора для контроля импульса тока на низкочастотных машинах МТИП.

СТАБИЛИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СВАРОЧНОГО ТОКА

Стабилизатор сварочного тока

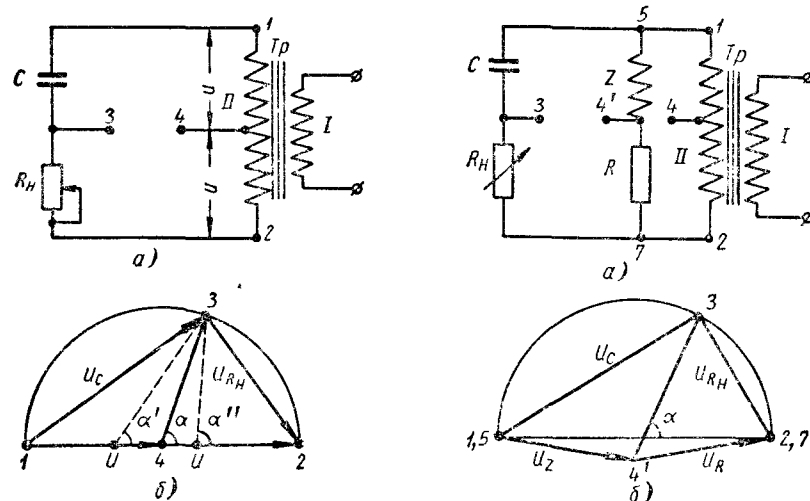
Непостоянство напряжения в силовой сети, питающей сварочную машину может вызывать отклонения величины сварочного тока в пределах $\pm 15\%$. Для устранения этого явления применяются электронные стабилизаторы тока.

На фиг. 12, а представлена схема типового фазорегулирующего устройства прерывателей завода «Электрик» ПИТ и ПИШ, а на фиг. 12, б — векторный диаграмма напряжений в фазорегуляторе. Угол α определяет сдвиг фаз между анодным и сеточными напряжениями тиратронов, поджигающих ignитроны прерывателя. Таким образом, при изменении угла α меняется момент поджига ignитронов по отношению к нулю напряжения на их анодах, а следовательно, и эффективный ток.

Основное изменение сварочного тока производится вручную вращением рукоятки «Нагрев» прерывателя, связанной с переменным сопротивлением R_n (фиг. 12, а). Это приводит к изменению напряжения U_c и U_{R_n} и, следовательно, к изменению угла α . Однако изменение угла α будет иметь место и при изменении расположения точки 4 вторичной обмотки трансформатора (фиг. 12, б): при приближении точки 4 к точке 1 угол α уменьшается, при приближении к точке 2 — увеличивается; соответственно увеличивается или уменьшается эффективный сварочный ток. Если включить на клеммы вторичной обмотки трансформатора два последовательно соединенных сопротивления R и Z (фиг. 13, а) и изменять величину одного из них, например Z , то это приведет к перемещению точки 4 на векторной диаграмме (фиг. 13, б), а, следовательно, к изменению угла α .

Схема, приведенная на фиг. 13, а, используется в автоматическом электрон-
ном стабилизаторе тока (фиг. 14).

Клеммы 5, 6 и 7 стабилизатора соответствуют клеммам 5, 4 и 7 на фиг. 13, а присоединяются к соответствующим клеммам фазорегулирующего устройства. Сопротивление Z схемы на фиг. 13, а заменено в схеме на фиг. 14 обмоткой трансформатора Tr с сопротивлением Z . Сопротивление Z первичной обмотки трансформатора изменяется при изменении анодного тока ламп Л3 и Л4 в его вторичной обмотке. Величина анодного тока ламп зависит от напряжения на их сетках, которое пропорционально разности напряжений $\Delta U = U_1 - U_2$, где U_1 — напряжение, пропорциональное напряжению питающей сети, U_2 — неизменное напряжение источника постоянного тока.



Фиг. 12. Фазорегулирующее устройство прерывателя ПИТ и ПИШ: а — схема; б — векторная диаграмма напряжений в фазорегуляторе.

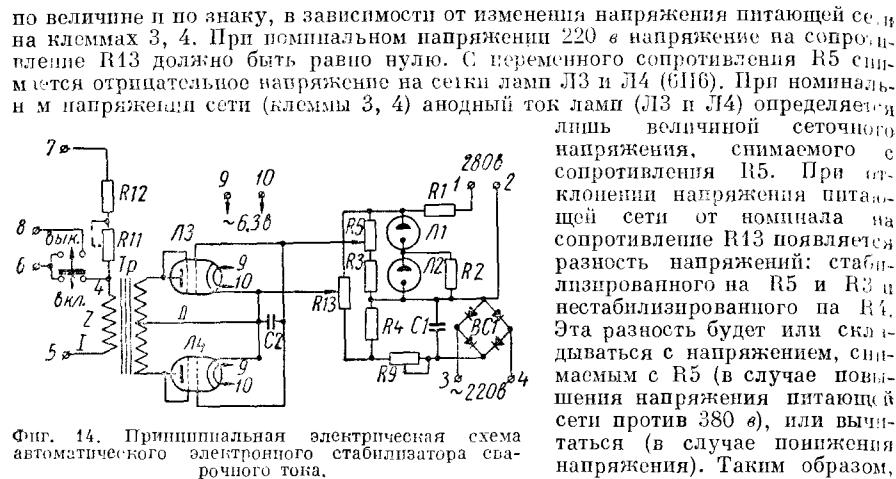
Фиг. 13. Стабилизатор тона: а — схема работы стабилизатора; б — векторная диаграмма напряжений.

Принцип действия стабилизатора сварочного тока состоит в том, что напряжение питающей сети после выпрямления сравнивается с неизменным напряжением постоянного тока.

На клеммы 1 и 2 стабилизатора подается напряжение с выпрямителя прерывателя. Подаваемое напряжение в моменты сварки понижается на 10—15 в. Для выравнивания падения напряжения в схеме применены газовые стабилизаторы типа СГЗС (Л1 и Л2), соединенные последовательно. Падение части напряжения происходит на буферном сопротивлении R1, чем и осуществляется стабилизация. Один из стабилизаторов (Л2) зашунтирован сопротивлением R2, что облегчает начальное зажигание газовых стабилизаторов.

Таким образом в цепи, состоящей из переменного сопротивления R5 и сопротивления R3, устанавливается постоянное напряжение, не зависящее от изменения напряжения питающей сети. На клеммы 3 и 4 подается переменное напряжение питающей сети, которое выпрямляется селеновым выпрямителем BC1. Конденсатор C1 служит для снижения величины пульсации выпрямленного напряжения. На сопротивлении R4 при помощи переменного сопротивления R9 устанавливается напряжение, равное напряжению на сопротивлениях R5, R3. Установка напряжения на R4 производится при напряжении на клеммах 3 и 4, равном 220 в (номинальное напряжение, соответствующее 380 в питающей сети).

Напряжения на сопротивлениях R5, R3 и R4 направлены навстречу Та-
ким образом, на переменном сопротивлении R13 напряжение будет изменяться



Фиг. 14. Принципиальная электрическая схема автоматического электронного стабилизатора сварочного тока.

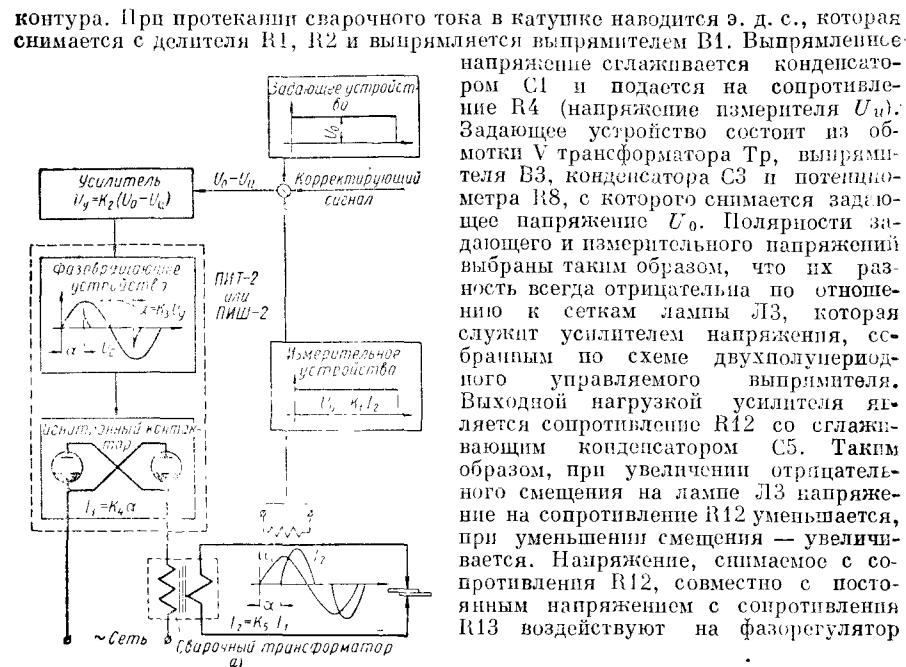
лампах Л3 и Л4 растет, а их анодный ток уменьшается, при этом увеличивается реактивное сопротивление обмотки I трансформатора Тр1. При понижении напряжения сети против номинала сопротивление Z обмотки I снижается. Клеммы 5, 6, 7, 8 подключаются к соответствующим точкам фазорегулирующего устройства прерывателей ПИТ или ПИШ.

Электронный стабилизатор сварочного тока при колебаниях напряжения сети в пределах $\pm 15\%$ поддерживает величину сварочного тока в пределах $\pm 3\%$. Постоянная времени стабилизатора не превышает 0,03 сек.

Автоматический регулятор сварочного тока

При точечной и релейной сварке величина тока во многих случаях может отклоняться от заданного значения, например, при сварке ферромагнитных материалов, при изменении сопротивления сварочного контура и т. п. Для автоматического поддержания постоянства величины сварочного тока машин, работающих с прерывателями ПИТ и ПИШ, независимо от причин изменения может быть применен регулятор, скелетная схема которого представлена на фиг. 15, а. Принцип действия регулятора основан на том, что введение в фазорегулирующий мост прерывателя постоянного напряжения соответствующего знака вызывает изменение величины сварочного тока. Работа схемы осуществляется следующим образом. Значению тока I_2 , протекающего во вторичном контуре сварочной машины, соответствует напряжение измерительного устройства U_u , которое вычитается из напряжения задающего устройства U_0 . Полученная разность $U_0 - U_u$ усиливается усилителем с выходным напряжением U_y . Выходное напряжение усилителя воздействует на фазорегулятор прерывателя, который управляет величиной сварочного тока. Если регулятор настроен на установленный режим, то выходное напряжение усилителя U_y имеет значение, при котором выходной сигнал регулятора не изменяет величину сварочного тока. Если предположить, что в какой-то момент времени сварочный ток уменьшился, то уменьшится и напряжение измерительного устройства, а разность $U_0 - U_u$ увеличится. При увеличении сварочного тока разность $U_0 - U_u$ уменьшается. Таким образом, меняется напряжение на входе усилителя, а следовательно, и его выходной сигнал. Изменения выходного напряжения усилителя вызывают изменения сварочного тока в направлении приближения его к заданной величине.

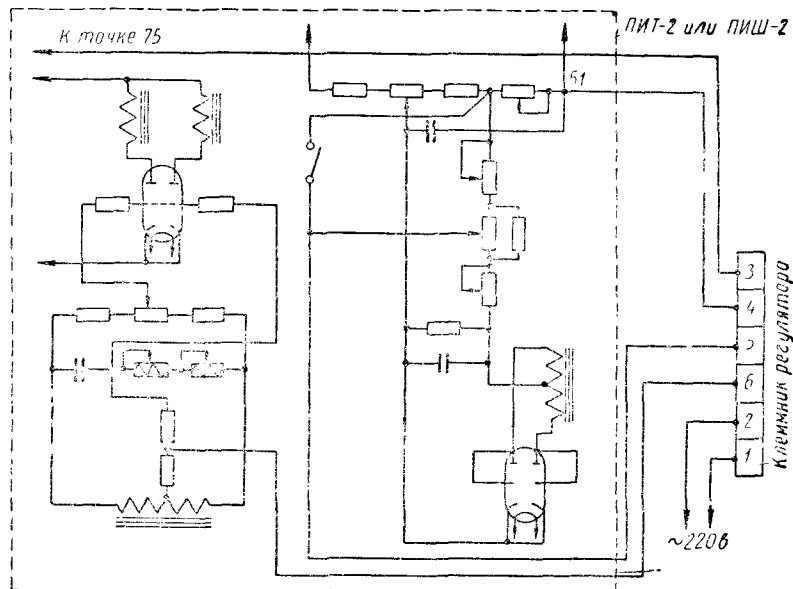
Полная схема автоматического регулятора представлена на фиг. 15, б. Катушка трансформатора тока ТТ помещена на токоведущей части сварочного



Фиг. 15. Скелетная схема автоматического регулятора сварочного тока (а); электрическая схема регулятора (б).

прерывателя, поддерживая заданное значение сварочного тока. Так как в паузах между импульсами тока напряжение на входе регулятора отсутствует, во избежание резких бросков сварочного тока в момент включения, в паузы вместо напряжения на сопротивлении R4 (U_n) на сеточную цепь лампы Л2 действует напряжение сопротивления R10. Напряжение на сопротивлении R10 существует лишь в паузах между импульсами сварочного тока, так как оно снимается с катодной нагрузки тиратрона триггерной схемы прерывателя, который открыт в моменты пауз между сварочными импульсами.

Настройка регулятора, осуществляемая переменным сопротивлением R1, заключается в том, что на измерительном конденсаторе C1 всегда устанавливается одна и та же величина напряжения. Это достигается при помощи блока



Фиг. 16. Присоединение регулятора к схеме прерывателей ПИТ-2 и ПИП-2 (обозначения на схеме прерывателя даны в соответствии с фирменными схемами завода «Электрик»).

настройки. Блок настройки состоит из тиратрона Л1 и неоновой лампы Л2, подключенной параллельно к анодной нагрузке (сопротивление R5). Анод тиратрона Л1 питается переменным напряжением от обмотки П трансформатора Тр.

На сетку тиратрона подается постоянное отрицательное (запирающее) напряжение с потенциометра R7.

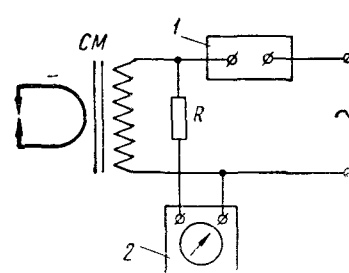
В моменты импульсов сварочного тока на сетку тиратрона Л1 поступает запирающее напряжение с измерительной емкости C1. Запирающее напряжение на потенциометре R7 выбрано с таким расчетом, чтобы тиратрон Л1 отпирался при напряжении на емкости C1, соответствующем настроенному состоянию регулятора. При возбуждении тиратрона неоновая лампа Л2 загорается от падения напряжения на сопротивлении R5 и свидетельствует о том, что регулятор настроен. Регулятор поддерживает неизменным значение сварочного тока с отклонениями от заданного значения, на которое настроен регулятор, в пределах $\pm 15\%$.

Постоянная времени регулятора не превышает 0,04 сек. Способ включения регулятора в схему прерывателя указан на фиг. 16.

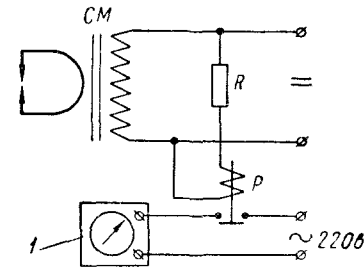
ИЗМЕРЕНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ СВАРОЧНОГО ИМПУЛЬСА

Измерение электросекундомером

Для измерения длительности сварочного импульса на машинах точечной сварки применяется электросекундомер типа ПВ-52 завода «Энергоприбор» с пределом измерений 10 сек. и ценой одного деления 0,01 сек. Электросекундомер рассчитан на включение в сеть переменного тока напряжением 220 в. Для измерения длительности сварочного импульса электросекундомер вклю-



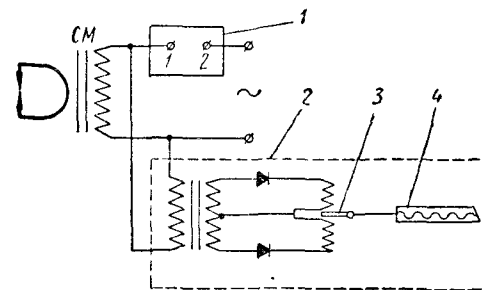
Фиг. 17. Схема измерения электросекундомером длительности сварочного импульса на машине переменного тока: 1 — прерыватель; 2 — электросекундомер.



Фиг. 18. Схема измерения длительности сварочного импульса на низкочастотных машинах типа МТИП: 1 — электросекундомер.

чается параллельно первичной обмотке трансформатора сварочной машины. При питании машины напряжением 380 в электросекундомер подключается через сопротивление R равное 3000 ом (фиг. 17). Измерения на машинах переменного тока должны производиться при работе игнитронного прерывателя на максимальном «нагреве». Не рекомендуется применять электросекундомер ПВ-52 для измерений импульсов продолжительностью менее 0,06—0,08 сек. вследствие недостаточной точности измерений.

При измерении длительности сварочного импульса на низкочастотных машинах типа МПС-600 и МТИП напряжение переменного тока 220 в подается на клеммы электросекундомера через нормально-открытый контакт реле Р, подключенного параллельно первичной обмотке трансформатора сварочной машины (фиг. 18). Подключение обмотки реле Р производится через добавочное сопротивление R величина которого определяется с учетом напряжения на клеммах трансформатора сварочной машины, которое составляет 390—400 в. В данном случае электросекундомер измеряет продолжительность замыкания контактов реле Р, определяемую длительностью сварочного импульса.



Фиг. 19. Схема измерения длительности сварочного импульса посредством вибрографа: 1 — прерыватель; 2 — виброграф; 3 — якорь; 4 — дента.

Измерение вибрографом

Для измерения длительности импульса на сварочных машинах переменного тока применяется виброграф, устройство которого показано на фиг. 19. Между полюсами электромагнитов помещен якорь, который при протекании переменного тока по обмоткам электромагнитов начинает колебаться с той же частотой. Карандаш, за-

крепленный на конце якоря, фиксирует эти колебания на бумажной ленте, приводимой в движение от руки или от мотора. Длительность сварочного импульса определяется по числу периодов кривой. Для того чтобы по обмотке каждого электромагнита протекал ток только одной полярности, последовательно с обмотками включены селеновые выпрямители, собранные по однополупериодной схеме. Первичная обмотка трансформатора вибрографа подключается параллельно первичной обмотке трансформатора сварочной машины СМ. При измерениях длительности паузы у машин роликовой сварки виброграф подключается на зажимы прерывателя тока (точки 1 и 2).

Измерение длительности импульса с помощью магнито-электрического и катодного осциллографов

Длительность импульсов тока может быть определена путем записи кривой сварочного тока на магнито-электрическом осциллографе, например МПО-2. При измерениях длительности импульсов тока несинусоидальной формы (конденсаторные или низкочастотные машины), а также длительности паузы, во время записи на пленку накладывается дополнительная масштабная частота. У осциллографа МПО-2 масштабная частота создается специальным отметчиком времени 500 гц. Зная масштабную частоту и сравнивая с ней продолжительность импульсов тока и паузы, определяют их длительность в секундах. Кроме магнито-электрического осциллографа, измерение длительности импульсов тока и паузы при роликовой сварке можно производить с помощью низкочастотного электронного осциллографа ЭНО-1 с трубкой длительной послеосвещения. Осциллограф ЭНО-1 имеет специальный отметчик времени, т. е. кривая, наблюдаемая на экране осциллографа при включении отметчика, состоит из отдельных точек. Зная продолжительность каждой такой отметки (точки) и подсчитав их число на длине импульсов тока и паузы, определяют действительную их продолжительность.

Фиг. 20. Схема для одновременного измерения импульса и паузы на шовных сварочных машинах: 1 — прерыватель; 2 — катодный осциллограф.

гумом. Для одновременного измерения на катодном осциллографе длительности сварочного импульса и паузы можно использовать схему, приведенную на фиг. 20. Трансформатор, рассчитанный на напряжение 380/36 в, подключается параллельно прерывателю. Напряжение со вторичной обмотки трансформатора поступает на катодный осциллограф. В моменты пауз на клеммах прерывателя действует полное напряжение сети. Соответственно на экране осциллографа моменты пауз отмечаются импульсами с большей амплитудой. В моменты импульсов сварочного тока напряжение на прерывателе определяется падением напряжения на игнитронах и импульсы сварочного тока изобразятся на экране импульсами с меньшей амплитудой. По числу периодов определяют длительность сварочного импульса и паузы. При наблюдении сварочного импульса на катодном осциллографе одновременно просматривается и его кривая.

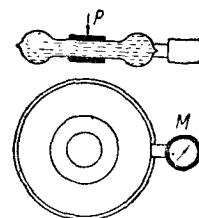
Перечисленные способы измерения времени можно использовать для контроля работы электронных регуляторов времени, установленных на сварочных машинах.

ИЗМЕРЕНИЕ И КОНТРОЛЬ ДАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДОВ

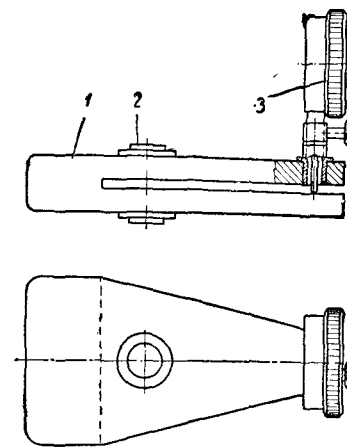
Измерение гидравлическими и пружинными динамометрами

Для измерения давления электродов машин точечной и шовной сварки применяются динамометры различных конструкций; наиболее широко применяются гидравлические динамометры (фиг. 21). Максимальное расчетное да-

вление динамометра определяется его размером и типом манометра М, применяемого для их измерений. Кроме гидравлических динамометров, для измерения давления на электродах применяются пружинные скобы, в которых упругим элементом служит плоская пружина (фиг. 22). Величина давления определяется деформацией пружины и измеряется стрелочным индикатором. По сравнению с гидравлическими динамометрами пружинные скобы обладают большей точностью измерения.



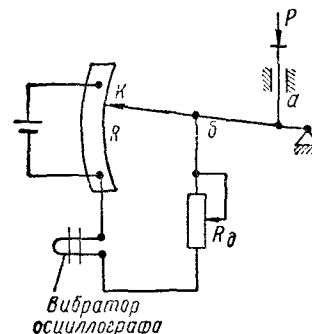
Фиг. 21. Устройство гидравлического динамометра.



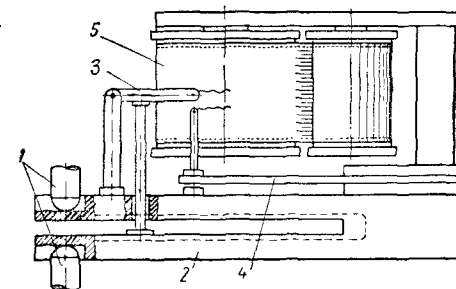
Фиг. 22. Пружинная скоба для измерения давления электродов: 1 — скоба; 2 — вставки; 3 — индикатор.

Регистрация давления электродов

При необходимости записи кривой изменения давления электродов, например на машинах, работающих с переменным циклом давления, применяется несложное устройство, представляющее собой проволочный датчик со скользящим контактом, который измеряет прогиб нижней консоли сварочной машины при сжатии электродов. Этот прогиб при неизменной настройке сварочной



Фиг. 23. Датчик для записи кривой давления электродов на магнито-электрическом осциллографе.



Фиг. 24. Устройство прибора для записи сварочного тока и давления электродов: 1 — электроды; 2 — скоба; 3 — рычаг; 4 — пластинчатая пружина; 5 — бумага.

машины пропорционален давлению электродов; поэтому, фиксируя величину прогиба на магнитоэлектрическом осциллографе, получают в некотором масштабе записи кривой давления электродов.

На фиг. 23 приведена схема датчика давления. Стержень *a* устанавливается под электрододержателем нижней консоли сварочной машины и перемещается при прогибе консоли от давления верхнего электрода. При этом происходит

перемещение рычага *б* и связанного с ним скользящего контакта *К* на проводном сопротивлении. При перемещении скользящего контакта по сопротивлению на вибратор осциллографа подается напряжение, пропорциональное перемещению стержня *а* и следовательно, пропорциональное давлению на электродах. При изменении давления электродов соответственно и пропорционально будет изменяться напряжение, подаваемое на вибратор осциллографа; при этом световой зайчик вибратора начертит на пленке кривую изменения давления электродов.

Для визуального наблюдения кривой давления описанный выше датчик присоединяется к низкочастотному электронному осциллографу ЭНО-1. Для одновременной регистрации кривой сварочного тока и давления может быть применен прибор, совмещающий в себе пружинную скобу и вибратор (фиг. 24). При деформации плоской пружины *2* под действием давления электродов *1* карандаш, укрепленный на рычаге *3*, чертит на бумаге *5* кривую давления электродов. Одновременно с этим сварочный ток, протекающий по пружине (показан пунктиром), создает магнитное поле, отклоняющее пластину *4*. Пластина связана с рычагом, имеющим карандаш, который чертит на бумаге кривую сварочного тока. Бумага приводится в движение моторчиком. Такое несложное устройство позволяет получить одновременную запись кривых сварочного тока и давления электродов.

Кроме указанных выше приборов, для регистрации давления электродов могут быть использованы проводочные датчики сопротивления, применяемые для исследования деформации в деталях машин. В этом случае датчик наклеивается на электрододержатель сварочной машины, а регистрация кривой давления осуществляется стандартной аппаратурой. При этом необходимо принимать меры для устранения наводок магнитного поля сварочного тока на датчик.

ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ СВАРОЧНОГО КОНТУРА

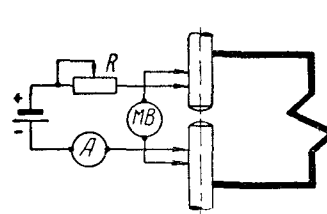
Величина сварочного тока при данной настройке машины зависит от активного сопротивления сварочного контура, которое может изменяться в широких пределах, особенно при наличии подвижных контактов, как это имеет место в машинах для роликовой сварки. Незначительные изменения сопротивления сварочного контура вызывают изменение величины сварочного тока, что может привести к некачественной сварке. Поэтому необходимо систематически измерять активное сопротивление сварочного контура, особенно у машин для сварки легких сплавов.

Измерение методом амперметра-вольтметра и микроомметром М-246

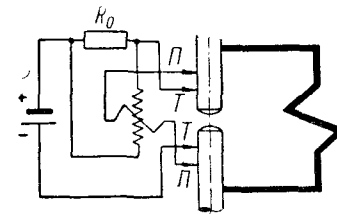
Наибольшее распространение для измерения малых сопротивлений получил метод амперметра-вольтметра, основанный на пропускании через сварочный контур постоянного тока от сварочного генератора или аккумулятора (фиг. 25). Падение напряжения на сварочном контуре машины измеряется милливольтметром. По замеренной величине тока и напряжения, пользуясь формулой закона Ома, определяют сопротивление сварочного контура. Этот громоздкий метод вытесняется в настоящее время применением микроомметров, работающих на принципе логометра, например, микроомметр типа М-246. Последний предназначен для измерения малых сопротивлений в диапазоне от 4 мкОм до 1 Ом. Питание прибора может производиться от сети переменного тока или от аккумуляторов. Принципиальная схема измерения сопротивления сварочного контура микроомметром М-246 представлена на фиг. 26. Использование в качестве измерительного прибора логометра делает показания микроомметра малозависимыми от изменений тока, протекающего по измеряемому сопротивлению, что дает возможность избежать регулировок перед началом или в процессе измерения. Измеряемое сопротивление сварочного контура включается в цепь последовательно с образцовым сопротивлением R_0 . Вращающий момент создается большой рамкой логометра, включенной параллельно измеряемому сопротивлению, — в данном случае параллельно сварочному контуру. Параллельно сопротивле-

нию R_0 включена малая рамка логометра, создающая противодействующий момент. Угол отклонения системы из двух жестко связанных рамок логометра, помещенных в постоянное магнитное поле, пропорционален отношению токов в большой и малой рамках и зависит от величины измеряемого сопротивления.

Способ подключения прибора рассчитан на измерение сопротивления в четырех точках: контакты для присоединения цепи тока отделены от контактов,



Фиг. 25. Схема измерения сопротивления сварочного контура методом амперметра-вольтметра.



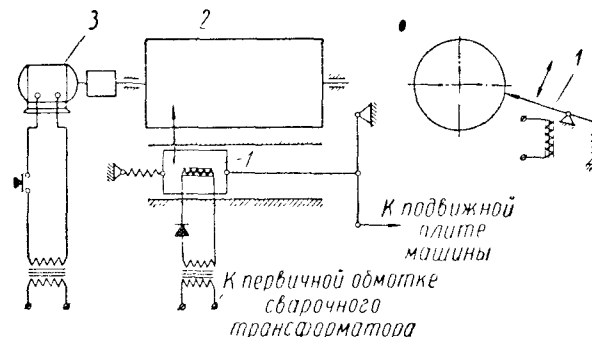
Фиг. 26. Принципиальная схема измерения сопротивления сварочного контура микроомметром типа М-246.

предназначенных для присоединения большой рамки логометра. Такое разделение необходимо для того, чтобы избежать ошибок измерения, вызываемых наличием переходных сопротивлений контактов.

Аналогичные способы применяются для измерения контактного сопротивления при контроле качества подготовки поверхности при сварке легких сплавов.

ПРИБОР ДЛЯ ЗАПИСИ ЦИКЛА РАБОТЫ СТЫКОВЫХ СВАРОЧНЫХ МАШИН

Прибор для записи элементов цикла стыковой сварки (фиг. 27) состоит из вибратора, укрепленного на подвижном основании, в барабана с бумажной лентой. Основание вибратора через систему рычагов связано с подвижным столом стыковой машины. На якоре вибрографа в держателе укреплен карандаш, который пружиной прижимается к барабану с бумажной лентой. При включе-



Фиг. 27. Устройство для регистрации цикла стыковой сварки: 1 — вибратор; 2 — барабан с бумажной лентой; 3 — двигатель.

ния сварочного трансформатора выпрямленный селеновым выпрямителем ток питает катушку вибратора в течение полупериода. В течение другого полупериода возвратная пружина возвращает якорь вибратора в исходное положение. Работа вибратора происходит одновременно с вращением барабана.

ЛИТЕРАТУРА

1. Батоврин А. А., Измерение и запись сварочных токов при контактной сварке, «Автогенное дело» № 12, 1951.
2. Балковец Д. С., Чулошников П. Л., Стабилизация усилия сжатия электродов при точечной сварке, «Сварочное производство» № 9, 1955.
3. Блитштейн А. З., Определение давления на электродах контактной сварочной машины измерением деформации ее плеча, «Автогенное дело» № 11, 1948.
4. Бурьянов Б. П., Магнитоэлектрический осциллограф, Госэнергоиздат, 1952.
5. Гецелев З. Н., Прибор для измерения усилия на электродах точечных машин, «Автогенное дело» № 2, 1953.
6. Глебов Л. В., Измерение вторичного тока при испытаниях машин для контактной сварки, «Автогенное дело» № 12, 1948.
7. Гуллев А. И., Приборы для измерения основных параметров режима контактной сварки, Бюллетень ЦБТИ Минавтопром, вып. 13, 1956.
8. Лихачев И. Р., Приспособление для измерения усилия между электродами точечных и роликовых машин, «Автогенное дело» № 2, 1951.
9. Люблин И. С., Контроль режимов контактной сварки электромагнитным вибрографом, «Автогенное дело» № 5, 1952.
10. Орлов Б. Д., Чулошников П. Л., Стабилизация тока при колебаниях напряжения сети на точечных и роликовых машинах, «Сварочное производство» № 4, 1955.
11. Чулошников П. Л., Обидин В. А., Прибор для записи давления на точечных машинах, «Сварочное производство» № 7, 1955.
12. Балковец Д. С., Амперметр АСТ-1 для измерения сварочного тока при точечной и роликовой сварке, ВИНТИ, 1957.
13. Справочник сварщика, т. 1, Трансжелдориздат, 1947.
14. Чулошников П. Л., Прибор для контроля тока при роликовой сварке, «Сварочное производство» № 10, 1958.
15. Журавлев В. В., Устройство, автоматически прекращающее сварку при протекании импульса тока, «Сварочное производство» № 1, 1958.
16. Зайцев М. П., Аксельрод Ф. А., Устройство для стабилизации тока при контактной сварке, Авторское свидетельство № 117938.
17. Зайцев М. П., Розов И. А., Об использовании эффекта Холла при исследовании процессов контактной сварки, «Вестник электропромышленности» № 5, 1958.

ГЛАВА XII

МОНТАЖ, ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ ОБОРУДОВАНИЯ
И АППАРАТУРЫ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ

МОНТАЖ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ

Требования к помещению для установки машин

В соответствии с «Правилами устройства электротехнических установок» производственные помещения для контактной сварки должны быть непожароопасными.

Контактные машины могут устанавливаться и в других цехах, если там не выполняются пожароопасные операции. При этом предусматриваются следующие дополнительные требования: расстояние от точечных, роликовых, рельсовых и стыковых машин для сварки деталей с площадью сечения менее 50 мм² до места расположения сгораемых конструкций и материалов должно быть не менее 4 м, а от стыковых машин для сварки деталей с площадью сечения свыше 50 мм² — не менее 6 м.

Кроме того, стыковые машины, работающие по методу прерывистого или непрерывного оплавления, должны иметь ограждения, предохраняющие окружающих от разлетающихся брызг расплавленного металла. Проходы между машинами должны быть не менее 0,8 м.

Как правило, контактные машины не требуют отдельных фундаментов и могут устанавливаться непосредственно на полу производственного помещения, если он достаточно монолитен, чтобы не вызывать опасных вибраций при работе машины. В противном случае машины требуют закрепления, для чего в основании станины предусмотрены отверстия. Крупные агрегаты, составляющие поточную линию и требующие взаимного центрирования и выверки, устанавливаются на фундаментах. Мелкие стыковые и точечные машины устанавливаются на верстаках с обязательным креплением болтами. При размещении машин необходимо предусмотреть возможность установки на удобном и доступном месте, отдельно для каждой машины, предохранителя и выключающего устройства (автомата, рубильника, магнитного пускателя и т. д.). Выключающее устройство машины должно обеспечивать полное снятие напряжения при проведении профилактических осмотров, наладок и других операций.

В помещении для установки машин должна быть предусмотрена:

1. Электрическая силовая сеть с соответствующим сечением проводов и, желательно, отдельная осветительная сеть ответвлениями, защищенными предохранителями, и имеющая самостоятельные выключающие устройства у каждой машины.

2. Сеть заземления с ответвлениями к каждой машине.

3. Водотрубопровод и воздухопровод с отдельными ответвлениями и запорными кранами на каждую машину.

4. Сливные трубы или каналы для спуска воды из охлаждающих устройств машин.

Все устройства должны обеспечивать надежное и удобное подключение к ним машин.

Выбор сечения проводов

При включении машин необходимо стремиться к равномерной нагрузке силовой сети. Выбор сечения проводов коротких ответвлений длиной до 25 м производится по допустимому нагреву длительным током, определяемым по уравнению:

$$I_{\text{дл}} = I_{\text{ном}} \sqrt{\text{ПВ.}}$$

Для контактных машин сечение проводов для подключения может быть выбрано по табл. 1.

1. Наибольшие длительно допустимые нагрузки на провода с медной жилой

Сечение провода в мм ²	Наибольший ток в а			Сечение провода в мм ²	Наибольший ток в а		
	Длительная работа	ПВ=20%	ПВ=50%		Длительная работа	ПВ=20%	ПВ=50%
2,5	20	40	20	70	200	445	280
4,0	25	55	25	90	240	530	335
6,0	31	70	31	120	280	620	400
10,0	43	95	60	150	325	720	460
16,0	75	165	105	185	380	845	530
25,0	100	220	149	240	450	1000	630
35,0	125	275	175	300	540	1200	730
50,0	160	350	225	400	640	1400	900

Примечания: 1. Таблица составлена для температуры окружающей среды +30° и перегрева провода +50°.
2. Значения токов даны без учета места прокладки проводов и кабелей. При температуре окружающего воздуха, отличной от 30°, предельные нагрузки изменяются (см. таблицу поправочных коэффициентов).

Поправочные коэффициенты							
Температура воздуха в °С	10	15	20	25	30	35	40
Поправочный коэффициент	1,2	1,15	1,1	1,05	1	0,95	0,9

При прокладке проводов и кабелей в открытых траншеях, трубах и т. п. выбор сечения проводов производится по таблицам, приводимым в электромонтажных справочниках.

Для ответвлений длиной более 25 м сечение проводов определяется по допустимому падению напряжения, потребляемой мощности и потере напряжения или по потребляемой мощности и потере мощности. Для контактных машин допустимое падение напряжения принимается равным 5%. Формулы для расчета сечения проводов приводятся в табл. 2.

При расчете сечения проводов по приведенным формулам за расчетные значения тока и мощности берут номинальные значения по паспортным данным, без учета ПВ.

Независимо от результатов расчета полученное сечение проводов проверяют по допустимому нагреву.

2. Формулы для расчета сечений проводов

Способ расчета	Ток	Нагрузка сосредоточена в конце линий	Несколько нагрузок, сосредоточенных в различных точках линии
По падению напряжения	Одно-фазный	$q = \frac{2 \rho IL \cos \varphi}{\Delta U}$	$q = \frac{2\rho}{\Delta U} (I_1 L_1 \cos \varphi_1 + I_2 L_2 \cos \varphi_2)$
	Трех-фазный	$q = \frac{\sqrt{3} \rho IL \cos \varphi}{\Delta U}$	$q = \frac{\sqrt{3} \rho}{\Delta U} (I_1 L_1 \cos \varphi_1 + I_2 L_2 \cos \varphi_2 + \dots)$
По потребляемой мощности и потере напряжения в %	Одно-фазный	$q = \frac{200 \rho PL}{\Delta U U^2}$	$q = \frac{200 \rho}{\Delta U U^2} (P_1 L_1 + P_2 L_2 + \dots)$
	Трех-фазный	$q = \frac{100 \rho PL}{\Delta U U^2}$	$q = \frac{100 \rho}{\Delta U U^2} (P_1 L_1 + P_2 L_2 + \dots)$
По потребляемой мощности и потере мощности в %	Одно-фазный	$q = \frac{200 \rho PL}{\Delta P U^2 \cos^2 \varphi}$	$q = \frac{200 \rho}{\Delta P U^2 \cos^2 \varphi} (P_1 L_1 + P_2 L_2 + \dots)$
	Трех-фазный	$q = \frac{100 \rho PL}{\Delta P U^2 \cos^2 \varphi}$	$q = \frac{100 \rho}{\Delta P U^2 \cos^2 \varphi} (P_1 L_1 + P_2 L_2 + \dots)$

Условные обозначения: q — сечение провода в мм²; I — ток нагрузки в а; P — мощность приемника в вт; L — длина провода от точки питания до приемника энергии в м; U — напряжение в в; ΔU — падение напряжения в в или в %; ΔP — потеря мощности в % от полной; ρ — удельное сопротивление проводника.

Расчет расхода воды

Расчет расхода воды для охлаждения при контактной сварке производится на основании паспортных данных машины по табл. 3.

Диаметр отводящих труб берется в 3 раза больше, чем у подводящих, или же взамен их в полу цеха делаются бетонированные каналы. Последние более удобны в эксплуатации и не требуют частой очистки.

Расчет расхода сжатого воздуха

Общая потребность сжатого воздуха определяется по паспортным данным всех устанавливаемых машин. Расход свободно-засосанного воздуха определяется путем умножения расхода сжатого воздуха на рабочее давление

$$Q_{\text{св}} = Q_{\text{сж}} P.$$

Коэффициент одновременности ориентировочно принимают равным 0,5 ÷ 0,8. По общему подсчитанному расходу свободно-засосанного воздуха с учетом потери напора на всей длине труб, принимаемой равной $0,1 P_{\text{раб}}$, находят внутренний диаметр воздухопровода.

Данные для определения расхода воздуха контактными машинами приведены в табл. 4 и 5.

8. Расход воды на охлаждение контактных машин

Тип машины	Расход воды в л/час	Диаметр трубопровода в мм	Тип машины	Расход воды в л/час	Диаметр трубопровода в мм
АТП-5	30	13	МТП-600	1500	32
АТП-10	120		МШП-100	800	25
АТП-25			МШП-150	1200	32
АТП-50	300	19	МШПБ-150		
МТП-75	680	25	МСР-100	150	13
МТП-100			МСМ-150	200	
МТП-150	795		МСГА-300	1500	32
МТП-200			МСГА-500		
МТП-300	1200	32	МТПГ-75	660	25
МТП-400			МТПГ-150	800	

4. Расход свободно-засосанного воздуха для контактных машин и диаметры трубопроводов для подключения к воздушной сети

Тип машины	Расход свободно-засосанного воздуха в м³/час	Диаметр трубопровода в мм	Тип машины	Расход свободно-засосанного воздуха в м³/час	Диаметр трубопровода в мм		
МТП-75	22	20	МШП-150	10	20		
МТП-100			МШПБ-150				
МТП-150	33		МСМ-150	3,5			
МТП-200			МСГА-300	20			
МТП 300			МСГА-500				
МТП-400	60	30	МТПГ-75	12			
МТП-600	83		МТПГ-150				
МШП-100	10	20					

5. Зависимость потери напора от расхода воздуха и диаметра трубопровода

Расход воздуха в м³/час	Условный диаметр воздухопровода в мм								
	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	Потеря напора в атмосферах на 100 м труб при давлении в начале сети $P = 5 \text{ а}$								
60	0,15 4,6	0,13	0,027						
120		0,5	0,11	0,034					
180		1,15	0,24	0,07	0,027	0,012			
240		2,1	0,42	0,13	0,049	0,021	0,01		
300		3,2	0,67	0,195	0,077	0,033	0,015		
360		4,7	0,95	0,28	0,11	0,048	0,023	0,013	
420			1,3	0,38	0,15	0,066	0,032	0,017	
480			1,75	0,5	0,20	0,087	0,041	0,022	
540			2,15	0,62	0,24	0,11	0,053	0,028	
600			2,7	0,8	0,31	0,13	0,068	0,034	
660			3,3	0,95	0,38	0,16	0,08	0,041	
720			3,9	0,15	0,42	0,19	0,095	0,05	0,017
900				1,8	0,7	0,3	0,15	0,08	0,037
1200				3,2	1,25	0,51	0,26	0,15	0,08

Примечание. По найденному условному диаметру выбирают ближайший по сортаменту.

Заземление сварочных машин

Промышленные пехи, как правило, имеют сеть для заземления электрооборудования, к которой присоединяются и сварочные машины.

При выборе сечения заземляющих проводов для сварочных машин руководствуются следующими нормами: для открытой прокладки сечение медного провода не менее 4 мм², диаметр стального провода не менее 5 мм; для скрытой прокладки диаметр стального провода не менее 6 мм, сечение стальной полосы не менее 48 мм² при толщине не менее 4 мм.

Проводимость заземляющих проводов должна быть не менее 50% от проводимости фазного провода.

Во всех случаях достаточным является сечение медных проводников 50 мм², стальных — 800 мм².

Осмотр сварочных машин перед пуском в эксплуатацию

После транспортирования или длительного хранения машины должны быть подвергнуты тщательному осмотру и проверке в следующем порядке.

1. Проверка мест болтовых соединений токоведущего контура машины. Не реже одного раза в квартал следует производить измерение омического сопротивления вторичного контура. Измерение производится методом амперметра — вольтметра (током 100—200 а) или микроомметром типа М-246.

Источник постоянного тока подсоединяется к электродам, роликам или медным губкам разомкнутого вторичного контура контактной машины; измерение падения напряжения производится милливольтметром.

При обнаружении увеличения сопротивления вторичного контура более чем на 25%, по сравнению с сопротивлением контура новой машины, должны быть произведены измерения омического сопротивления отдельных контактов и выявлены контакты с резко повышенным сопротивлением.

Указанные контакты следует разобрать и зачистить контактные поверхности.

Данные по замеру сопротивлений вторичного контура некоторых типов новых контактов машин (включая и вторичную обмотку сварочного трансформатора) приведены в табл. 6.

6. Сопротивление вторичного контура контактных машин постоянному току

Тип машины	Сопротивление вторичного контура постоянному току в мком *	Тип машины	Сопротивление вторичного контура постоянному току в мком *
МТП-75	35	МСМ-150	75
МТП-100		МСГА-300	30
МТП-150	33	МСГА-500	
МТП-200		МТПГ-75	510
МТП-300	20	МТПГ-150	700
МТП-400		МТИП-300	50
МТП-600	15	МТИП-450	
МШП-100	30	МТИП-600	45
МШП-150	40	МШПИ-400	50
МШПБ-150	35		

* Включая вторичную обмотку трансформатора.

2. Проверка водяного охлаждения машины. Через систему пропускают воду и ведут наблюдение по всем разветвлениям с целью обнаружения утечек в местах соединений. Расход воды должен соответствовать данным, приведенным в табл. 4.

При работе машины с игнитронным прерывателем перед проверкой водяной системы необходимо сначала установить игнитронные лампы.

3. Установка игнитронных ламп. Вначале проверяют и зачищают контактное кольцо игнитрона, после чего надевают уплотняющие резиновые кольца на цоколи ламп таким образом, чтобы они плотно прижимались к нижним плоскостям контактных буртиков игнитрона. Затем, взявшись правой рукой за анодный ввод, левой рукой направляют цоколь игнитрона в бачок и закрепляют его без перекосов. Категорически запрещается касаться руками окрашенного в красный цвет места соединения стеклянной части с металлическим цоколем. Стекло в этом месте очень тонкое и весьма хрупкое.

4. Проверка наличия масла в бачках зажимных устройств и лубрикатах и заправка. Заправка производится только определенными сортами масла, не разбавляющими уплотнительных резиновых манжет. К таким сортам относятся касторовое масло и турбинное «Л». Масло должно быть тщательно профильтровано и храниться в чистой посуде во избежание попадания в систему пыли, грязи и окалины, вредно действующих на работу манжет и цилиндров.

5. Проверка смазки движущихся частей, имеющих маслоприемные отверстия или тавотницы.

Вращающиеся электроды роликовых машин необходимо направлять посредством шприца графито-касторовой смазкой, приготовленной из 25—30 весовых частей графита и 70—75 весовых частей касторового масла.

Графит, идущий на приготовление смазки, не должен иметь металлических и других включений, могущих повредить вращающиеся контактные части.

6. Проверка состояния изоляции первичной обмотки трансформатора. Сопротивление изоляции должно быть не менее 0,5 мгом.

7. Проверка герметичности пневматической, пневмогидравлической и гидравлической систем проводится одновременно с проверкой работы всей машины в целом.

8. Проверка работы машины в целом проводится следующим образом.

При наличии в схеме управления электронных ламп их устанавливают в свои гнезда. Во время установки необходимо помнить, что лампа может быть поставлена только при одном определенном взаимном положении гнезда и ножки. Вставляя и вынимая лампы, необходимо брать только за цоколь. Категорически запрещается брать за стеклянный баллон и вставлять лампы с наклоном, не во все отверстия гнезд сразу.

Вынимают втычные ножи переключателя ступеней трансформатора или выключают пакетный выключатель «сварка» при барабанном переключателе ступеней.

Открывают краны водяного охлаждения и подают воздух для машин с пневматическим или пневмогидравлическим приводом.

Включением рубильника или контактора подают напряжение на машину.

В современных машинах, укомплектованных отдельным шкафом питания, наличие воды в системе водяного охлаждения указывается лампой зеленого цвета. Если лампа не загорается, при снятом напряжении проверяют исправность водяного контакта. При исправности водяного контакта необходимо проверить цепь включения лампочек.

Перед проверкой точечных и шовных контактных машин на сварку необходимо убедиться в исправности механизма давления, для чего устанавливают необходимую величину рабочего хода верхнего электрода.

Для машин с пневматическим приводом типа МТП (завода «Электрик») установка рабочего хода верхнего электрода осуществляется с помощью двух рукояток с гайками, расположенными над верхней частью рабочего цилиндра. После установки электрода, с помощью гидроиндикатора или посредством отпечатка стального шарика проверяют рабочее давление между электродами. Для этого редуктором (в пневматических или пневмогидравлических машинах) или регулировкой пружины (в машинах с механическим приводом) устанавливают нужное давление и сверяют полученные результаты с паспортными данными. Если после установки давления по манометру и опускания головки с верхними электродами показания манометра изменяются и подъем электрода затруднен, это указывает на неисправность цепи давления и наличие утечек, которые необходимо устранить. При определении давления по гидроиндикатору с манометром пользуются его градуировочной кривой, а при определении давления по отпечатку стального шарика — тарировкой на прессе Бринеля.

У машин типа МШП рабочий ход электродов устанавливают в пределах 15—20 мм. Однако надо помнить, что полный ход верхнего электрода равен 50 мм; поэтому при износе роликов более чем на 30—35 мм на сторону может наступить момент зависания верхнего электрода и отсутствия давления между ними.

В машинах с пружинным приводом давления исправность привода проверяют при отключенной (от сети) машине.

Рабочий ход электродов, равный 15 мм, устанавливают перемещением верхней либо нижней консоли.

При проверке исправности состояния контактов, включающих первичную обмотку сварочного трансформатора, в машинах с пружинным приводом необходимо настроить выключатель таким образом, чтобы сначала замыкались электроды и создавалось давление между ними, а затем контактами включалась сварочная цепь трансформатора.

Стыковые и роликовые машины, имеющие электродвигатели для привода подвижной плиты и электродов, должны проверяться на правильность включения и на регулирование скорости. Проверка регулирования скорости на машинах типа МШП и МСМ проводится обязательно при вращении электродвигателя.

Проверку линейной скорости роликов рекомендуется осуществлять пропуском мерной полосы и замером времени ее прохождения.

9. Регулирование дросселирующих клапанов (для безударной работы верхнего электрода или опускания зажимных устройств стыковых машин) производят при помощи регулировочного винта: при повороте винта по часовой стрелке ход верхнего электрода или зажимного устройства замедляется.

10. Подготовленность машины к сварке проверяют в следующем порядке.

Убедившись в исправности работы схемы машины, устанавливают соответствующую ступень регулирования на ее переключателе и подбирают другие параметры — время сварки, скорость, давление и т. п.; затем проводят сварку на образцах с последующей проверкой их на механическую прочность.

Учитывая высокое напряжение, подводимое к машине (380, 220 в), необходимо при эксплуатации машины соблюдать правила техники безопасности.

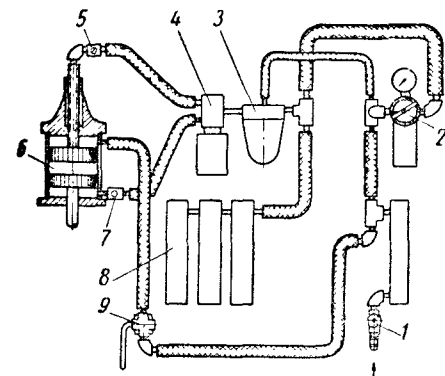
После проверки машины и каждый раз после окончания работы необходимо: 1) выключить пакетник цепи управления и пакетник «сварки»; 2) снять напряжение и перекрыть воздушную магистраль, открыть сливные краники у ресиверов машины; 3) спустя 5—10 мин. перекрыть водяное охлаждение.

Если машина останавливается на длительное время, необходимо смазать все узлы, подверженные коррозии.

РЕМОНТ И УСТРАНЕНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ

Неисправности в пневматической схеме

На фиг. 1 представлена типовая пневматическая схема контактных машин типа МТП, выпускаемых заводом «Электрик». Неполадки в работе могут произойти из-за неисправности отдельных элементов, входящих в схему (двухходового электропневматического клапана ЭПК-6; лубрикатора; редуктора с манометром; дросселирующего клапана; цилиндра со штоками и манжетами).



Фиг. 1. Типовая пневматическая схема контактных машин типа МТП, выпускаемых заводом «Электрик»: 1 — подача воздуха из сети; 2 — воздушный редуктор; 3 — лубрикатор; 4 — двухходовой электропневматический клапан ЭПК-6; 5 — дросселирующий клапан; 6 — пневматический цилиндр; 8 — ресивер; 9 — трехходовой кран.

Неисправности двухходового электропневматического клапана ЭПК-6 выражаются в заедании золотника, утечке воздуха через золотник, гудении магнита, повышенном нагреве обмотки.

При неисправностях клапана наблюдается неполное давление на электродах машины, замедленное движение головки или невозврат ее в исходное положение.

Заедание золотника происходит из-за попадания пыли и грязи в его рабочую полость.

Заедание клапана обнаруживается наблюдением за его работой. При обнаружении неисправности следует отвернуть четыре винта на верхней крышке клапана, вы-

нуть золотник, протереть отверстие чистой тряпкой, мелкой шкуркой устранить задиры на штоке. Затем смазать маслом, собрать клапан и проверить ход золотника рукой. Утечка воздуха из-под золотника может происходить при неполном перекрытии или при разработке клапана. Устранение утечки воздуха производится соответствующей наладкой перекрытия или притиркой шовного золотника.

Гудение и повышенный нагрев клапана могут наблюдаться при очень сильной возвратной пружине, когда сердечник электромагнита не может полностью притянуться к ядру.

Воздушная магистраль укомплектовывается надежным водоотделителем. В противном случае на золотниковый клапан будет подаваться воздух, содержащий значительное количество влаги, которая выводит из строя катушку ЭПК-6.

Лубрикатор должен быть отрегулирован верхним иглообразным клапаном таким образом, чтобы на 10—15 ходов золотника поступала 1—2 капли масла. К числу основных неисправностей лубрикатора относится утечка воздуха и отсутствие подачи масла. Утечка воздуха ликвидируется сменой прокладок. Подача масла регулируется соответствующим открытием иглообразного клапана или устранением утечки воздуха из верхней полости лубрикатора в нижнюю. Особенно надо следить за наличием масла в лубрикаторе. При отсутствии масла нарушается смазка движущихся частей машины, что влечет за собой быстрый выход из строя манжет рабочего цилиндра и золотника, а в некоторых случаях повышение рабочего давления до сетевого.

Неисправный редуктор с манометром не регулирует давление, допускает утечку воздуха из камеры высокого давления в камеру низкого давления. Причиной может явиться поломка пружин или срезание резиновых прокладок. Неисправность устраняется заменой дефектных деталей новыми.

Цилиндр со штоками и манжетами. По мере износа частей (вследствие попадания в цилиндр грязи, металлической пыли и т. п.) наблюдается утечка воздуха из одной полости цилиндра в другую или в атмосферу. Утечки могут вызвать непостоянство давления на электродах или невозврат головки в исходное положение. Чтобы обнаружить утечку воздуха из одной камеры в другую, в одну из камер подают воздух, а с выходного отверстия другой снимают шланг воздухопровода. В случае утечки будет замечен выход воздуха из выходного отверстия.

Для устранения дефекта необходимо разобрать цилиндр рабочего давления и заменить неисправные манжеты. Перед сборкой цилиндра в рабочую камеру необходимо залить около 100 г масла.

Во время сборки необходимо обращать внимание на то, чтобы манжеты штока не ложились на основание цилиндра во избежание быстрого выхода их из строя.

Иногда наблюдается очень медленное опускание или подъем головки давления вследствие большой жесткости пружины дросселирующего клапана, заклинивания в нем шарика или вследствие перекоса ползуна в направляющих при работе с вылетом более 500 мм. Скорость перемещения головки следует отрегулировать дросселирующим клапаном.

В заключение нужно отметить, что прежде чем приступить к разборке пневматической системы для устранения отдельных ее дефектов, необходимо убедиться в правильности и надежности работы электрической схемы.

Неисправности в пневмогидравлической схеме

В пневмогидравлических устройствах из-за попадания грязи и других включений в масляную систему могут иметь место задиры штоков пневмогидравлических цилиндров, вызывающие заедание штоков. Задиры легко обнаруживаются при разборке цилиндров.

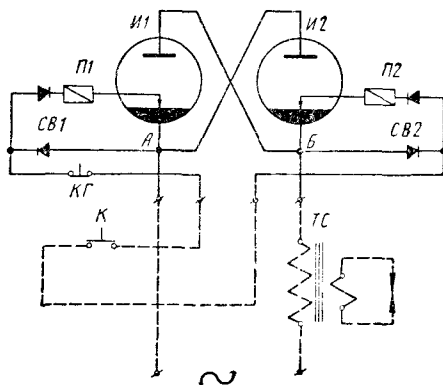
Нарушение давления в пневмогидравлических устройствах может происходить вследствие попадания воздуха в масляную полость или выхода из строя масляных манжет.

Неисправности в электрической схеме

1. Не поджигается один или оба игнитрона-прерывателя. Причиной может быть несрабатывание гидрокнопки КГ, выход из строя селенового выпрямителя СВ1 и СВ2, предохранителя П1, П2 или игнитронов И1 и И2. Последовательной проверкой схемы (фиг. 2) находят причины и устраняют их.

2. В процессе работы контакты реле регулятора времени РВЭ-7-1 изнашиваются, а лампы теряют электронную эмиссию; это иногда является причиной неисправности в работе всей машины. Однако прежде чем приступить к проверке работы реле, необходимо убедиться в исправности работы всех остальных узлов схемы: игнитронного контактора, электропневматического клапана ЭПК-6, педальной кнопки, соединительных проводов, подачи питания на регулятор и т. п.

Если все эти элементы исправны, следует проверить исправность подвижных контактов реле, а затем сменить лампы.



Фиг. 2. Принципиальная схема игнитронного контактора.

При установлении причины нарушения работы реле (фиг. 3) необходимо ясно представить последовательность цикла срабатывания реле, подающего команду на включение определенного механизма или элемента схемы.

В числе общих и наиболее вероятных причин неисправностей в каждой цепи схемы могут быть следующие:

1) одно из реле цепей выдержки времени Р1, Р2, Р3, Р4 не возбуждается. Следует проверить пайку проводов соответствующей цепи и отсутствие обрыва в сеточном сопротивлении. При обнаружении обрыва — последний устранить; сменить лампу соответствующей цепи: проверить и зачистить контакты реле предыдущей цепи. Если не срабатывает реле Р2, следует просмотреть нормально открытые контакты реле Р1 и проверить, нет ли обрыва в обмотке реле Р1, Р2, Р3, Р4;

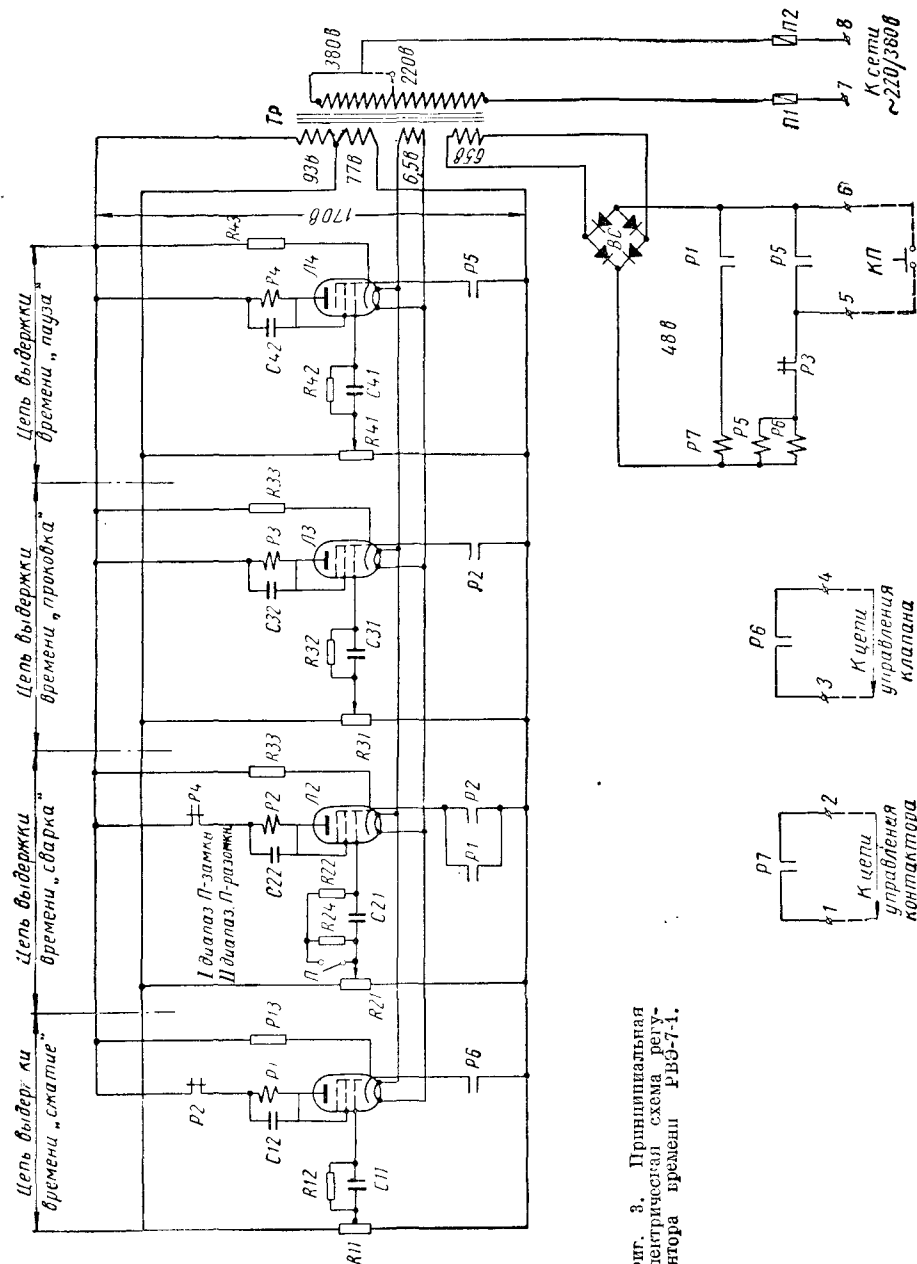
2) потенциометр не регулирует выдержку времени. Необходимо проверить цепь срабатывания неисправного потенциометра и при обнаружении обрыва или плохого контакта исправить повреждение: проверить, нет ли обрыва в зарядном или разрядном сопротивлении этой цепи; при обнаружении обрыва — исправить повреждение, а также проверить исправность сеточного конденсатора этой цепи.

Неисправности в синхронных прерывателях типа ПИШ и ПИТ

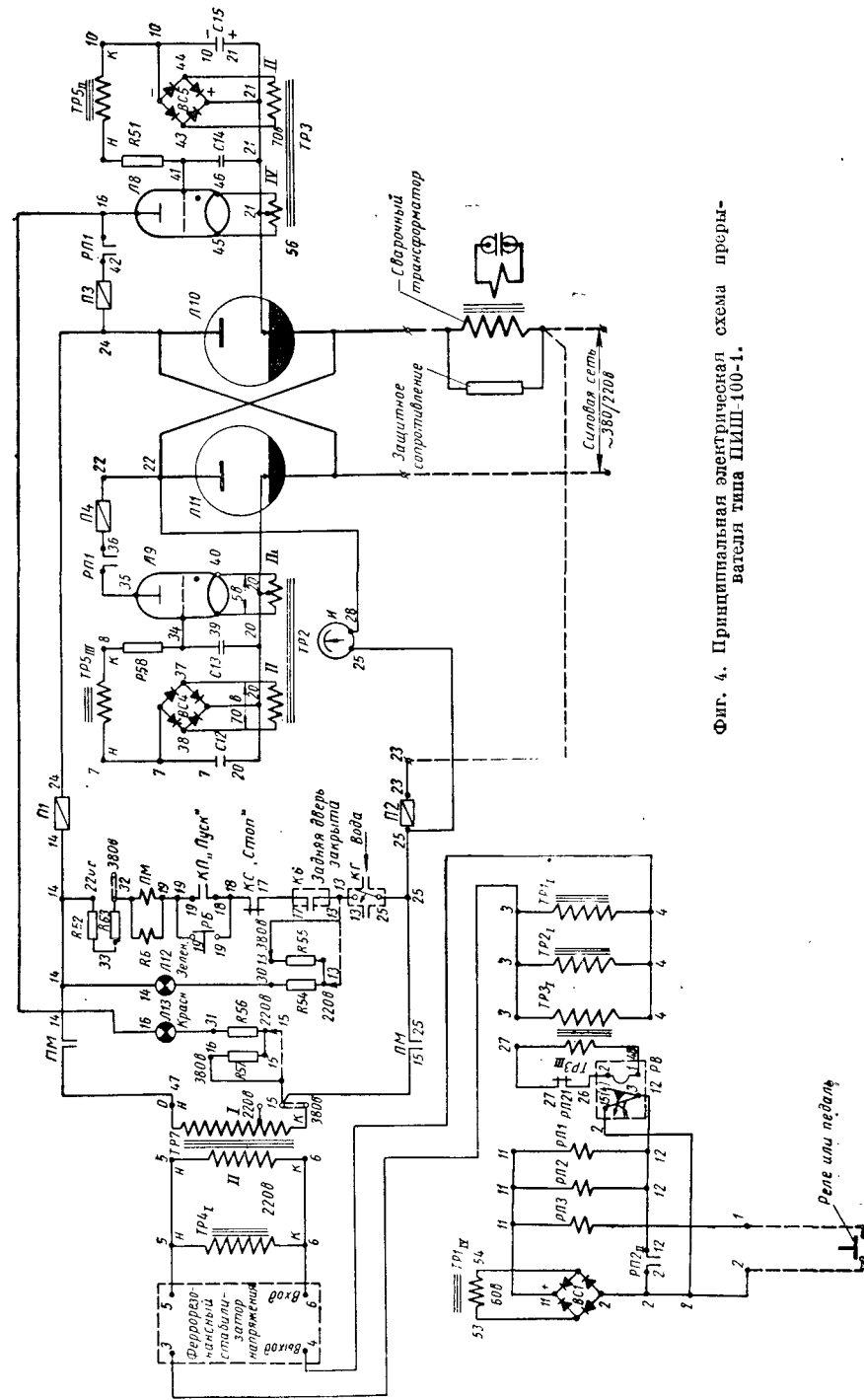
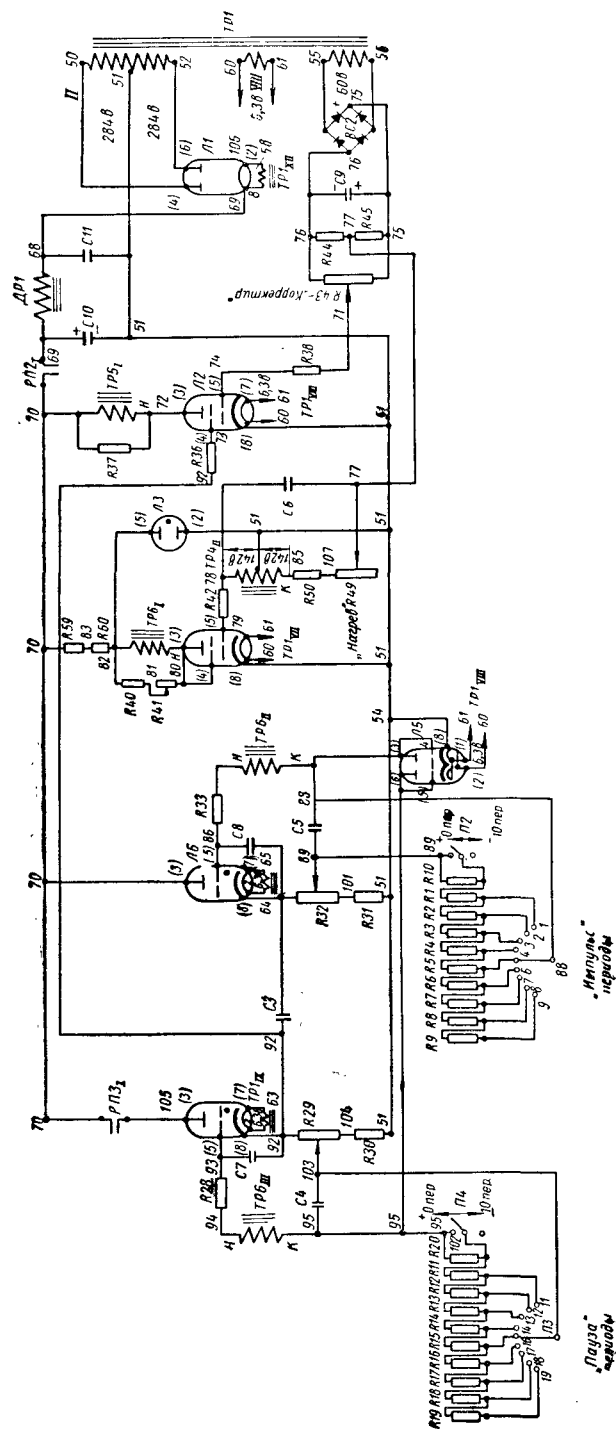
Прерыватели типа ПИШ и ПИТ служат для синхронного размыкания первичного тока у точечных и роликовых машин. По принципу действия они не отличаются существенно один от другого.

Схема синхронного прерывателя ПИШ-100 представлена на фиг. 4.

Наиболее часто встречающиеся неисправности в работе прерывателя и рекомендации по их устранению приведены в табл. 7.



Фиг. 3. Принципиальная электрическая схема регулятора времени РВЭ-7-1.



Фиг. 4. Принципиальная электрическая схема прерывателя типа ПИП-100-1.

7. Неисправности синхронных прерывателей типа ППП и ППТ (фиг. 4)

Признаки неисправностей	Возможные причины	Рекомендуемые способы обнаружения и устранения
При подаче питания на прерыватель не горит зеленая лампа	Недостаточное количество охлаждающей воды. Неисправны предохранители П1 и П2	Проверить подачу воды в прерыватель; проверить исправность гидрокнопки КГ; проверить и заменить предохранители П1 и П2
При нажатии кнопки «Пуск» прерыватель не включается	Не закрыта задняя дверь прерывателя Плохой контакт кнопки «Стоп». Обрыв катушек пускателей ПМ или РВ	Закрыть заднюю дверь. С помощью омметра проверить кнопку «Стоп» и целостность катушек пускателей ПМ и РВ
Обгорают контакты магнитного пускателя	Загрязнение; уменьшение натяга контактов	Зачистить контакты мелкой шкуркой; увеличить натяг
После выдержки времени более 5 мин. не зажигается красная лампа	Неисправно термореле времени РВ. Плохой контакт реле РП2. Обрыв катушки реле РП2. Отсутствие напряжения на выпрямителе ВС1	Замкнуть контакты (3) и (5) термореле РВ, если при этом реле РП2 срабатывает, то неисправно термореле РВ. Выключить питание прерывателя и проверить целостность нагревателя реле РВ. Зачистить контакты реле РП2. Проверить вольтметром напряжение на выпрямителе ВС1
При нажатии педали сварочной машины прерыватель не срабатывает	Не срабатывает реле РП3. Обрыв цепи от педали к контактам 1, 2 прерывателя. Обрыв катушки реле РП3	Замкнуть контакты 1 и 2 непосредственно в прерывателе; если и при этом реле РП3 не срабатывает, проверить целостность катушки реле омметром
Реле РП3 срабатывает, но прерыватель не работает	Отсутствие замыкания контактов реле РП3 _I в цепи анода лампы Л7 (для прерывателя ППП). Нестабильное замыкание и размыкание контактов РП3 _I и РП3 _{II} (для прерывателей ППТ)	Исправить и зачистить контакты реле РП3. Нормально замкнутый контакт должен размыкаться раньше замыкания нормально отключенного контакта
Реле РП3 срабатывает, тиратроны Л7 и Л6 возбуждаются, но не возбуждаются тиратроны Л8, Л9 и игнитроны Л10, Л11	Неисправны предохранители ЗП и ЗП. Нет отпирающих импульсов на обмотках ТР5 _{II} и ТР5 _{III}	Заменить предохранители. Наличие отпирающих импульсов проверить подключением обмоток ТР5 _{II} и ТР5 _{III} к катодному осциллографу. Проверить лампу Л2 и в случае потери эмиссии заменить новой. Проверить целостность сопротивления R36 в цепи экранной сетки лампы Л2
Возбуждается только один игнитрон	Неисправен предохранитель в цепи поджигания или зажигатель другого игнитрона.	Заменить предохранитель. Проверить цепь зажигателя — катод игнитрона омметром. Заменить игнитрон. Проверить

Продолжение табл. 7

Признаки неисправностей	Возможные причины	Рекомендуемые способы обнаружения и устранения
Не удается сбалансировать работу игнитронов	Обрыв сопротивления «нагрев» R49. Обрыв сопротивления «корректор» R43 Отсутствие напряжения на выпрямителе ВС2. Обрыв сопротивления R44 или R45 Обрыв в первичной цепи сварочной машины; вторичный контур сварочной машины разомкнут Неустойчивая работа тиратронов Л6 и Л7	Проверить сопротивление R49 омметром. Проверить сопротивление R43 омметром Измерить вольтметром напряжения выпрямителя ВС2 и проверить омметром сопротивления R44 и R45 Проверить первичную обмотку сварочного трансформатора омметром. Измерить сопротивление вторичного контура микрометром Проверить стабильность Л3 измерением напряжения при работе тиратронов Л6 и Л7. Напряжение должно быть постоянным; в случае колебания напряжения заменить лампу Л3 Проверить подключением обмоток ТР6 _{II} и ТР6 _{III} к катодному осциллографу; заменить лампу Л4
Прерыватель ППТ сдвигает сварочные импульсы	Отсутствуют или недостаточны синхронизирующие импульсы в обмотках трансформатора ТР6 вследствие потери эмиссии лампы Л4 Неисправен феррорезонансный стабилизатор напряжения Нарушена нормальная работа контакта РП3 _I и РП3 _{II}	Проверить стабильность напряжения на клеммах 3 и 4 стабилизатора при изменении напряжения питающей сети +10—25% от номинала В случае отклонения напряжения сверх +2%, проверить конденсаторы стабилизатора и зазор в компенсирующем дросселе Исправить и отрегулировать контакты
Внутри тиратронов Л8 или Л9 при работе прерывателя проскакивают искры	Нарушены соединения внешней цепи конденсаторов С13 и С14	Проверить целостность пепей конденсаторов С13 и С14
Не регулируется величина паузы	Неисправен тиратрон Л6	Сменить тиратрон Л6
Прерыватель работает нестабильно при импульсе тока в 1 период	Изменилась величина конденсатора С3 Изменилась емкость конденсатора С1	Заменить новым Проверить и заменить новым

Продолжение табл. 7

Признаки неисправностей	Возможные причины	Рекомендуемые способы обнаружения и устранения
Частые пропуски зажигания Произвольное зажигание одного из тиратронов Л8 или Л9 при включении сетевого напряжения Изменились величины «импульса» против паспортных данных При включении питания прерывателя раскаляются аноды кенотрона Л2	Снижение или отсутствие запирающего напряжения. Обрыв в цепи сетки тиратронов Л8, Л9 Изменились величины разрядных сопротивлений R9, R10, R19, R29 Пробит конденсатор фильтра С11	Проверить наличие запирающего напряжения на сетке Л8 и Л9. Проверить селеновый выпрямитель ВС4 и ВС5 и конденсаторы С12, С15 Проверить величины сопротивлений омметром и заменить новыми Отсоединить конденсатор и проверить на пробой омметром

Примечания: 1. Все измерения в цепях прерывателей следует производить высокоомным универсальным прибором типа ТТ-1 или вольтметром постоянного тока с сопротивлением не менее 1000 ом на вольт.
2. Паспортные характеристики элементов схем прерывателей ПИТ и ПИШ и регулятора времени РВЭ-7-1А даны в каталогах завода «Электрик».
3. Для проверки электрических цепей прерывателей применять катодные осциллографы ЭО-4, ЭО-7 и т. п.

Неисправности машин для сварки легких сплавов типа МТИП и МШПИ

8. Неисправности машин типа МТИП

Признаки неисправностей	Возможные причины	Рекомендуемые способы обнаружения и устранения
Не поджигается игнитрон	Неисправен один из поджигателей игнитрона	Заменить поджигатель
Пропуски в зажигании игнитронов	Большое падение напряжения в сети при включении выпрямителя	Замерить напряжение питающей сети в момент сварки. Сократить длину подводящих проводов, увеличив сечение
Не срабатывает переключатель полярности	Плохой игнитрон Заедает двухходовой электромагнитный клапан	Заменить Разобрать клапан и устранить заедание
Верхний электрод не успевает подниматься	Не срабатывает поляризованное реле Низкое давление воздуха в сети Слишком высок темп работы (мало время паузы)	Проверить работу и цепи в обоих поляризованных реле Отрегулировать давление Снизить темп работы (увеличить время паузы)

Продолжение табл. 8

Признаки неисправностей	Возможные причины	Рекомендуемые способы обнаружения и устранения
Чрезмерно велико давление между электродами при сварке (не соответствует показанию манометра «сварочное давление») Искрение между электродами при подъеме верхнего электрода	Средний поршень цилиндра привода «садится» на диск диафрагмы Рано осуществляется подъем электрода Не срабатывает короткозамыкающий контактор или велико переходное сопротивление его замыкающего контакта	Правильно установить по высоте нижнюю свечу Увеличить выдержку времени «длительность проковки» Проверить цепь управления короткозамыкающим контактором

9. Неисправности машин типа МШПИ

Признаки неисправностей	Возможные причины	Рекомендуемые способы обнаружения и устранения
Силовой выпрямитель шкафа СПУШ-400 включается через шаг сварки Трансформатор намагничивается и выключает автомат	При монтаже перепутаны силовые концы от шкафа к машине (1 и 2) Поляризованное реле Р1 (СПУШ-400) не перебрасывает якорь во время импульса Нет цепи для поляризованного реле Р1 (в СПУШ-400) Неисправны игнитроны в ШУ-28	Переключить концы силового кабеля Проверить наличие напряжения на обмотке поляризованного реле во время импульса. Если напряжение имеется, то переключить концы 1 и 2 Для проверки подвести к каждому игнитрону в отдельности напряжение 380 в через сопротивление 1—3 (на 100—200 а) через тонкий предохранитель. Если игнитрон загорится без поджигателя (предохранитель сгорит), необходимо провести тренировку его согласно инструкции в паспорте игнитрона Сменить соответствующий игнитрон
При работе со шкафом ШУ-28 во время прохождения импульса загораются два игнитрона И1 и И3 или И2 и И4 одновременно; при этом отключается автомат	При работе со шкафом ШУ-28 имеют место пропуски импульсов, но реле Р1 (СПУШ) работает нормально	Плохо поджигается один из игнитронов шкафа ШУ-28

Продолжение табл. 9

Признаки неисправностей	Возможные причины	Рекомендуемые способы обнаружения и устранения
Искрение под щетками одного из дисков, стоящих в цепях поджигателей игнитронов ШУ-28	Большой ток поджигания игнитрона	Заменить игнитрон
Не поджигается один из игнитронов И4—И6 в СПУШ-400	Нет цепи поджигателя	Проверить цепь поджигания (предохранитель)
Не вспыхивает тиратрон	Неисправен игнитрон	Сменить поджигатель, если не поможет — поменять игнитрон
Соответствующий тиратрон вспыхивает очень ярко или при обрыве поджигателя не поджигается	Неисправен тиратрон	Сменить тиратрон (для проверки следует его предварительно поменять местами с соседним)
Не поджигается один из игнитронов И1—И3	Неисправен тиратрон. На сетку тиратрона подаются не все отпирающие пики (тиратрон Л18)	Проверить осциллографом наличие пиков или поменять местами игнитроны. Если не вспыхивает и второй игнитрон, по схеме СПУШ-400 поменять лампы Л4—Л6
Шкаф СПУШ-400 не выдает импульсов	а) Нет отпирающих пиков на сетке тиратрона Л18 б) Тиратрон Л9 загорается и поляризованное реле Р3 исправно в) Тиратрон Л9 загорается, а поляризованное реле Р3 не работает Не создается цепь 54—16 Неисправна лампа Л10 или Л9 Нет пиков на обмотке трансформатора ТР9II	а) Осциллографом проверить наличие пиков б) Сменить лампу Л6, проверить наличие пиков на ее сетке; если их нет, то осциллографом найти элемент схемы, где пики пропадают в) Проверить, сработало ли реле Р3 на машине, проверить контакт коммутатора Сменить лампу Л10 или Л9 Осциллографом проверить наличие пиков на трансформаторе ТР9II, если нет, то по схеме СПУШ найти элемент схемы, где они пропадают
При первом импульсе шкафа (СПУШ-400) выключается и загорается белая лампочка «Скорость велика»	Велика длительность импульса для данной скорости сварки Поляризованное реле Р2 не удерживается обмоткой 76—17	Уменьшить скорость сварки рукояткой автотрансформатора на машине Выключить тумблер сварки на машине и проверить, появляется ли на обмотке поляризованного реле Р2 напряжение при работе коммутатора
Время импульса не регулируется	Неисправен тиратрон Л8	Заменить тиратрон Л8

Продолжение табл. 9

Признаки неисправностей	Возможные причины	Рекомендуемые способы обнаружения и устранения
Импульс получается большой длительности Коммутатор сильно искрит	Нет пиков на обмотке трансформатора ТР9II Нет контакта в наборе сопротивлений R55—R63	Проверить осциллографом Проверить омметром сопротивления в точках 64—66

Организация ремонта контактных машин

Для нормальной эксплуатации контактных машин требуется проведение текущего, среднего и капитального ремонтов.

Основное внимание следует уделять текущему ремонту, особенно ремонту машин со сложной схемой.

К текущему ремонту относятся: замена изношенных электродов, роликов, губок стыковых машин; замена пистолетов на многоточечных машинах, а также вышедших из строя манжет, электромагнитных катушек, пружин, прокладок, дросселирующих и редуцирующих клапанов, игнитронов, контактных групп, реле и т. п.; исправление заедания штоков ЭПК-6; продувка водяной системы воздухом; смена воздушного, водяного и других шлангов; исправления в электрических цепях управления машины; чистка контактов.

Текущий ремонт производится по мере надобности (при остановленной машине и отключенном напряжении) самим сварщиком с помощью дежурного монтера, а в случае необходимости и слесаря.

В зависимости от характера неисправностей длительность текущего ремонта может продолжаться от 20 мин. до 3—4 час.

При двухсменной загрузке оборудования наиболее трудоемкий текущий ремонт (разборку цилиндров с заменой манжет, зачистку контактов с заменой контактных групп) целесообразно производить в третьей, свободной от работы смене, с тем чтобы утренняя смена могла работать на исправном оборудовании.

На проведение среднего и капитального ремонта сварочных машин составляется график. При составлении графика ремонта необходимо учитывать производственную программу предприятия, загрузку отдельных видов оборудования и его техническое состояние.

К среднему ремонту относятся: замена или ремонт быстрознашивающихся частей; очистка и ремонт воздушной системы; устранение задиров и других механических дефектов, возникающих при работе машины; зачистка и замена обгоревших токоведущих частей вторичного контура.

К капитальному ремонту относятся: разборка машины с полной заменой быстро изнашивающихся частей; переборка и ремонт сварочного трансформатора; замена изношенных направляющих; проверка и регулирование всех механизмов.

При наличии необходимого количества запасных частей средний и капитальный ремонт контактных машин можно провести в значительно более сжатые сроки, чем ремонт металлорежущего оборудования.

Сроки службы деталей машин контактной сварки при правильной эксплуатации и двухсменной работе следующие:

Манжеты поршневые	Электронные и ионные
воздушные	лампы
Манжеты уплотнитель-	Игнитроны
ные	
Манжеты поршневые гидравлические	Клапан ЭПК-6
	Реле сильноточное

15—18 мес. 600 час.
1000
9—12 мес. 2 000 000
включенный
6—9 мес. 12 мес.

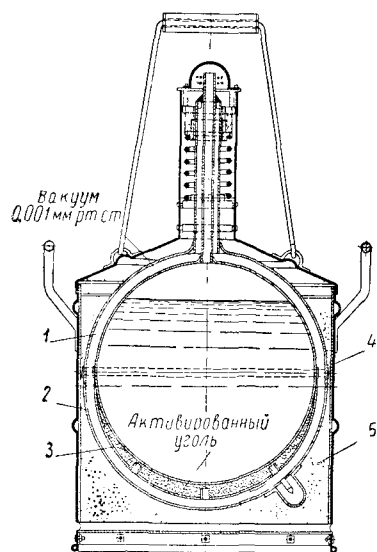
ГЛАВА XIII

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ГАЗОПЛАМЕННОЙ СВАРКИ И РЕЗКИ

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ГАЗОВОЙ СВАРКИ И РЕЗКИ

Оборудование для транспортирования, хранения и газификации жидкого кислорода

Для перевозки и хранения жидкого кислорода в небольших количествах применяются специальные переносные сосуды с тепловой изоляцией (сосуды Дьюара, фиг. 1). Сосуд состоит из двух полых медных шаров, помещенных один внутри другого. В междустенном пространстве создается разрежение около 0,001 мм рт. ст., обеспечивающее тепловую изоляцию внутреннего сосуда.

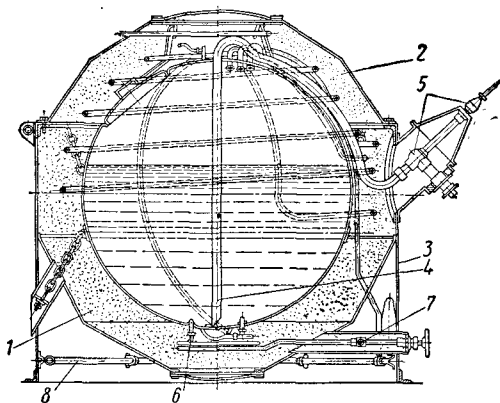


Фиг. 1. Сосуд с тепловой изоляцией (сосуд Дьюара): 1 и 2 — медные шары; 3 — камера; 4 — кожух; 5 — изоляция.

Давление паров в танках 0,4—0,6 атм. Часовая потеря кислорода на испарение 0,3—0,35%.

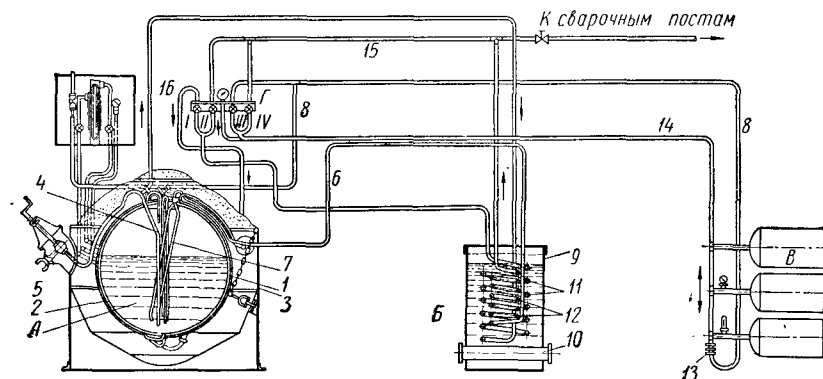
Для хранения жидкого кислорода применяются стационарные танки СТ-1000 с номинальной емкостью 1000 м³ газообразного или 1200 л жидкого кислорода. Порожний танк весит 1200 кг, наполненный 2560 кг. Диаметр основания кожуха 1850 мм, общая высота 2210 мм.

Перевозка жидкого кислорода в больших количествах производится на автомашинах в транспортных танках (фиг. 2), а по железным дорогам — в специальных цистернах, конструктивно сходных с танками.



Фиг. 2. Транспортный танк: 1 — латунный шар; 2 — кожух; 3 — опорный цилиндр; 4 — наполнительная труба; 5, 7 — вентили; 6 — змеевик; 8 — испаритель.

Газификаторные установки. Превращение жидкого кислорода в газообразный производится в газификаторных установках низкого и высокого давления. Установки низкого давления или «холодные» газификаторы, рассчитанные на максимальное давление кислорода до 15 атм, изготавливаются передвижными или стационарными. Стационарные (фиг. 3) наиболее применимы для заводов с постоянными местами потребления кислорода. Нормальная емкость газификатора



Фиг. 3. Холодный газификатор: А — сосуд газификатора; Б — подогреватель; В — реципиент; Г — щит управления; 1 — латунный шар; 2 — стальной шар; 3 — кожух; 4 — наполнительная труба; 5 — вентиль; 6 — труба к подогревателю; 7 — испаритель; 8 — труба к реципиенту; 9 — кожух подогревателя; 10 — электронагреватель; 11 и 12 — змеевики; 13 — обратный клапан; 14 — труба к щиту управления; 15 — труба к сварочным постам; 16 — обратная труба; 1, 11, 111 и 1V — вентили управления.

ХГ 800—1000 л жидкого кислорода. При максимальном рабочем давлении 15 атм производительность газификатора достигает 100 м³/час газообразного кислорода.

Газификаторные установки высокого давления («теплые» газификаторы) предназначены для наполнения баллонов газообразным кислородом под давлением до 150—165 атм. Однако в связи с большими потерями кислорода такие газификаторы применяются редко.

Ацетиленовые генераторы

В соответствии с ГОСТом 5190-57 ацетиленовые генераторы разделяются по предельному давлению вырабатываемого ацетилена на три группы — генераторы низкого, среднего и высокого давления с предельным давлением ацетилена соответственно: до 0,1; свыше 0,1 до 1,5 и свыше 1,5 атм.

По способу взаимодействия карбида кальция с водой и регулирования выработки ацетилена генераторы также разделяются на три группы.

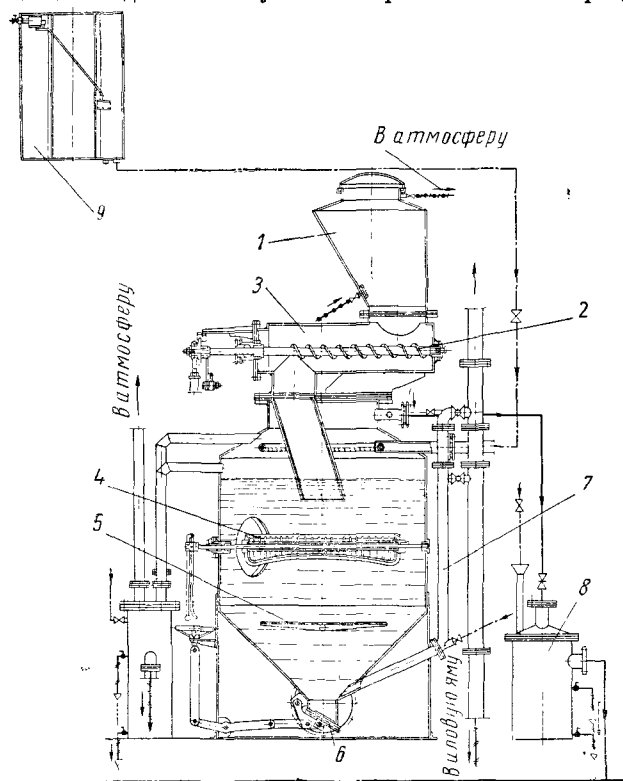
1. Генераторы системы «карбид в воду», в которых куски карбида сбрасываются из загрузочного бункера в воду. Разложение карбида регулируется изменением количества сбрасываемого карбида.

2. Генераторы системы «вода на карбид» с вариантами «мокрого» и «сухого» процессов. При «мокром» процессе куски карбида, находящиеся в загрузочных ящиках или корзинках, разлагаются водой, подаваемой периодически. Разложение регулируется изменением количества подаваемой воды.

При «сухом» процессе определенное количество воды подается на трущиеся друг о друга куски карбида. Выделяемая при разложении карбида теплота расходуется, в основном, на испарение избытка воды. Отходом производства в этих генераторах является сухой порошкообразный гидрат окиси кальция.

Выработка ацетилена в «сухих» генераторах регулируется также изменением количества подаваемой воды.

3. Генераторы «контактной» системы с вариантами «вытеснения воды» и «погружения карбида». В первом варианте куски карбида, находящиеся в неподвижной корзине, смачиваются поступающей снизу водой; по мере выделения ацетилена и повышения давления вода оттесняется от корзины, газообразование замедляется, затем прекращается; при отборе газа давление ацетилена в генераторе снижается и вода вновь вступает в соприкосновение с карбидом.



Фиг. 4. Генератор ГНД-35: 1 — бункер; 2 — шнек; 3 — желоб; 4 — решетчатая корзина; 5 — решетка; 6 — выпускной клапан; 7 — труба для спуска жидкого шлака; 8 — промыватель; 9 — напорный водяной бак.

Во втором варианте корзина с карбидом, как правило, подвешивается к плавающему колоколу и, поднимаясь вместе с ним по мере выделения ацетилена, выводит карбид из соприкосновения с водой.

В генераторах «контактной» системы регулирование осуществляется изменением высоты слоя карбида кальция, соприкасающегося с водой.

Некоторые типы генераторов работают по принципу одновременного действия двух систем, например «вода на карбид» и «контактная» (генераторы АНВ и ГВР).

По роду установки генераторы разделяются на стационарные и передвижные. Генераторы производительностью до $3,2 \text{ м}^3/\text{час}$ изготавливаются передвижными, свыше $3,2 \text{ м}^3/\text{час}$ — стационарными, устанавливаемыми в специальных помещениях.

Стационарные ацетиленовые генераторы. Генератор ГНД-35 (фиг. 4) низкого давления предназначен для непрерывного получения газообразного

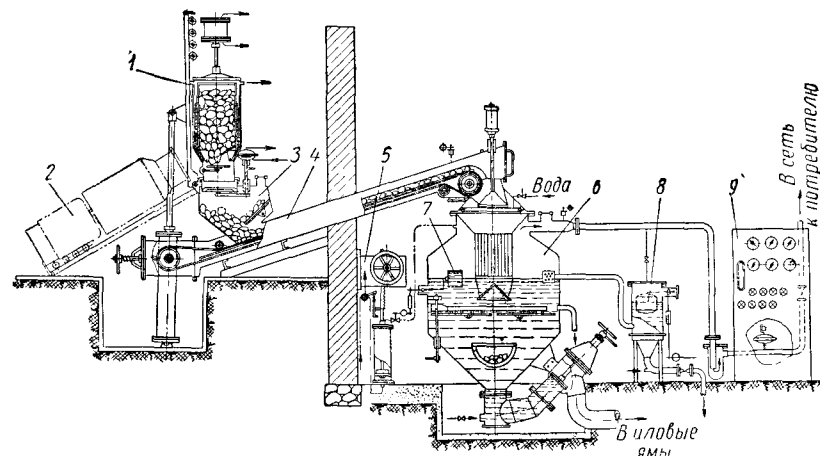
ацетилена и работает по системе «карбид в воду». Газообразователь генератора представляет собой сварной сосуд, на верхней крышке которого установлен загрузочный механизм, питающий аппарат карбидом кальция.

Загрузочный механизм состоит из бункера, в который засыпается карбид кальция, и шнека, вращающегося в полукруглом желобе. Шнек подает в генератор в среднем 160 кг карбида в час.

В корпусе генератора закреплена на оси сваренная из прутков корзина, в которой разлагается поступающий в генератор карбид; для удаления шлака корзина в процессе работы покачивается с помощью специального привода.

В комплект генератора входят два газообразователя, работающие попеременно.

В стационарном генераторе «Автогенд-М» (системы «карбид в воду», разработанном инж. Ю. В. Далаго (фиг. 5), карбид кальция загружается в газо-



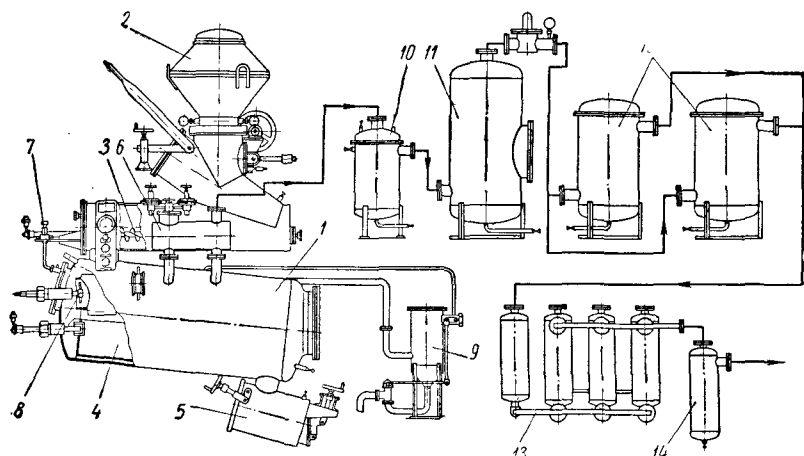
Фиг. 5. Генератор «Автогенд-М»: 1 — пневмопогрузчик; 2 — ковш; 3 — бункер; 4 — ковш транспортера; 5 — храповый механизм; 6 — газообразователь; 7 и 8 — поплавковые клапаны; 9 — пульт управления.

образователь при помощи пневмопогрузчика вместе с барабаном. Днище в барабане предварительно вырезается и на барабан надевается ковш, который автоматически раскрывается при заходе барабана в ковш пневмопогрузчика. Пневмопогрузчик поворачивает и устанавливает барабан на горловину приемного бункера. Из бункера карбид закрытым транспортером подается непосредственно в корпус газообразователя. Движение ленты транспортера включается автоматически при падении давления в газообразователе ниже установленного предела.

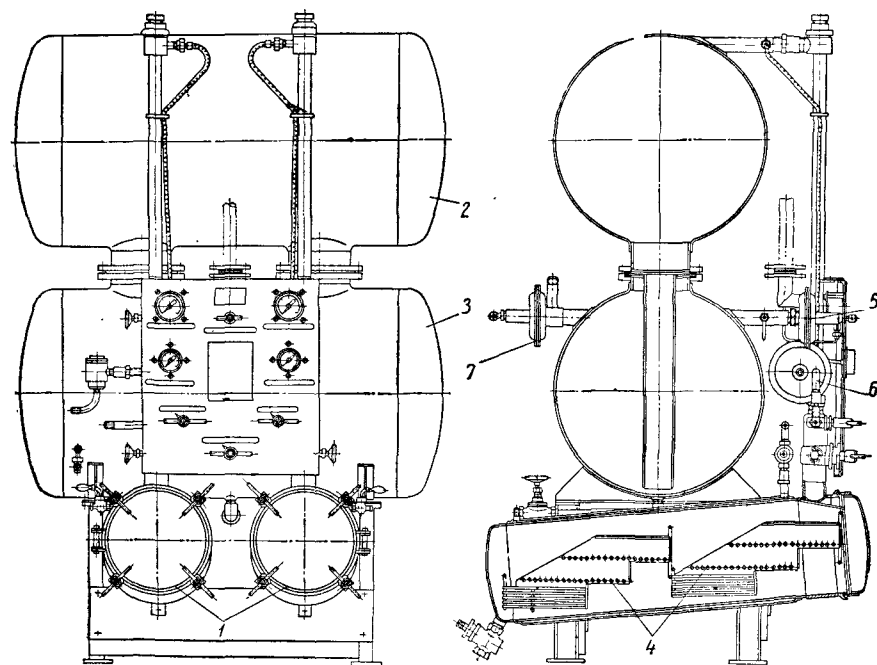
Генераторы типа АСС среднего давления, системы «карбид в воду» (фиг. 6) имеют унифицированную конструкцию и рассчитаны на производительность 40; 60; 80 и $100 \text{ м}^3/\text{час}$. Унификация генераторов различной производительности достигнута в результате горизонтального расположения корпусов газообразователей, имеющих одинаковый диаметр, но различную длину.

В корпус смонтирован качающийся желоб, по которому механически перемещается разлагаемый карбид кальция. В этих генераторах длина желоба и, следовательно, путь, проходимый карбидом, различные. Все остальные узлы генератора унифицированы. Вследствие горизонтального расположения корпуса, интенсификации газообразования и высокотемпературного режима значительно снижены габариты генераторов.

Высота генераторов типа АСС не зависит от производительности и не превышает $4,2 \text{ м}$. Для таких генераторов не требуются высокие здания.



Фиг. 6. Генератор АСС: 1 — газообразователь; 2 — бункер; 3 — шнековый транспортер; 4 — желоб; 5 — ловушка для ферросилиция; 6 — промывное устройство; 7 — регулятор подачи карбида; 8 — пропеллерное устройство для затопления пыли; 9 — илоспускной аппарат; 10 — промыватель; 11 — газосборник; 12 — химические очистители; 13 — водяной затвор; 14 — влагосорбник.

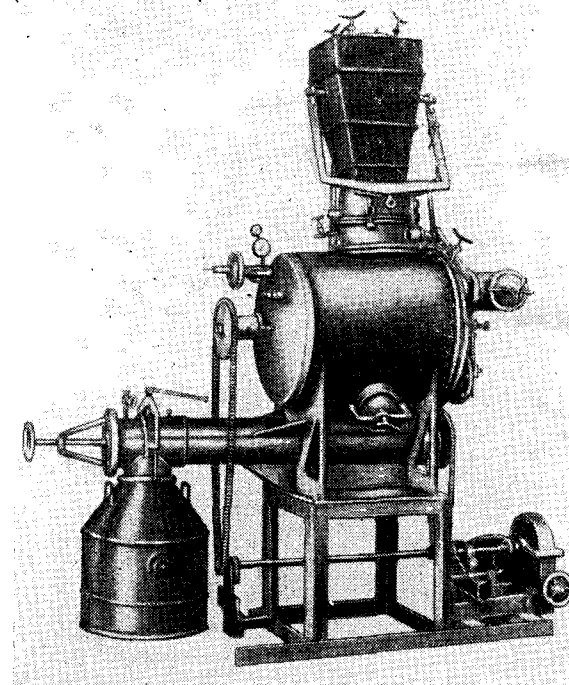


Фиг. 7. Генератор ГРК-10-57: 1 — реторты; 2 и 3 — верхний и нижний газосборники; 4 — загрузочные корзины; 5 — регулятор подачи воды; 6 — регулятор давления ацетилена; 7 — предохранительный клапан.

В генераторе имеется пропеллерное устройство для затопления пыли, которое дает возможность перерабатывать карбид кальция без предварительного отсеивания пыли.

Генераторы типа АСН низкого давления имеют аналогичную конструкцию газообразователей и отличаются от генераторов типа АСС тем, что вырабатываемый ацетилен поступает из газообразователя в газгольдер низкого давления с плавающим колоколом.

Генератор ГРК-10-57 (фиг. 7) работает по системе «вода на карбид» (вариант «мокрого» процесса) и предназначен для питания сварочных цехов



Фиг. 8. Генератор АСП-1-56 для «сухого» разложения карбида кальция.

ацетиленом среднего давления. Работа генератора регулируется автоматически. Поступление воды зависит от давления газа в генераторе. Газообразование происходит попеременно в двух ретортах, охлаждаемых проточной водой. Вода для реакции подводится к генератору от водопроводной сети через обратный водяной клапан и регулятор подачи воды. Образовавшийся газ через обратные газовые клапаны поступает в газосборники и в нижнем газосборнике промывается водой, затем через регулятор давления и предохранительный водяной затвор поступает в сеть.

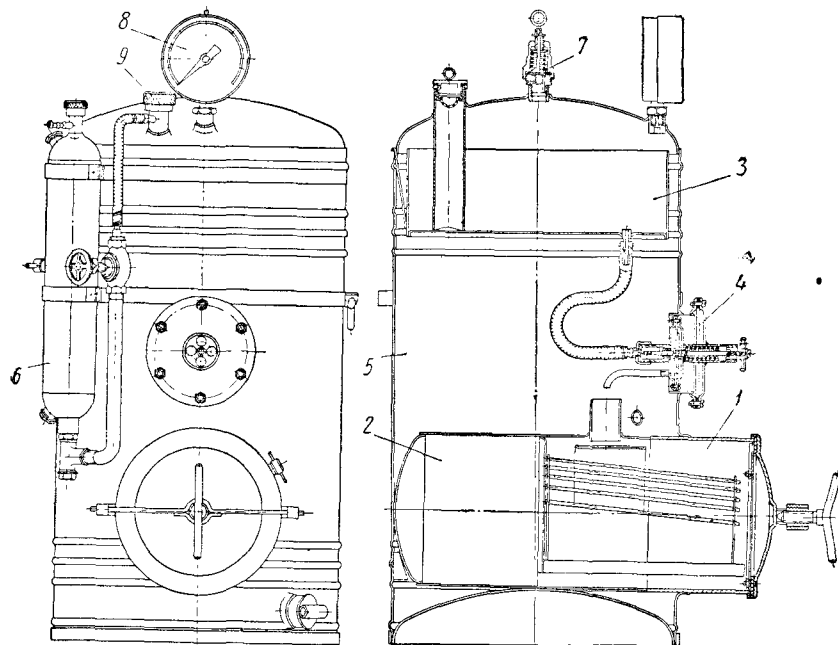
В генераторах с «мокрым» процессом расходуется 7—12 л воды на 1 кг карбида кальция, вследствие чего образуется значительное количество жидкого ила, с которым теряется до 2% ацетилена. Для отстаивания ила приходится устраивать большие иловые ямы; периодическая очистка их — тяжелая и трудоемкая работа.

Указанные недостатки в значительной мере устраняются при «сухом» процессе разложения карбида.

Генератор АСР-1-56 (фиг. 8) предназначен для «сухого» процесса. Производительность его $20 \text{ м}^3/\text{час}$. Значительная часть тепла, выделяемого при разложении карбида, расходуется на испарение избытка воды, поступающей в газообразователь. Зона реакции и образующийся ацетилен охлаждаются проточной водой, циркулирующей в рубашке корпуса. Температура внутри газообразователя поддерживается в пределах $90-95^\circ$.

Расход воды, подаваемой в газообразователь, составляет всего около 1 л на 1 кг карбида. Поэтому отходы представляют собой порошок (пушонку), содержащий небольшое количество влаги. Потери ацетилена с отходами заметно сокращаются.

Переносные ацетиленовые генераторы. Генераторы среднего давления типа ГВР (фиг. 9) работают по комбинированной системе, — «контактная» (вариант «вытеснения воды») и «вода на карбид». Генераторы рас-



Фиг. 9. Генератор ГВР-1,25: 1 — реторта; 2 — вытеснительная камера; 3 — водяной бак; 4 — регулятор подачи воды; 5 — газосборник; 6 — водяной затвор; 7 — предохранительный клапан; 8 — манометр; 9 — разрывная мембрана.

считаны на давление в сети $0,08-0,3 \text{ атм}$ при наибольшем давлении в корпусе $0,7 \text{ атм}$. Работа генератора регулируется автоматически. При установившемся отборе газа происходит равномерное поступление воды к карбиду, находящемуся в реторте, вследствие чего давление в генераторе остается примерно постоянным. При снижении отбора газа давление в генераторе повышается, часть воды отселяется от карбида в камеру, примыкающую к реторте, и газообразование замедляется. При повышении отбора газа давление в генераторе понижается, вследствие чего вода возвращается в реторту и газообразование ускоряется.

Генераторы ГВР выпускаются производительностью 1,25 и $3,2 \text{ м}^3/\text{час}$. Генератор ГВР-1,25М — переносный, имеет одну реторту. Генератор ГВР-1,25МЧ приспособлен для работы в зимних условиях на открытом воздухе при температуре до минус 25° . Для этой цели он снабжается теплоизолирующим чехлом; водяной затвор заполняется морозостойкой жидкостью.

Генератор ГВР-3 имеет две реторты; к месту работы перевозится на тележке; может быть использован как стационарный. Генератор ГВР-3 с установленным на нем илловым баком может работать непрерывно.

Генератор АНВ-1,25 (фиг. 10) — аппарат открытого типа, низкого давления, прерывного действия. В нем также сочетаются две системы: «контактная» (вариант «вытеснения воды») и «вода на карбид». Ацетилен, выделяющийся в результате реакции, выходит из реторты в газосборник, вытесняя воду в верхнюю часть генератора. Когда уровень воды в газосборнике опускается ниже заданного, подача воды в реторту прекращается. По мере возрастания давления в газосборнике и реторте часть воды вытесняется из реторты в вертикальную трубу, присоединенную к реторте, вследствие чего газообразование замедляется. При отборе газа давление в газосборнике и реторте снижается, вода из трубы поступает к карбиду, и выделение газа возобновляется. Наряду с этим вода из верхней части генератора поступает в газосборник, а по достижении заданного уровня начинает поступать в реторту. Генератор снабжен морозостойчивым предохранительным водяным затвором и карбидным осушителем.

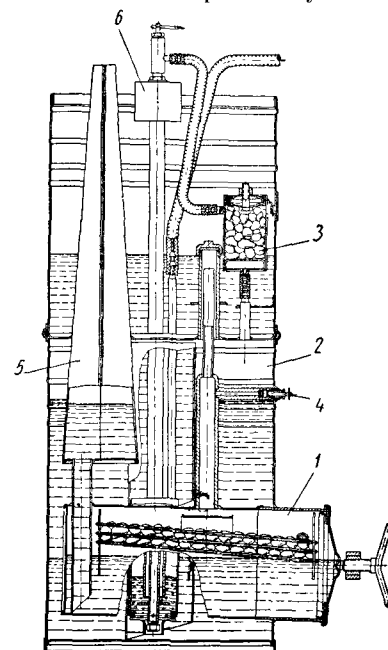
Генератор типа МГ-54 (фиг. 11) работает по системе «вода на карбид» и является аппаратом непрерывного действия, так как имеет две попеременно работающие реторты.

Вода подается в реторту из кольцевого резервуара по сифонной трубке. Образовавшийся в реторте ацетилен, проходя по погруженным в воду газоотводящим трубкам, промывается и охлаждается, после чего поступает в газосборник; отсюда через предохранительный жидкостный затвор направляется к месту потребления.

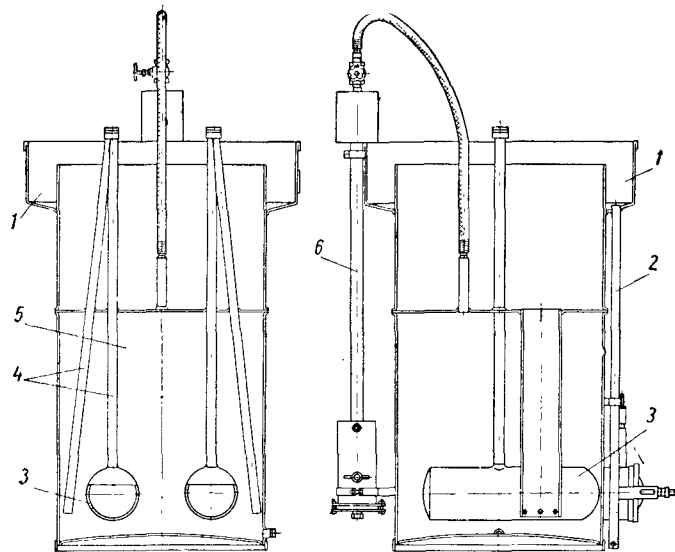
Работа генератора регулируется автоматически. При уменьшении отбора газа накапливается в газосборнике. Вследствие этого давление газа в газосборнике и реторте превышает давление водяного столба в сифонной трубке и подача воды прекращается.

Генератор АСМ-1-58 (фиг. 12) «контактной» системы (вариант «вытеснения воды») является аппаратом прерывного действия. Генератор приспособлен для работы на открытом воздухе в зимнее время; предназначен для обслуживания монтажных и ремонтных работ.

Генератор состоит из вертикального цилиндрического корпуса с верхним и нижним сферическими днищами. В верхнее днище вварена горловина, через которую в корпус вставляется корзина с карбидом. Корзина укреплена на крышке, которая уплотняется при помощи винта и траверсы. Корпус генератора разделен перегородкой на две части: верхнюю — газообразователь и нижнюю — промыватель, сообщающиеся между собой трубкой. Загруженную карбидом корзину опускают в шахту. Образующийся ацетилен из газообразователя по трубке поступает в промыватель для охлаждения и промывания. Затем через водяной затвор направляется на потребление. Для предупреждения замерзания при работе в зимних условиях на открытом воздухе генератор снабжается съемным ватным чехлом.

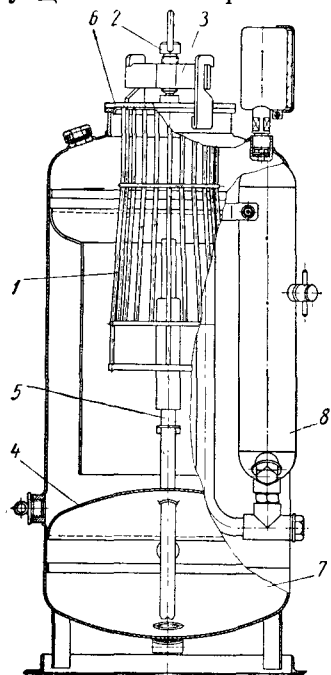


Фиг. 10. Генератор АНВ-1,25: 1 — реторта; 2 — газосборник; 3 — карбидный осушитель; 4 — кран-регулятор подачи воды; 5 — вытеснительная труба; 6 — водяной затвор.



Фиг. 11. Генератор МГ-54: 1 — кольцевой резервуар для воды; 2 — сифонная труба; 3 — реторты; 4 — газостводные трубы; 5 — газосборник; 6 — водяной затвор.

При выполнении строительно-монтажных и ремонтных работ, не требующих частой переноски генератора, могут быть использованы аппараты типа ГВР-1,25; АНВ-1,25 и МГ-54, вес которых в незагруженном состоянии составляет 40—65 кг. При частых переносках целесообразнее применять малогабаритные генераторы типа АСМ-1-58, вес которых в незагруженном состоянии составляет 20 кг.



Фиг. 12. Генератор АСМ-1-58: 1 — загрузочная корзина; 2 — винт; 3 — траверса; 4 — перегородка; 5 — соединительная труба; 6 — крышка; 7 — промыватель; 8 — водяной затвор.

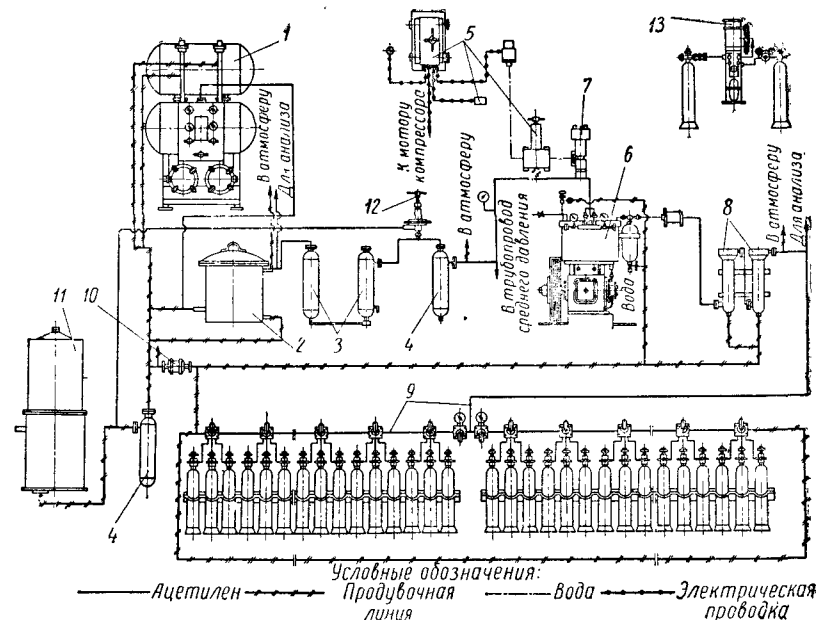
Генераторы ГВР, АНВ, МГ и ГРК-10 допускают использование мелкого карбида, при условии смешивания его с нагретым до 50° мазутом (5% по весу), с таким расчетом, чтобы мазут покрыл всю поверхность частиц карбида. На прутки корзины генераторов ГВР и АНВ должна быть в этом случае уложена сетка с ячейками размером 8—10 мм. Загрузка карбида должна быть уменьшена на 25% по сравнению с нормальной. Перед водяным затвором следует устанавливать фильтр для задерживания паров нефтепродуктов.

При централизованном газоснабжении следует использовать преимущественно генераторы среднего давления: в цехах с небольшим числом рабочих постов — гене-

раторы ГВР-3 и ГРК-10-57, в крупных цехах или для группы цехов — генераторы АСС или «Автогенд». В последнем случае могут быть использованы генераторы низкого давления типа ГНД-35, укомплектованные газодувками типа КВН-8, повышающими давление ацетилена до 0,4—0,5 атм.

Установки для производства растворенного ацетилена

Для производства растворенного ацетилена может быть применена установка производительностью 12 м³/час УСН-56, в которой ацетилен нагнетается в баллоны поршневым компрессором. В компрессор ацетилен подается из генератора среднего давления, что дает возможность повысить производительность установки на 50—60% по сравнению с установками, у которых в компрессоры поступает ацетилен низкого давления.



Фиг. 13. Схема установки УСН-1-56 для производства растворенного ацетилена: 1 — ацетиленовый генератор среднего давления; 2 — химический очиститель; 3 — водяной затвор; 4 — влагоотборник; 5 — устройство для автоматического отключения компрессора; 6 — компрессор; 7 — пресс-масленка; 8 — осушительная батарея; 9 — наполнительная рама; 10 — сухой затвор; 11 — газосборник емкостью 0,5 м³; 12 — предохранительный клапан; 13 — прибор для ацетонирования баллонов.

Отличительной особенностью установки является отсутствие крупногабаритного газосборника низкого давления с плавающим колоколом.

Установка УСН-56 выпускается в двух моделях: одна с питанием компрессора ацетиленом от генератора типа ГРК-10-57 (УСН-1-56, фиг. 13), входящего в комплект поставки, другая с питанием компрессора ацетиленом от имеющейся сети среднего или низкого давления (УСН-2-56).

Установка УСН-1 обеспечивает бескомпрессорное наполнение баллонов при помощи газобразователя, работающего под давлением до 30 атм.

Безопасность разложения карбида под высоким давлением обеспечивается непрерывной циркуляцией воды. Установка УСН-1 может вырабатывать как растворенный ацетилен, так и газообразный ацетилен среднего давления. Производительность при выработке растворенного ацетилена до 10 м³/час, при выработке газообразного ацетилена — 20 м³/час.

Тип генератора	Номинальная производительность в $\text{м}^3/\text{час}$	Наибольшее давление в корпусе в атм	Рабочее давление на выходе из водян-ного затвора в атм	Применяемые грануляции карбида в мм	Единица измерения загрузки карбида в кг	Высота генератора в мм	Размеры в плане или диаметр корпуса в мм	Вес генератора в кг	
								без воды и карбида	в заряженном состоянии (с водой и карбидом)
АСС-3-55	80	1,5	0,6—0,7	Любая	450	4200	Длина 5370	—	—
«Автогенд-М»	50	0,7	0,3—0,5		120	2700	1500	1300	—
ГНД-35	35	0,05	0,025	От 8/15 до 25/80	160—200	3800	1400	—	—
АСР-1-56	20	1,5	0,5—0,8	15/25 и 25/80	80	1430	1050×2700	1860	—
ГРК-10-57	10		До 0,7	25/80	20—25	2100	1400×1320	650	—
ГВР-3	3	0,7	0,15—0,3	25/80	8	1260	630	110	220
МГ-54	2	0,10	0,030	15/25 и 25/80	5	1170	590	70	270
ГВР-1,25М	1,25	0,7	0,08—0,15	25/80	4	1042	480	54	110
АПВ-1,25		0,4	0,025—0,030			1120	446	42	130
АСМ-1-58		1,5	0,4—0,3		2,2	795	295	20,4	37

Для бескомпрессорного наполнения баллонов может быть использована установка УХНБ, в которой пары кислорода, выходящие из холодного газификатора, охлаждают ацетиленовые баллоны до температуры около 70° ниже нуля. Вследствие этого резко возрастает растворимость ацетилена в ацетоне, находящемся в баллонах, и для наполнения может быть использован ацетилен среднего давления, поступающий в баллоны под давлением 0,4—0,5 атм .

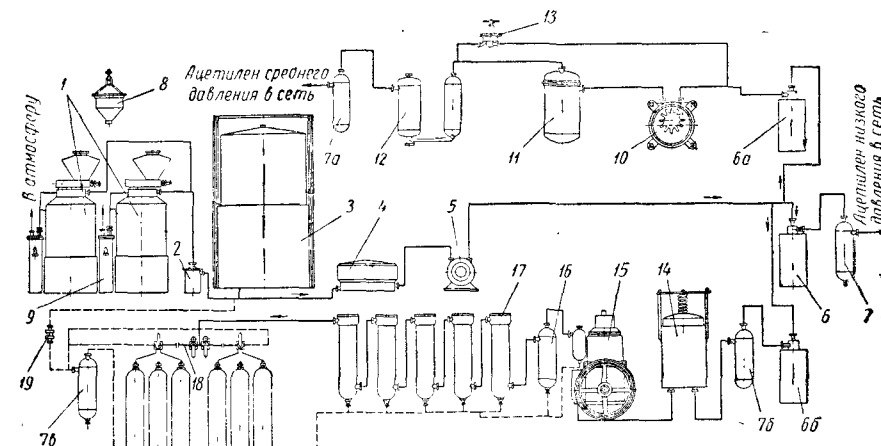
Установки для производства растворенного ацетилена производительностью 20 и 40 $\text{м}^3/\text{час}$ могут комплектоваться генераторами ГНД-35; АСС или «Автогенд».

ВНИИАвтогеном разработано комплектное оборудование для станций растворенного ацетилена производительностью 150 и 300 $\text{м}^3/\text{час}$ на базе карбида кальция, а также ацетилена, получаемого из природного газа.

Питание сварочных постов растворенным ацетиленом (см. стр. 490) имеет существенные преимущества по сравнению с питанием непосредственно от генераторов, в особенности переносных. К ним относятся: большая безопасность и удобство в работе; минимальное содержание примесей, в том числе влаги; повышенное давление газа, способствующее большей устойчивости в работе аппаратуры; возможность бесперебойной работы в холодное время года на открытом воздухе; отсутствие необходимости в обслуживании водяных предохранительных затворов; более высокий коэффициент полезного использования карбида кальция по сравнению с переносными генераторами; исключение затрат рабочего времени сварщика на обслуживание переносных генераторов; компактность сварочного поста; чистота рабочего места и др.

Схемы технологического процесса производства ацетилена

Общая схема технологического процесса производства газообразного ацетилена низкого и среднего давления, а также растворенного ацетилена с использованием генераторов низкого давления приведена на фиг. 14.

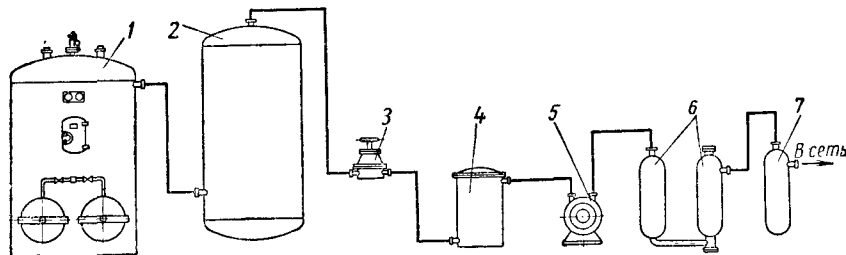


Фиг. 14. Общая схема производства газообразного и растворенного ацетилена при использовании генераторов низкого давления.

Ацетилен низкого давления, образующийся в газобразователях 1, проходит через промыватель 2 и собирается в газосборнике 3 с плавающим колоколом. Из газосборника ацетилен проходит через химический очиститель 4 и газовый счетчик 5, после чего, в случае питания сети низкого давления, через водяной затвор низкого давления 6 и влагосборник 7 поступает на потребление. Перевозной бункер 8 служит для загрузки газобразователей 1 карбидом кальция. Гидравлические затворы 9 предназначены для предупреждения повышения давления в газобразователях свыше предельно-допустимого.

При питании сети среднего давления ацетилен засасывается газодувкой 10 через водяной затвор низкого давления 6а. В газодувке ацетилен сжимается до необходимого давления и, пройдя холодильник 11, водяной затвор среднего давления 12 и влагосорбник 7а, поступает на потребление. В случае уменьшения или прекращения отбора газа давление после насоса 10 возрастает и ацетилен через перепускной клапан 13 сбрасывается в сеть низкого давления.

При наполнении баллонов ацетилен засасывается компрессором 15 через водяной затвор низкого давления 6б, влагосорбник 7б и уравнилительный сосуд 14. В компрессоре ацетилен сжимается до высокого давления и через маслоот-



Фиг. 15. Схема производства газообразного ацетилена при использовании генераторов среднего давления: 1 — газообразователь; 2 — газосборник среднего давления; 3 — регулятор давления; 4 — химический очиститель; 5 — газовый счетчик; 6 — водяной затвор; 7 — влагосорбник

делитель 16 и осушительную батарею 17 поступает в наполнительную рампу 18, к которой присоединены наполняемые баллоны.

При продувке осушительной батареи 17 и маслоотделителя 16 ацетилен отводится через влагосорбник 7в и сухой предохранительный затвор 19 в газосборник 3.

На фиг. 15 показана схема производства ацетилена среднего давления с использованием генераторов среднего давления и газосборников закрытого типа. Необходимое давление газа в сети устанавливается регулятором.

Для каждого конкретного случая схема определяется рабочим проектом исходя из назначения и мощности станции, применяемого технологического оборудования и других условий.

Ацетиленовые предохранительные затворы

Жидкостные предохранительные затворы служат основным устройством, предохраняющим ацетиленовые генераторы и трубопроводы горючих газов от попадания в них взрывной волны и пламени со стороны потребления, а также от проникновения в них воздуха и кислорода.

По ГОСТу 8766-58 в зависимости от давления поступающего в них ацетилена жидкостные затворы разделяются на два типа:

1) затворы открытого типа, в которых поверхность жидкости в предохранительной трубке непосредственно соприкасается с атмосферой; предельное давление в этих затворах обычно не превышает 1000 мм вод. ст.;

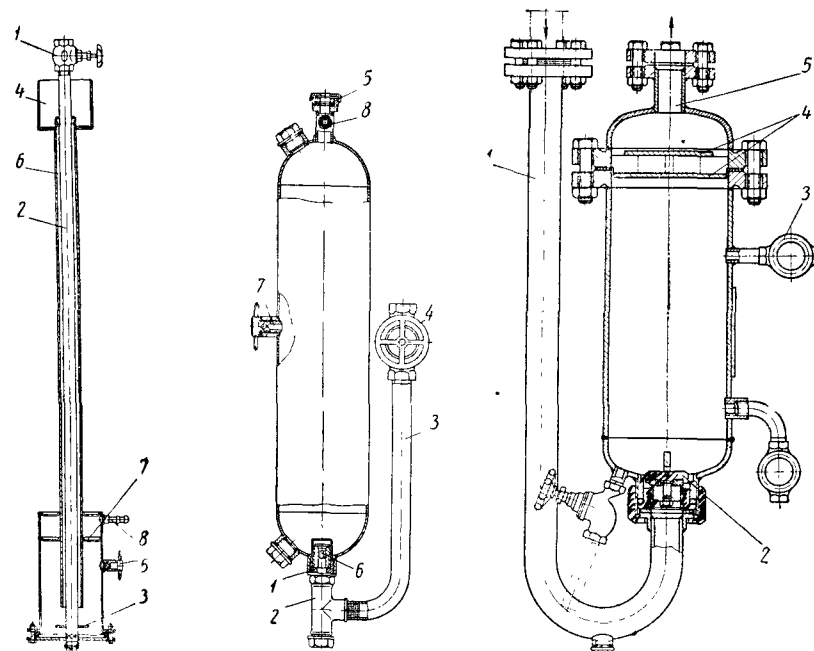
2) затворы закрытого типа для давлений от 0,1 до 0,7 или до 1,5 атм с обратным клапаном, находящимся в жидкости.

На фиг. 16 показана схема водяного затвора открытого типа применяемого в генераторах низкого давления. Ацетилен поступает в затвор по газоподводящей трубке. На нижнем конце трубки имеется ряд отверстий, через которые газ проходит в корпус затвора; над отверстиями расположен рассекатель. Проходя через воду, залитую в затвор до уровня контрольного крана, ацетилен вытесняет часть воды в зазор между предохранительной и газоподводящей трубками. Разность уровней воды в затворе определяет рабочее давление ацетилена.

При обратном ударе давлением взрыва вода вытесняется в газоподводящую трубку, создавая в ней водяной столб; часть воды вытесняется в предохра-

тельную трубку, соединенную с атмосферой. Когда уровень воды в затворе достигнет нижнего края предохранительной трубки, продукты взрыва выбрасываются в атмосферу.

Вследствие того, что отверстия в газоподводящей трубке расположены ниже края предохранительной трубки, попадание взрывной волны в газоподводящую трубку исключено.



Фиг. 16. Схема жидкостного предохранительного затвора открытого типа: 1 — запорный вентиль; 2 — газоподводящая трубка; 3 — рассекатель; 4 — воронка; 5 — кран для контроля уровня воды; 6 — предохранительная трубка; 7 — водоотбойник; 8 — отборный ниппель.

Фиг. 17. Поставой предохранительный жидкостный затвор закрытого типа: 1 — штуцер; 2 — тройник; 3 — газоподводящая трубка; 4 — запорный вентиль; 5 — разрывная мембрана; 6 — обратный клапан; 7 — контрольная пробка; 8 — отборный ниппель.

Фиг. 18. Безмембранный жидкостный затвор закрытого типа ЗСВ-1-57: 1 — газоподводящая трубка; 2 — обратный клапан; 3 — вентиль для контроля уровня жидкости; 4 — отбойник; 5 — выходной штуцер.

На фиг. 17 приведена схема поставого предохранительного жидкостного затвора закрытого типа. В дно корпуса затвора ввернут обратный клапан.

В верхней части затвора расположена разрывная мембрана из оловянной или алюминиевой фольги, зажатая при помощи накидной гайки между двумя резиновыми уплотняющими прокладками. Вода наливается в затвор до уровня контрольной пробки 7. Ацетилен поступает по газоподводящей трубке, принимает клапан и, пройдя через воду, налитую в затвор, выходит через ниппель в пиланг. При обратном ударе возникающее давление, передаваемое через воду, прижимает клапан к седлу и не допускает проникновения пламени в трубопровод или генератор. Одновременно давление взрыва разрушает мембрану. Предельно допустимый отбор ацетилена через затвор 3,2 м³/час. Выпускаются затворы аналогичной конструкции ВЗСД-10 и ВЗСД-35 с пропускной способностью 10 и 35 м³/час.

На фиг. 18 показан безмембранный жидкостный затвор закрытого типа ЗСБ-1-57 с пропускной способностью до $10 \text{ м}^3/\text{час}$. Он предназначен для установки в коммуникациях автоматически управляемого оборудования (например, в комплекте оборудования для резки при непрерывной разливке стали). В случае обратного удара, по сигналу пневматического датчика, реагирующего на повышение давления в затворе, последний автоматически продувается азотом. Установленный в верхней части затвора лабиринтный отбойник ослабляет удар взрывной волны о поверхность жидкости в затворе, а при нормальном отборе газа способствует отделению влаги от ацетилена, выходящего из затвора.

Аналогичную конструкцию имеет затвор ЗСБ-3-58 пропускной способностью $3,2 \text{ м}^3/\text{час}$.

В табл. 2 приведены основные характеристики водяных предохранительных затворов, выпускаемых промышленностью, которые могут быть использованы для установки в качестве постовых.

Эти затворы могут быть использованы как для ацетилена, так и для других горючих газов. В последнем случае максимальная пропускная способность затворов может быть увеличена на 20—50%.

Ввиду важной роли предохранительных затворов как средств техники безопасности, к их конструкции и изготовлению предъявляются специальные требования, изложенные в ГОСТе 8766-58.

2. Технические характеристики и основные размеры предохранительных жидкостных затворов закрытого типа

Марка затвора		ЗСБ-3-58	ЗСД-3-07	ВЗСД-10	ЗСБ-1-57	ВЗСД-35
Максимальная пропускная способность в <i>м³/час</i>		3,2	3	10		35
Наибольшее допустимое рабочее давление в <i>ати</i>		0,7		1,5		
Потеря давления при максимальном расходе в <i>ати</i>		0,05	0,045	0,050	0,055	0,15
Количество заливаемой воды в <i>л</i>		1,9	2,1	5,5	5,0	22,0
Основные размеры сосуда в <i>мм</i>	диаметр	108	108	152	194	273
	высота	617	582	800	920	1135

Перепускные рамповые установки

При количестве сварочных постов в цехе более 10 централизованная подача кислорода и горючего производится от распределительных (перепускных) рам, установленных в отдельном помещении.

Кислородная рама (фиг. 19) состоит из медного коллектора с запорными вентилями, к которым при помощи гибких медных трубок (змеевиков), имеющих на концах ниппели и накидные гайки, присоединяются кислородные баллоны. Баллоны крепятся к стойкам при помощи цепочек или хомутов.

Для подачи газа из рамы по трубопроводу под рабочим давлением используются рамповые редукторы.

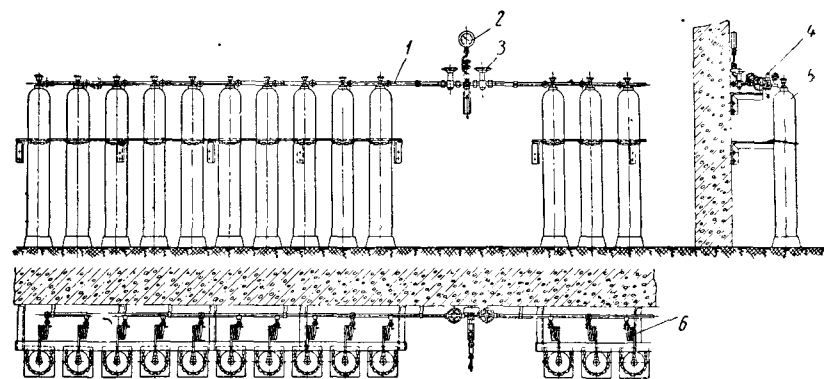
Если кислород из рамы поступает в трубопровод под высоким давлением, то на каждом сварочном посту должен быть установлен постовой редуктор.

В ацетиленовых рамах коллектор и трубки змеевиков изготавливаются из цельнотянутых стальных труб; змеевики присоединяются к баллонам при помо-

щи хомутов. Иногда вместо стальных змеевиков используются резиноканевые шланги.

Из рамы в трубопровод ацетилена подается под давлением, не превышающим $1,5 \text{ атм}$; отбор из трубопровода производится через предохранительные затворы.

В помещении перепускных рам устанавливаются клетчатые стойки для хранения порожних и наполненных баллонов. Допускаемое количество наполненных баллонов — не выше потребности одной смены (6—8 час.).



Фиг. 19. Перепускная кислородная рама: 1 — коллектор; 2 — манометр; 3 — запорный вентиль; 4 — рамповый редуктор; 5 — баллон; 6 — змеевик.

Рамповые установки производительностью до $15 \text{ м}^3/\text{час}$ включительно разрешается располагать в огнестойких или полугонестойких пристройках к зданию цеха—потребителя газа. Пристройка отделяется от цеха глухой огнестойкой стеной. Установки большей производительности располагаются в отдельных огнестойких зданиях вблизи от цехов-потребителей.

При размещении ацетиленовой и кислородной рам в одном здании они должны быть разделены глухой огнестойкой стеной.

Баллоны и вентили

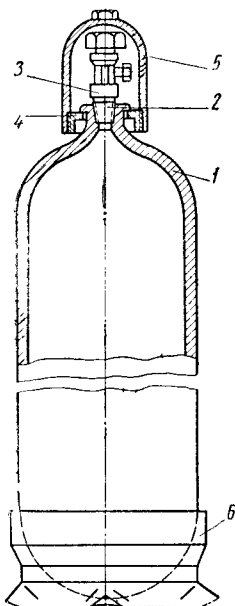
Баллоны предназначены для хранения и транспортирования газов в сжатом, сжиженном или растворенном состояниях. Они изготавливаются, как правило, из бесшовных труб и могут иметь водяную емкость оболочки от 0,4 до 55 л. Наиболее распространены баллоны с оболочкой емкостью 40 л, рассчитанные на рабочее давление до 200 атм . Такой баллон имеет наружный диаметр 219 мм, высоту около 1500 мм и вес около 60 кг. Для изготовления баллонов применяются как углеродистые, так и легированные стали.

Для хранения и транспортирования некоторых сжиженных газов (пропана, бутана и др.) и растворенного ацетилена при рабочем давлении в баллонах не выше 30 атм могут применяться сварные баллоны, изготавливаемые по специальным техническим условиям.

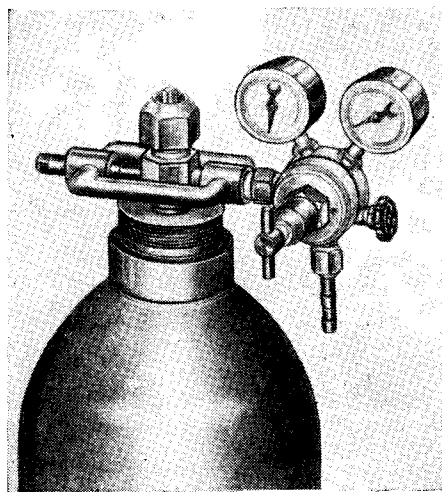
Баллон (оболочка) по ГОСТу 949-57 (фиг. 20) представляет собой цилиндрический сосуд 1 с закругленными верхней и нижней частями. В верхней части баллон имеет горловину 2 с внутренней конической резьбой для ввертывания хвостовика запорного вентиля 3. На горловине баллонов, имеющих водяную емкость свыше 12,5 л, укрепляется штампованное или литое кольцо 4 с резьбой для навертывания предохранительного колпачка 5 (сварного или литого). Для хранения баллона в вертикальном положении и для облегчения кантования в наклонном положении на нижнюю часть его насаживается в горячем состоянии квадратный башмак 6.

В отдельных случаях разрешается эксплуатация баллонов, не имеющих башмаков, если устойчивость их в вертикальном положении обеспечивается другими средствами.

Во избежание случайного образования в баллоне взрывоопасной смеси газов (смеси горючего с кислородом или воздухом, ацетилена с хлором) предусматриваются различные типоразмеры присоединительных запорных вентилей, а также различная окраска оболочек баллонов и надписи на них. Боковые штуцеры вентилей для горючих газов имеют левую резьбу и меньший диаметр по сравнению со штуцерами вентилей для кислорода и негорючих газов.



Фиг. 20. Баллон по ГОСТу 949-57.



Фиг. 21. Крепление редуктора к вентилю ацетиленового баллона.

Вентили ацетилена не имеют присоединительного штуцера; редукторы, шланги и трубки наполнительных и перепускных рампы присоединяются к ним при помощи хомутов (фиг. 21).

Для специальных целей применяются баллоны с вентилями, у которых присоединительные штуцеры имеют внутреннюю резьбу.

Допустимый нагрев оболочек баллонов и заключенного в них газа — не выше 35°, в исключительных случаях (при высокой температуре окружающего воздуха) — до 50° для растворенного ацетилена и сжиженных газов — до 40°.

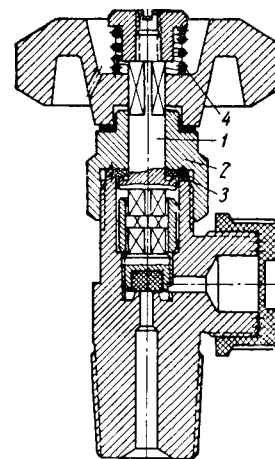
Баллоны для растворенного ацетилена. Безопасное повышение давления ацетилена сверх 1,5 *атм* возможно лишь в том случае, если ацетилен располагается в капиллярах пористого вещества; тогда возникший в одном месте взрывчатый распад ацетилена не может распространиться на всю массу газа. Поэтому оболочки баллонов, предназначенных для хранения и транспортирования ацетилена, заполняются специальной пористой массой.

При нагнетании в баллон ацетилен распределяется малыми объемами в капиллярных порах массы, которая предохраняет соседние объемы ацетилена от распространения возникшей где-либо реакции разложения. Так как по условиям безопасности давление в ацетиленовых баллонах выше 25 *атм* не допускается, для увеличения количества хранимого в баллоне ацетилена пользуются высокой его растворимостью в ацетоне (табл. 3).

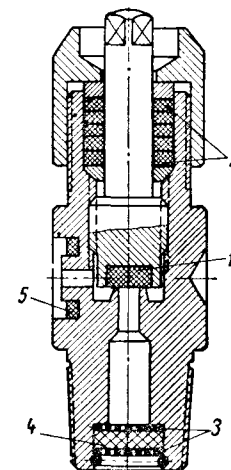
3. Растворимость ацетилена в ацетоне в зависимости от температуры

Температура в °	—20	—15	—10	—5	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40
Коэффициент растворимости α в л/л	52	47	42	37	33	29	26	23	20	18	16	14,5	13

Выходящий из наполненного баллона ацетилен содержит некоторое количество испарившегося ацетона, количество которого увеличивается при повышении температуры внутри баллона. Если убыль ацетона из сорокалитрового баллона



Фиг. 22. Вентиль кислородного баллона.



Фиг. 23. Вентиль ацетиленового баллона.

превышает 1 *кг*, то в баллон при новом наполнении добавляют недостающее количество ацетона. Наименьшая вместимость по газу нормального сорокалитрового ацетиленового баллона составляет около 4,5 *кг* (примерно 4 *м³*) ацетилена (если в баллоне не скопилось заметное количество воды¹).

Приблизительно количество ацетилена, содержащегося в баллоне с пористой массой из активированного древесного угля, можно определять по формуле

$$V = \sim 0,35 \alpha V_0 p,$$

где V — объем ацетилена, содержащегося в баллоне, приведенный к температуре 20° и давлению 760 *мм* рт. ст., в *л*; V_0 — водяная емкость баллона в *л*; α — коэффициент растворимости в *л/л*; p — абсолютное давление в баллоне в *атм*.

Баллонные вентили. Основное назначение запорного вентиля — создание герметичного соединения баллона с редуктором или рампой. Типовая конструкция запорного вентиля кислородных и большинства других баллонов изображена на фиг. 22.

Герметичность вентиля в месте прохода шпинделя 1 через сальниковую гайку 2 обеспечивается за счет прижатия седла шпинделя к фибровой прокладке 3

¹ Баллоны, содержащие значительное количество сконденсированной влаги (что сказывается в снижении газопламенности), должны подвергаться регенерации.

усилием пружины 4 и давлением газа изнутри. Вследствие этой особенности конструкции при понижении давления в баллоне иногда имеют место пропуски газа в сальнике. Вывернув клапан до отказа, можно увеличить усилие прижатия седла к прокладке; однако это увеличивает ее износ и не позволяет быстро перекрывать клапан вентиля в случае необходимости.

Разрез типового вентиля ацетиленового баллона показан на фиг. 23. Все детали вентиля изготавливаются из стали, кроме уплотнителя 1, который, как правило, изготавливается из эбонита, и сальниковых прокладок 2, изготовляемых из сыромятной кожи, пропитанной тавотом, солидолом или другим минеральным маслом. В хвостовике вентиля, в канале для прохода газа, между стальными сетками 3 располагается фильтр 4 из нескольких войлочных прокладок. Назначение фильтра — защитить внутреннюю полость вентиля и присоединяемый к нему редуктор от попадания в них частиц пористой массы. На боковой грани вентиля имеется кольцевая выточка, в которую вставляется кожаная прокладка 5. К этой прокладке прижимается специальным хомутом входной штуцер ацетиленового редуктора или ниппель трубки наполнительной или перепускной рамы. Открытие и закрытие вентиля осуществляется вращением шпинделя при помощи торцового ключа.

Каждый вентиль баллона (кроме вентилях, не имеющих присоединительной резьбы) снабжается заглушкой, закрывающей отверстие присоединительного штуцера и предохраняющей его от засорения, а присоединительную резьбу штуцера — от повреждений.

Шланги

Горелки, резаки и другая аппаратура присоединяются к баллонам, генераторам или газопроводам при помощи гибких резиноканевых рукавов (шлангов), обеспечивающих возможность свободного перемещения сварщика и аппаратуры в пределах длины шланга.

Шланги состоят из внутреннего и наружного кольцевых слоев резины и одного или нескольких промежуточных слоев прорезиненной ткани. Количество тканевых прокладок зависит от давления, на которое рассчитан шланг, и от его внутреннего диаметра. Толщина внутреннего резинового слоя должна быть не менее 2 мм, наружного — не менее 1 мм. Шланги для горючих газов и кислорода, выпускаемые по ГОСТу 8318-57, тип Г, рассчитаны на номинальное рабочее давление до 10 атм.

Нормальная длина шлангов в зависимости от условий работы 8—20 м. В отдельных случаях допускается использование шлангов длиной до 40 м.

Наиболее широко используется шланг с номинальным внутренним диаметром 9 мм и наружным 18—22 мм.

Для закрепления шлангов на присоединительных ниппелях аппаратуры (горелок, резаков, редукторов и др.) пользуются специальными хомутами или обвязывают концы шланга мягкой отоженной (вязальной) проволокой не менее чем в двух местах по длине ниппеля.

Для подвода к аппаратуре жидких и сжиженных горючих используются специальные шланги, изготовляемые из резины, стойкой против разъедания нефтепродуктов. Шланги с внутренним диаметром 6 мм, выпускаются по ТУ УТ 726-53, с большими диаметрами — по ГОСТу 8318-57, тип Б. Для небольших сроков службы допускается использование обычных шлангов типа Г.

Шланги типа Б можно использовать и для кислорода, подаваемого под давлением до 15 атм, если они испытаны на гидравлическое давление 50 атм.

Редукторы и регуляторы давления

Редукторы предназначены для понижения давления газа в баллоне или трубопроводе до рабочего давления, под которым газ должен поступать в горелку или резак, и для автоматического поддержания давления на заданном уровне.

Устройство однокамерного (одноступенчатого) редуктора показано на фиг. 24. Редуктор присоединяется к штуцеру вентиля баллона или трубопровода при помощи накидной гайки 12. Уплотняющим элементом служит фибровая прокладка. При открытом вентиле газ по входному штуцеру поступает в камеру высокого давления. Во входном штуцере помещается фильтр 11, состоящий обычно из нескольких слоев латунной или бронзовой сетки (с ячейками размером примерно 0,3 мм).

В ацетиленовых редукторах фильтром служит фетр или плотный войлок.

В исходном положении выход газа из камеры высокого давления прегражден клапаном 6, плотно прижатым к седлу вставки запорной пружины. При ввертывании регулирующего винта 1 нажимная пружина 2 перемещает нажимной диск 3 и мембрану 4 до соприкосновения с нажимным шпинделем 5 и сжимается. В тот момент, когда усилие сжатой пружины, действующее через нажимной шпиндель в сторону отрыва клапана от седла, превышает совместное усилие противодействия запорной пружины и давления газа в камере высокого давления, клапан открывается и газ поступает в рабочую камеру. От крышки редуктора рабочая камера герметично отделена гибкой мембраной 4, изготовляемой из прорезиненной ткани.

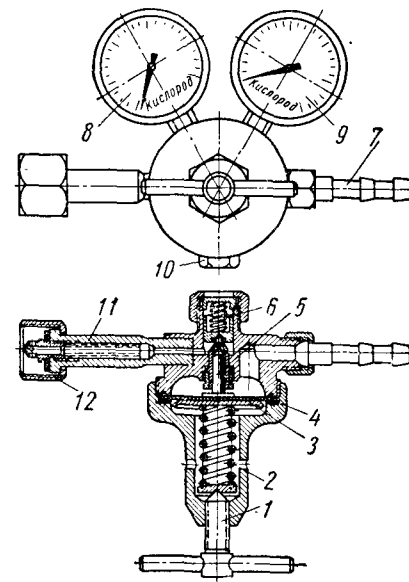
Когда в рабочей камере давлением газа на мембрану создается усилие, превышающее усилие нажимной пружины, клапан редуктора закрывается. Если выход газа из рабочей камеры через ниппель 7 открыт, то при отборе газа давление в рабочей камере будет понижаться до тех пор, пока усилие сжатой нажимной пружины не станет больше суммы противодействующих усилий и клапан не откроется вновь, пропустив в рабочую камеру следующую порцию газа. При непрерывном отборе газа колебания клапана столь часты, что практически давление в рабочей камере поддерживается постоянным. Величина рабочего давления зависит от степени сжатия нажимной пружины, т. е. от числа оборотов регулирующего винта 1. Величина исходного давления в баллоне или трубопроводе и устанавливаемого рабочего давления контролируется манометрами 8 и 9.

На рабочей камере редуктора устанавливается предохранительный клапан 10.

Редукторы для различных газов отличаются цветом окраски корпуса и крышки и присоединительными размерами накидной гайки 12, соответствующими размерам штуцеров вентилях (см. табл. 4). Ацетиленовые редукторы присоединяются к вентилям при помощи хомутов (фиг. 25).

При больших расходах газа применяются двухкамерные редукторы (фиг. 26), в которых регулирование давления осуществляется в две ступени. Такие редукторы обеспечивают большее постоянство рабочего давления и менее склонны к замерзанию.

Все редукторы и регуляторы являются в то же время и обратными клапанами. Так как при случайном повышении давления в рабочей линии мембрана отжимается и клапан закрывается. Однако надежными предохранителями против обратного удара пламени они служить не могут вследствие возможного выгорания уплотнителя клапана; кроме того, обратный удар распростра-



Фиг. 24. Кислородный редуктор РК-53.

4. Техническая характеристика

Марка редуктора	Для какого газа предназна- значен	Цвет окраски	Размеры резьбы		Наибольшее давление на входе в <i>атм</i>	Пределы рабочего давле- ния в <i>атм</i>	Наибольшая пропускная способность в <i>м³/час</i> (при наибольшем рабочем да- влении)
			присоединительной гайки входного шту- цера	выходного штуцера			
РК-53	Кислород	Голубой	3/4" трубная	1М16	150	1—15	60
РКД-15					200		
РКД-8					0,5—8	25	
РВ-55	Водород	Зеленый	21,8 мм левая 14 ниток на 1"	1М16 левая	150	1—15	100
РД-2А	Ацетилен	Белый	Хомут		25	0,1—1,5	5
ДАР-55					16	0,05—1,5	
РД-1	Техниче- ский пропан	Красный	21,8 мм левая 14 ниток на 1"		20		
ДЗР-1-57	Аргон, гелий, азот, углекислый газ	Черный	3/4" трубная	1М16	150		3,5 *
КРР-50	Кислород	Голубой	1" трубная	1" трубная		5—25	220
РК-250			3/4" трубная	2М27		1—12	250
РК-1500-52			Фланец	Фланец		4—12	1500
РАР-55	Ацетилен	Белый			25	0,05—1,5	50

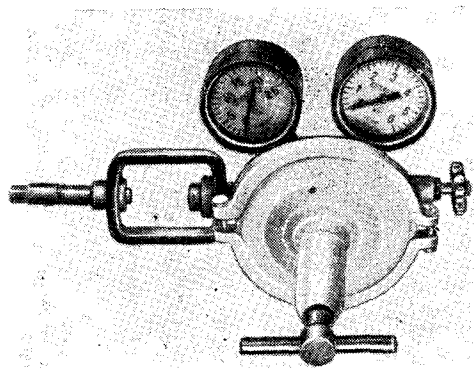
* Для гелия; наибольшая пропускная способность для азота 1,5 м³/час; для аргона 2,4 м³/час и для углекислого газа 3 м³/час;
 ** Точность поддержания установленного расхода 8%.

редукторов по ГОСТу 6268-59

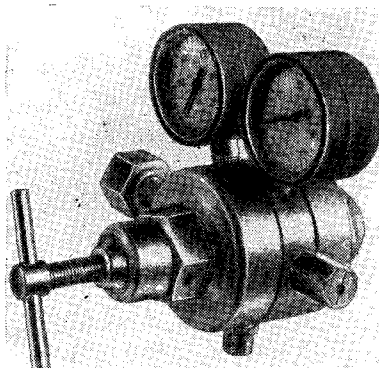
Предел редуцирования	Отклонения рабочего давления при изменении давления на входе от наибольшего до предела редуцирования в %, не более	Повышение рабочего давления при прекращении отбора газа в атм, не более	Дополнительные характеристики	Габаритные размеры в мм	Вес в кг
2.5	15	4.5	—	160×160×175	Без запорного вентил я 1.8
2.0	10	3	Двухкамерный для резки	180×182×220	2.6
	5	2.25	Двухкамерный для сварки и резки		
2.5	15	4.5	—	160×160×175	1.95
		0.6	—	270×200×150	2.3
	6	0.4	Редуктор-регулятор	175×210×275	2.6
—	—	0.4	Регулятор	200×190×185	
—	**	—	—	225×210×190	~3
2.5	5	5	Рамповый	300×200×270	8.5
3.5		3		275×260×225	11.7
2.5			Для установок большой мощности	300×475×280	85.0
	10	0.2	Рамповый	495×525×270	10

2,4 м³/час и для углекислого газа 3 м³/час;

няется с такой большой скоростью, что в отдельных случаях взрывная волна может проникнуть через клапан раньше, чем будет преодолена инерция системы.



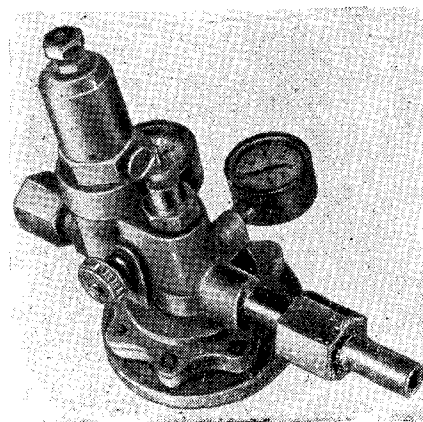
Фиг. 25. Ацетиленовый редуктор ДАР-55.



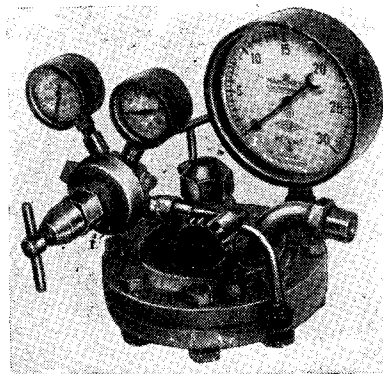
Фиг. 26. Двухкамерный кислородный редуктор РКД.

Основные технические характеристики редукторов, выпускаемых серийно, приведены в табл. 4.

На фиг. 27 и 28 показаны редукторы большой пропускной способности (рамповые).



Фиг. 27. Рамповый кислородный редуктор КРР-50.



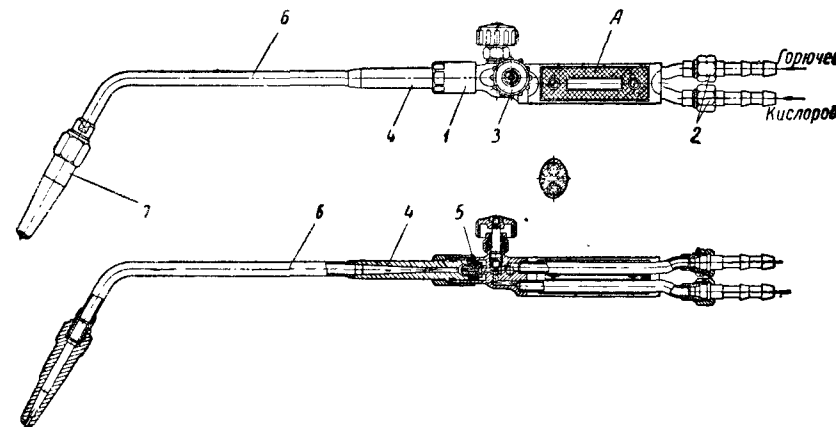
Фиг. 28. Рамповый кислородный редуктор РК-250.

Горелки

По способу подвода горючего различают горелки инжекторные (низкого давления) и безынжекторные (высокого давления). В инжекторных горелках горючее поступает в смешительную камеру вследствие разрежения, создаваемого струей кислорода, проходящей через центральное сопло инжекторного

устройства: это позволяет использовать горючие газы с низким давлением (0,01—0,04 атм). В безынжекторные горелки горючий газ и кислород подаются под одинаковым давлением (0,4—1,0 атм).

Горелка (фиг. 29) состоит из ствола А и наконечника Б, соединяемых между собой накидной гайкой 1. Ствол имеет два присоединительных штуцера 2 (для кислорода и горючего) и два запорно-регулирующих вентиля 3, при помощи которых регулируется состав и мощность пламени. Ствол А, как правило, служит рукояткой горелки. Наконечник Б представляет собой сменный узел горелки. Он состоит из смешительной камеры 4, инжекторного сопла 5 (в горелках низкого давления) или шайбы для дозирования расхода газов (в безынжекторных горелках), трубки 6 для горючей смеси и концевой части 7, называемой мундштуком. Через отверстия в мундштуке горючая смесь выходит в атмосферу и образует при воспламенении и сгорании сварочное пламя. Мощность



Фиг. 29. Сварочная горелка «Москва».

пламени каждого наконечника ограничена пределами устойчивого горения (хлопки и отрыв пламени от сопла). Мощность пламени регулируется изменением давления кислорода (в инжекторных горелках) или обоих газов (в безынжекторных горелках). Давление изменяется при помощи редукторов или вентилей горелки. Наличие сменных наконечников различной мощности позволяет использовать одну и ту же горелку для сварки металлов различной толщины и с различными теплофизическими свойствами, а также для других целей (подогрева, пайки и т. п.).

Нибольшее распространение имеют так называемые универсальные горелки со сменными односопловыми наконечниками.

Характеристики серийных горелок приведены в табл. 5.

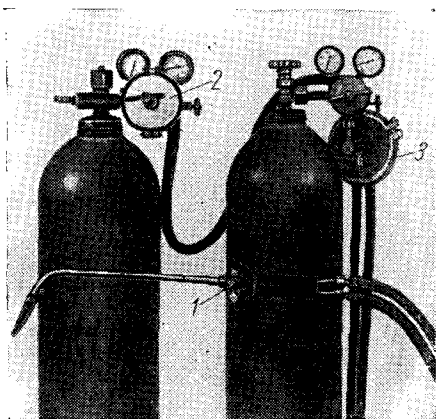
При выполнении работ, требующих точного поддержания состава горючей смеси и мощности пламени, может быть использован комплект аппаратуры равного давления (фиг. 30), состоящий из безынжекторной ацетилено-кислородной горелки 1, ацетиленового редуктора повышенной точности 2 и регулятора равного давления газов 3.

Кроме указанных в табл. 5 горелок в промышленности применяются специальные многосопловые горелки: линейная горелка ГАО-1-56; линейная горелка со сменными наконечниками НАЗ для пламенной поверхностной закалки; универсальная сварочная горелка, снабженная наконечниками НП, с сетчатыми мундштуками для пайки и других работ.

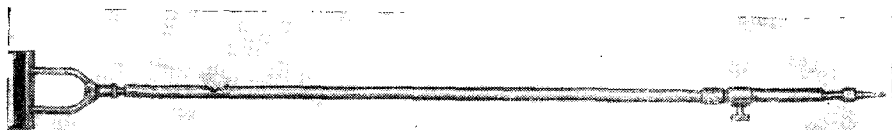
Многосопловая линейная горелка ГАО-1-56 (фиг. 31) предназначена, в основном, для очистки стального проката от окалины и сталь-

5. Техническая характеристика универсальных горелок

Тип горелки	№ наконечников	Примерная толщина свариваемой стали в мм	Расход в л/час	
			ацетилена	кислорода
ГС-53 и «Москва»	1	0,5—1,5	50—125	55—135
	2	1—3	120—240	130—260
	3	2,5—4	230—400	250—430
	4	3,5—7	400—720	430—770
	5	6,5—11	670—1100	730—1200
	6	10—17,5	1030—1750	1150—1975
	7	17—30	1710—2800	1900—3150
ГСМ-53	0	0,2—0,7	20—65	22—70
	1	0,5—1,5	50—125	55—135
	2	1—3	120—240	130—260
	3	2,5—4	230—400	250—430



Фиг. 30. Комплект аппаратуры равного давления:
1 — безыжекторная горелка; 2 — ацетиленовый редуктор ДАР-55; 3 — регулятор равного давления.



Фиг. 31. Многосопловая линейная горелка ГАО-1-56.

ных конструкций и резервуаров от ржавчины и старой краски, а также для других видов нагрева на большой площади.

Горелка рассчитана на работу при давлении (на входе) кислорода 3,5—4 *ати*, ацетилена не ниже 0,04 *ати*. Расход каждого газа составляет при этом около 2 $\text{м}^3/\text{час}$. Мундштук изготовлен из красной меди и имеет 34 сопла диаметром 0,65 мм. Ширина пламени 100 мм. Скорость передвижения горелки в зависимости от условий работы может изменяться в пределах 0,5—10 м/мин. Практическая производительность при очистке достигает 20 м^2 поверхности в час. Удельный расход газов 0,1—0,4 м^3 на 1 м^2 очищаемой поверхности.

Горелка ГПП-1-56 предназначена для сварки винипласта и других пластических материалов. Нагрев свариваемого материала производится струей газов, состоящей из смеси продуктов сгорания ацетилена или водорода и сжатого воздуха.

Горелка работает в интервале давлений горючего газа 0,01—1,0 *ати*, что достигается с помощью набора смежных инжекторов, имеющих различные диаметры отверстий.

Техническая характеристика горелки ГПП-1-56

Рабочее давление сжатого воздуха в <i>ати</i>	0,8—5
Расход сжатого воздуха в $\text{м}^3/\text{час}$	2—3,5
Расход горючего газа в $\text{м}^3/\text{час}$:	
ацетилена	0,03
водорода	0,1
Вес горелки в Г	480

Керосино-кислородная горелка ГКР-1-57 предназначена для сварки цветных металлов и их сплавов, сварки чугуна небольшой толщины, пайки и нагрева других металлов.

В горелке осуществлен принцип механического распыления жидкого горючего кислородом с последующим испарением распыленных частиц и смешиванием их с кислородом для образования горючей смеси.

Техническая характеристика горелки ГКР-1-57

Давление керосина в <i>ати</i>	1,5—3
Расход керосина в $\text{кг}/\text{час}$	0,3—3,4
Давление кислорода в <i>ати</i>	2—3
Расход кислорода в $\text{м}^3/\text{час}$	0,5—6,5
Вес горелки в кг	1

Резаки

Резаки являются основным инструментом для кислородной резки и отличаются от горелок для сварки наличием дополнительной системы каналов и трубок, по которым к головке резака подводится «режущий» кислород.

Для управления подачей и выключением струи режущего кислорода на резаках имеется дополнительный вентиль или рычажный клапан.

Резаки для кислородно-флюсовой резки имеют дополнительные узлы, обеспечивающие подачу в рез смеси кислорода с флюсом.

Каждый резак снабжается комплектом сменных мундштуков для резки изделий разной толщины (при разделительной резке) или получения канавок различной ширины и глубины (при поверхностной резке).

Кроме того, ручные резаки снабжаются в большинстве случаев опорными тележками и циркульными устройствами для круговых резов, а машинные —

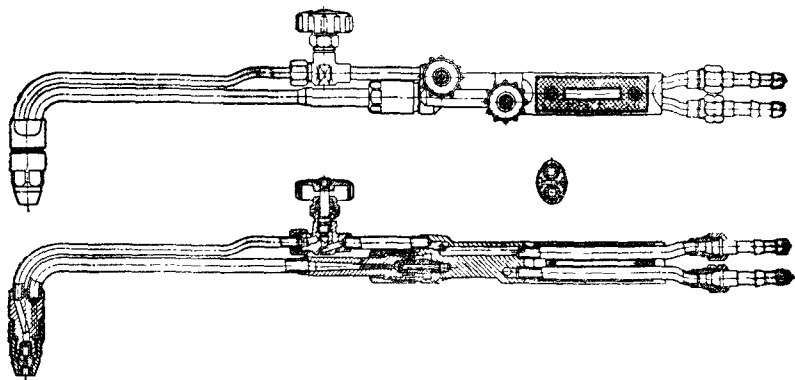
направляющей трубкой (кожухом) и рейкой, предназначенными для закрепления резака в суппорте машины и вертикального перемещения его в суппорте (в отдельных конструкциях).

Машинные резаки, работающие в условиях сильного нагрева, имеют водяную охлаждающую систему с непрерывной циркуляцией воды.

В качестве горючего для подогревающего пламени применяются ацетилен или другие углеводороды и их смеси.

Резаки также могут быть инжекторными и безинжекторными.

Мундштуки резаков, работающих на ацетилене, изготавливаются, как правило, из меди. При работе на горючих, температура пламени которых ниже, чем у ацетилено-кислородного, могут применяться мундштуки из латуни (напри-



Фиг. 32. Ручной универсальный резак «Пламя».

мер. для бензорезов и керосинорезов). При использовании в качестве горючего неочищенных промышленных газов (кокосый, пиролизный), содержащих сернистые соединения, мундштуки изготавливаются из чугуна или латуни во избежание разъедания каналов, по которым проходит горючая смесь.

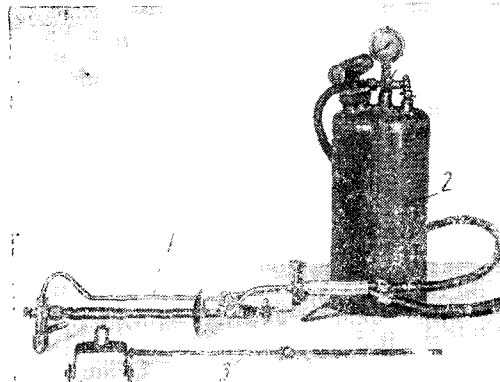
По конструкции мундштуков различают резаки с раздельными, последовательно расположенными соплами подогревающего пламени и режущей струи (применяются иногда для примолинейной резки и для резки малых толщин) и резаки с концентрическим расположением подогревающего пламени по отношению к режущей струе (с шелевыми и многосопловыми мундштуками). При поверхностной резке применяются сопла с некруглым выходным сечением ка-мала режущего кислорода.

По назначению различают универсальные резаки для разделительной резки, резаки для поверхностной резки и специальные резаки для срезки заклепок, вырезки отверстий малого диаметра, вырезки труб из трубных решеток, разделительной резки стали ограниченного интервала толщин и др.

Универсальные резаки (фиг. 32) предназначены для резки стали толщиной 5—300 мм, специальные — для более узких пределов. Существуют резаки для резки стали малых толщин (до 5—6 мм) и больших толщин (свыше 200—300 мм), отличающиеся от указанных, в основном, конструкцией и размерами мундштуков.

В резаках, работающих на жидких горючих (керосинорезах, бензорезах), горючее подается из специального бачка с ручным насосом (фиг. 33) или под давлением сжатого воздуха (фиг. 34).

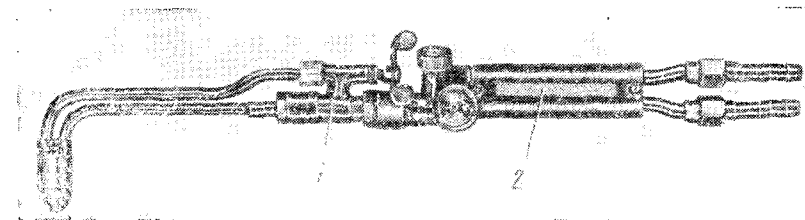
Специальные ручные резаки выпускаются иногда в виде приставок к стволам сварочных горелок (фиг. 35).



Фиг. 33. Комплект аппаратуры для ручной резки на жидком горючем: 1 — ручной резак с сопловым испарителем К-51; 2 — бачок для жидкого горючего с ручным насосом; 3 — опорная тележка с неповоротным циркуляционным устройством.



Фиг. 34. Бачок для жидкого горючего, питаемый сжатим воздухом от сети: 1 — корпус бачка; 2 — регулятор давления воздуха; 3 — клапан, прекращающий выход горючего из бачка при срыве шланга; 4 — предохранительный клапан против повышения давления в бачке; 5 — обратный клапан воздуха; 6 — запорный вентиль.



Фиг. 35. Вставной ручной резак: 1 — резак-приставка РГС; 2 — ствол сварочной горелки ГС.

6. Резаки для ручной разделительной

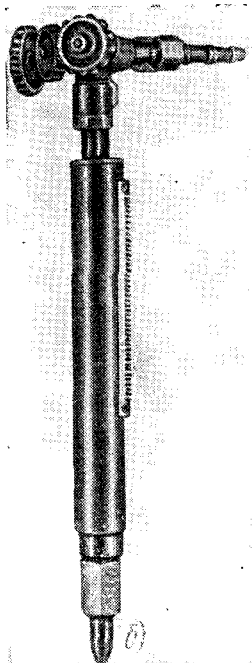
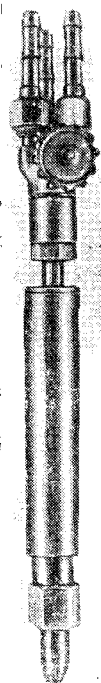
Тип резака	Назначение и конструктивные особенности	Горючее	Количество вен-тилей	Количество план-говых ниппелей	Пуск режущего кислорода	Количество мундштуков	
						внутрен-них	наруж-ных
РР-53	Разделительная резка	Ацетилен	2	2	Маховичком	5	2
РЗР-01-55		Газы-заменители					
К-51		Керосин, бензин	4			4	
РГС-53	Разделительная резка. Вставной к горелке ГС-53	Ацетилен	1	2	Рычажком	2	1
РГМ-53	Разделительная резка. Вставной к горелке ГСМ-53					1	
РАЗ-01-55	Срезка заклепок. Вставной к горелке ГС-53					—	
РАО-01-55	Вырезка малых отверстий. Вставной к горелке ГС					1	
РАТ-01-55	Вырезка труб изнутри. Вставной к горелке ГС		—				
РАП-01-55	Вырезка канавок, корней сварных швов и дефектов швов		3	Маховичком	—	2	
РПА-50	Огневая зачистка слитков и проката, удаление единичных дефектов	Железнодорожный газ	2	2	Рычажком	—	3
РПК-50							
РКФ-3	Разделительная кислородно-флюсовая резка	Ацетилен	3	3	Маховичком	2	1
РАФ-1-59			4	3		4	2
РР-600	Разделительная резка стали больших толщин кислородом низкого давления		3	3		2	1

* Без ствола.

и поверхностной кислородной резки

Угол между осью мундштука и осью ствола	Пределы разрезаемой толщины в мм	Давление газов в атм		Наибольший расход в м ³ /час		Длина в мм	Вес в кг
		кислорода (не более)	горючего	кислорода	горючего		
90	5—300	14	≤0,01	42	1,2	520	1,1 (без циркуля)
		8	—		3,8	550	1,1
	5—200	11	До 3,0	33	(1,3 кг/час)	585	1,9
	5—50	7	—	8,5	0,6	260 *	0,50 *
	5—30	6	—	5,2	0,55	255 * 258 *	0,47 *
120	Диаметр заклепки 8—37	8	—	7,0	0,7	370 * 360 *	0,60 *
0	Диаметр отверстий 25—70, толщина листов до 50		—	7,5	0,9	290 *	
90	3—15	5	—	4,0	0,5		0,50 *
105	Ширина канавок 7—16, глубина 2—10	6	≤0,5	20	1,2	700	1,2
	Ширина канавок 15—50, глубина 2—20	10	≤0,03 ≤0,005	75	1,0 5,0	1200	2,8
90	Для высокохромистых сталей 10—100	9	≤0,03	13,0	0,9	760	2,9
		10	≤0,03	25	1,1	585	3,0
	300—700	2	≥0,1	97	3,8	900	3,8

Машинные резаки, изготавливаемые обычно прямоствольными (фиг. 36, а и б), различаются по числу вентиля на корпусе (до трех), числу шлангов для подвода газов (два или три), по расположению шланговых ниппелей (вертикальное или горизонтальное), длине ствола, по наличию рейки, водяного охлаждения и др.



Фиг. 36. Машинные резаки для работы на ацетилене: а — одновентильный трехшланговый резак; б — резак машины АСП.



Фиг. 37. Машинный резак с угловой головкой РК-1-38 для работы на керосине.

В отличие от ручного резака К-51, машинные резаки, работающие на жидком горючем (фиг. 37), не имеют оплеточного испарителя и вспомогательного подогревателя; жидкое горючее распыляется кислородом и затем испаряется в мундштуке, разогретом отраженным теплом. Мундштук изготовлен из красной меди.

Машины для кислородной резки

Различают машины для кислородной резки общепромышленного и специального назначения.

По ГОСТу 5614-58 машины общепромышленного назначения, применяемые для разделительной резки листовых сталей, делятся на две основные группы: стационарные и переносные.

Стационарные машины в зависимости от кинематики несущих частей подразделяются на линейные (МРЛ), прямоугольно-координатные (МРК), полярно-координатные (шарнирные, МРШ) и параллелограммные (МРП).

Из стационарных универсальными являются машины типа МРК. Они пригодны для одно- и многорезаковой автоматической заготовительной резки и подготовки кромок под сварку. Размеры обрабатываемых листов (деталей) по длине практически не ограничены. Точность исполнения размеров — не ниже 8-го класса по ОСТу 1010 и ГОСТу 2689-54.

Машины типа МРШ предназначены для вырезки машиностроительных деталей относительно небольших размеров с точностью не ниже 7-го класса. Машины этого типа производят автоматическую однорезаковую вырезку без скоса кромок.

Машины типа МРП используются для одновременной вырезки нескольких одинаковых фигурных деталей небольших размеров или для вырезки нескольких одинаковых по форме и размерам отверстий в больших листах. Машины имеют наибольшие перспективы применения в массовом и крупносерийном производстве для резки однотипных деталей с точностью не ниже 9-го класса.

Характерной особенностью конструкций стационарных машин типа МРК является возможность использования различных способов копирования: магнитного, фотоэлектронного и механического.

В машинах, предназначенных для вырезки крупногабаритных деталей (например, в машинах МДМ) предусмотрена система фотоэлектронного масштабного копирования, значительно удешевляющая и упрощающая копирное хозяйство, широко используется принцип электромагнитного крепления копиров, обеспечивающий быстроту и удобство их перестановки. Некоторые многорезаковые машины (МДМ, СГУ, М-10) имеют дистанционное электромагнитное управление подачи и выключением газов.

В большинстве отраслей промышленности значительную часть общего объема работ по резке составляет вырезка дисков и круглых фланцев. Существенная экономия достигается при выполнении этих работ на машинах, имеющих механические головки с циркульными приспособлениями (СГУ, СГВ). В этом случае не требуется изготовления копиров. Необходимый диаметр окружности быстро устанавливается по шкале на штанге приспособления.

Переносные машины (МРТ) предназначены, в основном, для вертикальной прямолинейной резки и подготовки кромок (со скосом) под сварку. Фигурная вырезка производится, в основном, по окружности с помощью специального циркульного приспособления. При плавных кривых возможна резка по разметке на разрезаемом листе при направлении прибора вручную или вдоль копирной линейки.

В табл. 8 приведены технические характеристики различных типов газорезательных машин общепромышленного назначения конструкции ВНИИАвтоген, выпускаемых промышленностью серийно.

Некоторое количество машин класса МРК (18РА) и МРТ (2РА), а также однорезаковых машин с фотоэлектронным управлением (МДФКС) выпускает для собственных нужд судостроительная промышленность.

Портальная машина ПР-3,5М для раскрой листов. Машина ПР-3,5М предназначена для выполнения следующих технологических операций:

прямоугольный раскрой листов (без скоса кромок под сварку) толщиной 5—200 мм;

прямоугольный раскрой с одновременной одно- или двухсторонней подготовкой под сварку обеих продольных кромок листов толщиной 5—100 мм;

одновременная вырезка из листа полос шириной до 500 мм каждая. Машина может быть применена для резки стальных листов шириной до 3,5 м и длиной до 12 м.

Машина (фиг. 38) представляет собой портальную тележку, перемещающуюся по прямолинейным направляющим с помощью электродвигателя. Направляющими служат обычные железнодорожные рельсы, укрепляемые на сварных тумбах. На тележке укреплена поперечная балка, на которой подвешиваются два трехрезаковых блока или два однорезаковых суппорта с резаками.

Машина оснащена двумя регулирующими электродвигателями для продольного и поперечного перемещения резаков. Число оборотов двигателя регулируется рукояткой, находящейся на главном пульте. Включение, оста

Типо- размер машин	Марка (модель)	Кинематическая схема машин	Наибольшая ширина обра- батываемого листа в мм	Число резаков	Предельная толщина обра- батываемого листа в мм		Скорость перемещения резаков в мм/мин	
					при полном числе реза- ков	при одном резаке	наименьшая	наибольшая
МРЛ-3	ПР-3,5М	Линейная	3500	1—6	5—200	5—300	25	1850
МРК-1	СГВ-1-59	Прямоугольно- координатная	1000	1	—	300	40	1200
			1500	1—3	5—100	5—300	70	700
			2000	1—4	3—100	3—300	50	1500
			2500	1—6	5—100	5—300		1800
МРШ-1	АСШ-2	Полярно-коорди- натная (шарнирная)	1000	1	—	5—100	100	650
МРП-1	М-10-1	Параллелограммная		1—10	5—50		200	700
МРТ-1	ППК			1	—	5—50	240	500
МРТ-2	ПП-1 ПП-2 ППВ-1 ППВ-2	Тележка	Не ограни- чена	1—2	5—100	5—250	70	1500
				1	—			
				1—2	5—100			
				1—2	5—100			

Продолжение табл. 3

Гипо- размер машины	Марка (модель)	Рабочее давление в атм		Наибольший расход на 1 разак в м ³ /час		Система копирования	Привод машины	
		кислорода (не более)	азетилена (не менее)	кислорода	азетилена		Род питающего тока и напряжение в в	Потребля- емая мощ- ность в ватт
МРЛ-3	ПР-3,5М	12	0,2			Прямолинейная рез- ка без копиров	Переменный 3 × 220	0,7
МРК-1	СГВ-1-5у	—	—				Переменный	—
МРК-2	АСП-1М *	15	0,1	30	1,0	Магнитная, механи- ческая и фотокопи- рование	Постоянный 110	0,2
	СГУ-1-58	10					Переменный 3 × 380 или 3 × 220	0,5
МРК-3	МДМ-2	12	0,2			Фотокопирование по чертежу-копир	Переменный 1 × 220	3,5
МРЛ-4	АСШ-2	10	0,1	14	0,7	Магнитная	Переменный 110—127	0,15
МРП-1	М-10-1						Переменный 3 × 220	0,3
МРТ-1	ППК	2,5—4,5		5,0	0,45	По направляющей, от руки	Технологическим кислородом	—
МРТ-2	ПП-1	До 10	≥ 0,1	13	0,7	По направляющей	Переменный - 110—127	0,05
	ПП-2							
	ППВ-1							
	ППВ-2						Сжатым воздухом до 4 атм	(до 4,5 м ³ /час)

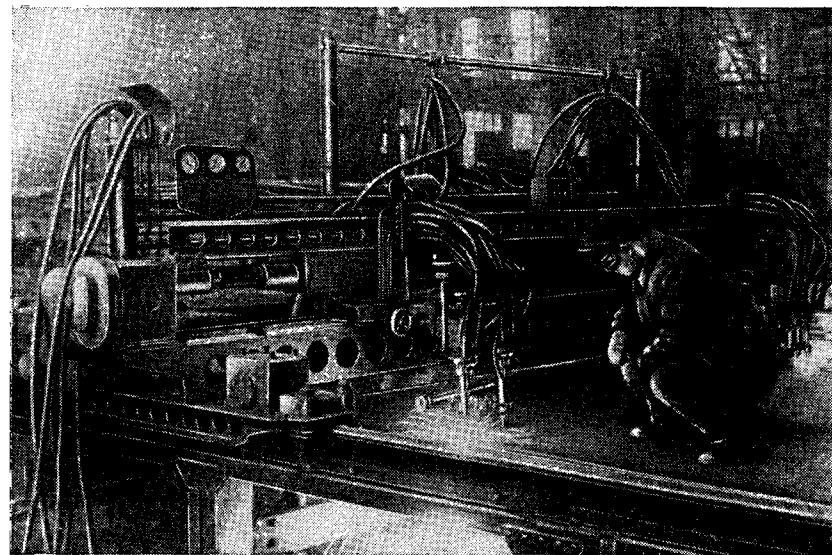
Типо-размер машины	Марка (модель)	Габаритные размеры машины в мм			Вес холостой части машины в кг (без рельсового пути и стола для укладки копиров)	Основное назначение машины
		длина	ширина	высота		
МРЛ-3	ПР-3,5М	18 000 при длине листов до 16 000	5450	2250	1550	Раскрой листов на полосы. Вырезка прямоугольных деталей, в том числе со скосом кромок
МРК-1	СГВ-1-59	2000	1700	1100	170	Вырезка деталей и заготовок при ремонтных и монтажных работах
МРК-2	АСП-1М *	≥ 4000	5800	1600	310	Резка деталей и заготовок различных очертаний
	СГУ-1-58	≥ 7630	4830	2000	365	
МРК-3	МДМ-2	2500	1700	2000	630 (полный вес)	Точная вырезка машиностроительных деталей
		До 15 000	4000	2000	1170	
МРШ-1	АСШ-2	1415	1500	1980	290	Многорезаковая вырезка деталей небольших размеров
МРП-1	М-10-1	2500	6000		1480	
МРТ-1	ППК	380	290	200	12	Заготовительная резка. Обрезка кромок под сварку
МРТ-2	ПП-1	470	600	300 (без пилангов)	21	
	ПП-2		700		25	
	ППВ-1		600		20	
	ППВ-2		700		24	

Примечание. ГОСТ 5614-58 охватывает и другие типы машин, но в настоящее время они серийно не выпускаются. К их числу относятся машины ПР-2,5 (типа МРЛ-2), АПС-1 (тип МРШ-1) и др.

новка и реверсирование двигателей производятся нажатием соответствующих кнопок на главном пульте или на вспомогательных пультах, расположенных на каждом суппорте. На пультах же установлены тумблеры для включения электромагнитных клапанов, перекрывающих подачу газов в резаки.

Одновременно могут работать 1—6 резаков. Как однорезаковые суппорты, так и трехрезаковые блоки снабжены роликовой опорой плавания, что позволяет производить резку недостаточно выправленных листов.

Машина ПР-3,5М имеет весьма широкий диапазон скоростей, позволяющий при соответствующем дополнительном оснащении выполнять как скоростную,



Фиг. 38. Машина ПР-3,5М для одновременной обрезки листов по обжим продольным бромкам.

так и кислородно-флюсовую резку. Регулирование скоростей производится сменной цилиндрических шестерен. Скорость маршевого хода машины (20 м/мин) позволяет быстро переводить ее с одной позиции на другую (при вспомогательных перемещениях).

Возможен также свободный ход тележки портала и каретки поперечного трехрезакового блока.

Машина МДМ-2. Шестирезаковая газорезательная дистанционно-масштабная машина МДМ-2 (фиг. 39) представляет собой агрегат, состоящий из двух отдельных машин, одна из которых является копировальной или задающей, другая — исполнительная, режущей машиной.

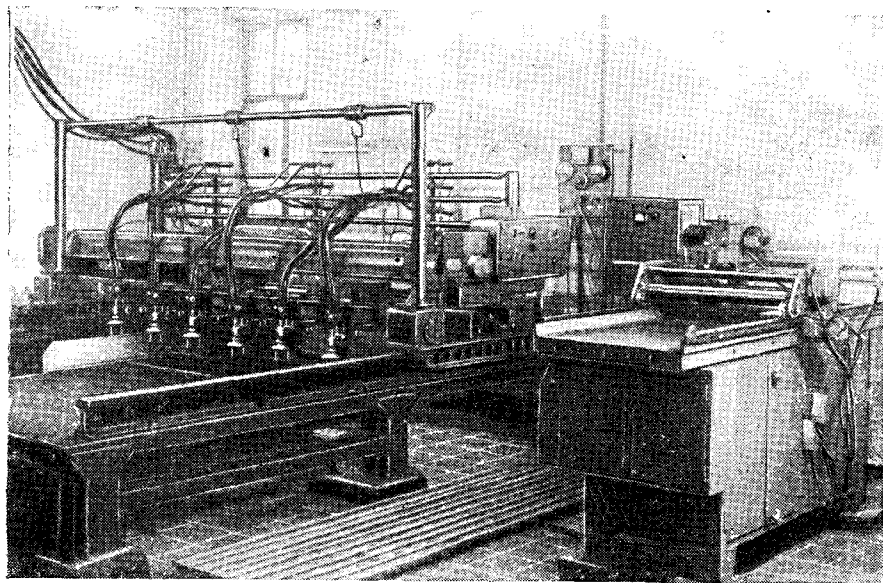
Машины могут быть установлены на расстоянии до 50 м друг от друга.

Взаимодействие между копировальной и исполнительной машинами осуществляется посредством электрической системы синхронно-синфазной связи.

Конструкция машины предусматривает два способа копирования: автоматическое масштабное по металлическому копиру с применением магнитного копировального механизма и фотоэлектронное копирование по чертежу-копиру.

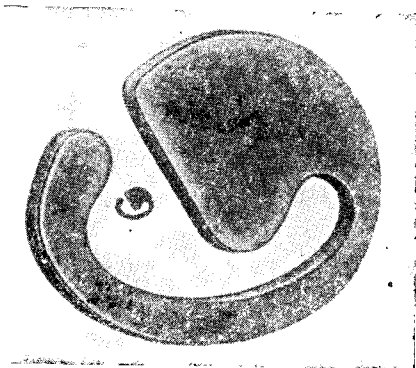
Отличительной особенностью машины является автоматическая вырезка деталей в масштабе 5 : 1 или 10 : 1 по отношению к размерам копира при дистанционном управлении процессом копирования.

Принцип масштабного копирования позволяет производить резку крупногабаритных деталей, пользуясь дешевыми копиями небольших размеров. Благодаря этому резко уменьшается производственная площадь, а также сокращается стоимость изготовления, хранения и транспортирования копиров.



Фиг. 39. Машина МДМ-2 с масштабным дистанционным фотоэлектронным копированием заданного контура.

На фиг. 40 показана деталь, вырезанная на машине МДМ-2 по чертежу-копиру в масштабе 10 : 1, в сопоставлении с самим чертежом-копиром.



Фиг. 40. Деталь, вырезанная на машине МДМ-2 в масштабе 10 : 1, в сопоставлении с чертежом-копиром.

Система дистанционного копирования позволяет размещать наиболее чувствительное оборудование (электронно-ионную часть следящего привода) в отдельном помещении, вдали от места, где производится резка, что повышает надежность и качество работы всего агрегата.

На машине МДМ-2 можно производить следующие операции:

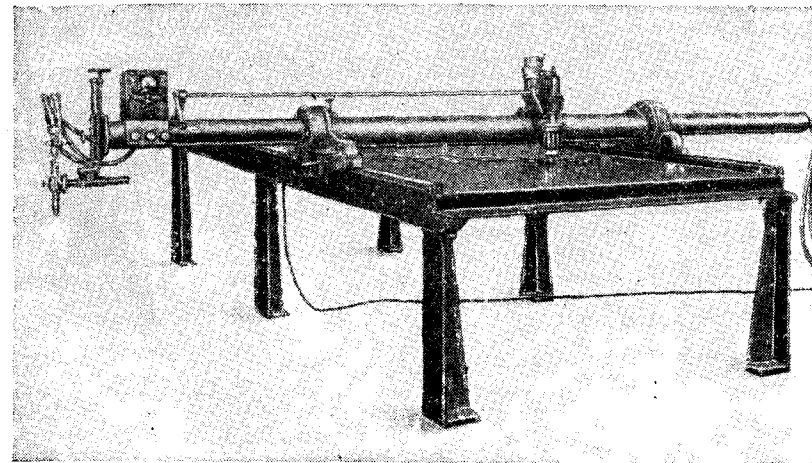
- 1) фигурную вырезку деталей из листовой стали (без скоса кромок);
- 2) подготовку прямолинейных кромок деталей толщиной 10—100 мм под сварку с одно- или двухсторонней разделкой; одновременно могут выполняться два или три параллельных реза;
- 3) прямолинейную обрезку кромок (раскрой листов) без копира.

Широкий диапазон скоростей машины МДМ-2 позволяет также при

соответствующем ее оснащении производить скоростную и кислородно-флюсовую резку.

Машина АСП-1М. Машина АСП-1М (фиг. 41) типа МРК-2 может быть использована для вырезки фигурных деталей, подготовки кромок под сварку, вырезки полос и раскрой стальных листов.

Конструкция машины позволяет вырезать детали по металлическому копиру при помощи магнитно-копировальной головки или по разметке на раз-



Фиг. 41. Машина АСП-1М с магнитной копировальной головкой.

резаемом листе стали при помощи механической головки с ручным управлением.

По копиру или разметке могут производиться как прямолинейные, так и криволинейные резы. Машина может быть оснащена:

однорезаковым суппортом для вырезки фигурных деталей, прямолинейных резов при вертикальном расположении резака или под углом до 40° в обе стороны от вертикали;

суппортом-блоком для односторонней (двумя резаками) и двухсторонней (тремя резаками) разделки кромок под сварку;

штабным суппортом для многорезаковой (до трех резаков) вырезки деталей одинакового контура по одному копиру и для резки полос.

В основной комплект машины входит магнитная головка для резки по металлическому копиру, суппорт на один резак и станина, рассчитанная на максимальную длину реза 3000 мм. Остальная оснастка, в том числе и дополнительные станины для обработки листов длиной свыше 3000 мм, поставляется по отдельным заказам.

При резке по разметке на место магнитной головки устанавливается механическая копировальная головка с ручным приводом.

Машина СГУ-1-58. Машина СГУ-1-58 (фиг. 42) по назначению аналогична машине АСП-1М, но обладает по сравнению с ней некоторыми преимуществами (большая ширина обрабатываемых листов, меньшая производственная площадь, повышенная скорость резки, возможность резки одновременно четырьмя резаками и т. п.).

Конструкцией машины предусмотрена вырезка деталей с применением различных способов копирования:

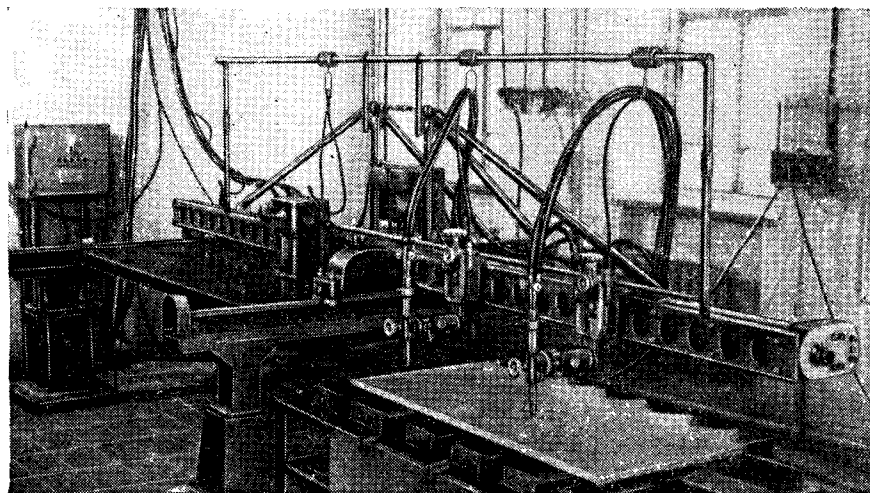
по копиру при помощи магнитной копировальной головки;

по чертежу при помощи фотокопировальной головки;
по разметке на листе или по чертежу при помощи механической головки;
по циркулю с помощью механической головки (при вырезке дисков и фланцев).

Основные технологические операции, выполняемые машиной:
вырезка фигурных деталей одним или двумя резаками с автоматическим копированием по стальному копиру (толщина копира 8—10 мм, диаметр копирующего пальца 12—14 мм);

прямолинейная резка листов с односторонним скосом кромок с четырех сторон листа. При толщине разрезаемого листа до 100 мм угол скоса составляет 15—45°;

прямолинейный раскрой листов одним-четырьмя резаками;



Фиг. 42. Машина CGY-1-58 с магнитной копировальной головкой.

фигурная вырезка деталей с ручным копированием по чертежу при помощи механической головки;

вырезка окружностей диаметром 240—2000 мм без применения копира с помощью циркульного устройства на механической головке.

К машинам типа МРК относится также и машина СГВ-1-59, рассчитанная на обработку листов шириной до 1 м (МРК-1).

Она предназначена для механизированной резки в условиях монтажных и ремонтных работ; легко разбирается, транспортируется и собирается на новом месте работы; может выполнять резку по магнитному копиру, по разметке на листе и по чертежу с помощью механической головки, а также вырезать диски и фланцы с помощью циркульного приспособления к механической головке.

Машина АСП-2. Машина АСП-2 (фиг. 43) предназначена для вырезки стальных деталей различной конфигурации.

Машина допускает выполнение вертикальных резов одним резаком. Резка выполняется по металлическим копиям с помощью магнитной копировальной головки. При правильно разработанном технологическом процессе погрешности копирования не превышает 0,3—0,5 мм. Поэтому машина особенно пригодна для вырезки всевозможных фигурных деталей (фланцы, косынки, звездочки крупномодульные шестерни и т. п.), требующих повышенной точности обра-

ботки и чистоты поверхности с целью исключения последующей механической обработки. Машина может быть использована также для резки заготовок в небольших сериях с целью замены штамповки иликовки.

Машина М-10-1. Машина М-10-1 (фиг. 44) соответствует типоразмеру МРП-1 по ГОСТу 5614-58. Она предназначена для многорезаковой вырезки фигурных деталей из листовой стали (без скоса кромок).

Наибольшее количество резаков, устанавливаемых на машине, 10.

Машина снабжена магнитно-копировальным механизмом. Магнитный палец копировальной головки обкатывает металлический копи, расположенный на специальном столе рядом с машиной. Скорость перемещения резаков плавно регулируется.

Машина может быть использована с наибольшим экономическим эффектом для одновременной вырезки нескольких однотипных деталей в крупносерийном или массовом производстве, например, фланцев, звездочек, кулачков и других изделий.

При этом время изготовления одной детали заметно сокращается.

Переносные машины ПП-1 и ПП-2. Машины типа ПП выпускаются в двух комплектках: односторонней ПП-1 (фиг. 45) и двухрезаковой ПП-2 (фиг. 46). Машина ПП-2 отличается от ПП-1 наличием второго резака и устройства для его крепления, а также газовой распределительной коробки.

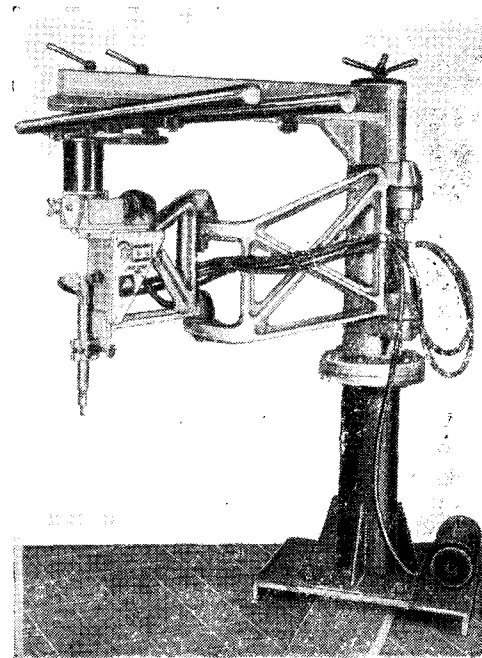
Машина ПП-1 предназначена для резки по прямой и по окружности (с помощью циркульного приспособления), а также для резки по разметке при ручном управлении. С помощью машины можно выполнять вертикальные резы и наклонные под углом до 40°. Машина ПП-2 может производить также подготовку кромок под сварку с односторонним скосом и резку узких полос одновременно двумя резаками.

Обе машины передвигаются непосредственно по разрезаемому листу. При выполнении прямолинейных резов или резов с радиусом кривизны не менее 1000 мм машины перемещаются по гибкому прямолинейному рельсу или вдоль направляющего копира. Скорость передвижения плавно регулируется реостатом в пределах 70—1500 мм/мин. Это позволяет использовать машины для скоростной прямолинейной и кислородно-флюсовой резки.

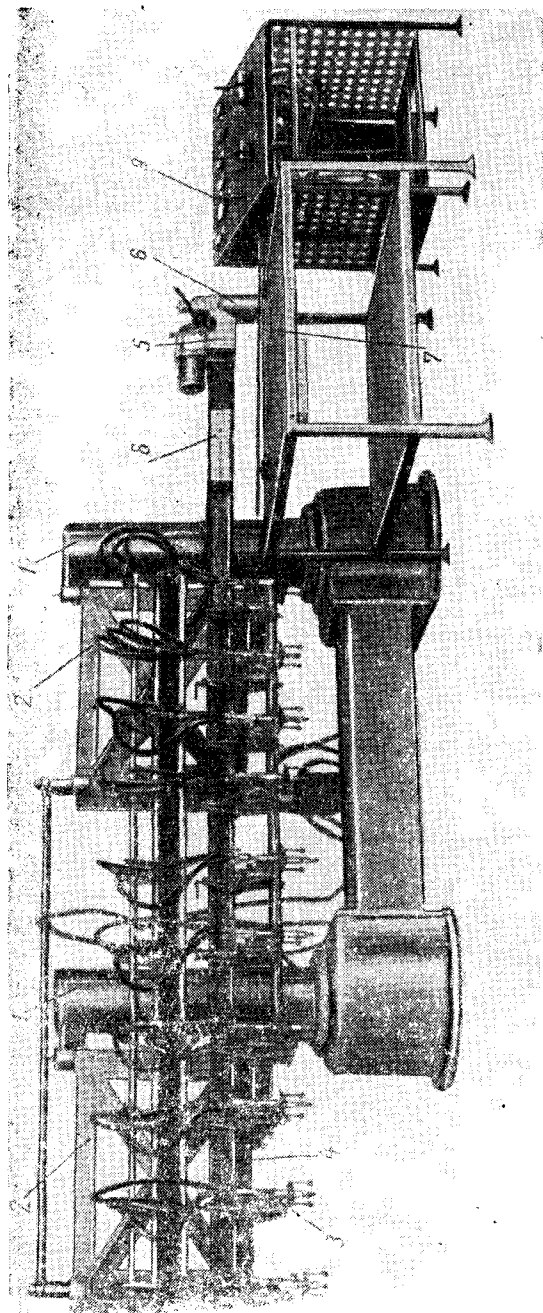
Основная область применения машин — раскрой листового материала в заготовительных цехах и на строительных площадках, вырезка заготовок и простых деталей без последующей механической обработки (косынки, планки и т. п.).

Машины ПП выпускаются как с электрическим, так и с воздушным турбинным двигателем, работающим от сети сжатого воздуха давлением 4—5 атм [модели ППВ-1 (фиг. 47) и ППВ-2].

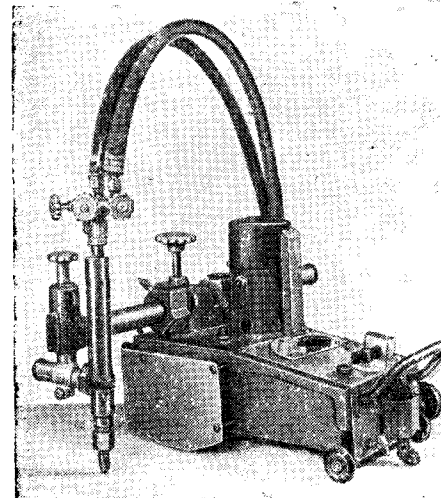
В машинах с электрическим двигателем регулирование скорости производится реостатом, в машинах с воздушным двигателем — центробежным регулятором.



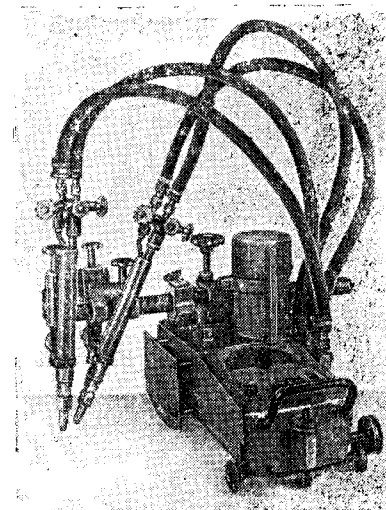
Фиг. 43. Машина АСП-2



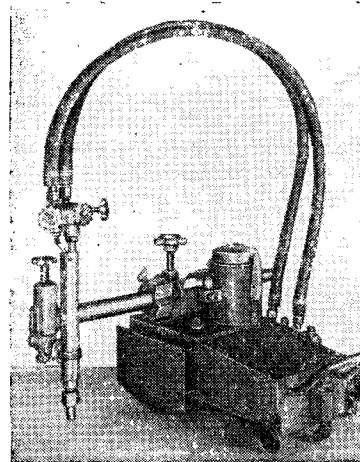
Фиг. 44. Машина М-10-4: 1 — колонны станины; 2 — парниковые рамы; 3 — суппорты с резаками; 4 — трансверс; 5 — вентиль механизма; 6 — магнитная головка; 7 — стол для копиров; 8 — панель управления электромагнитными клапанами для дистанционного управления подачи газов; 9 — пульт управления.



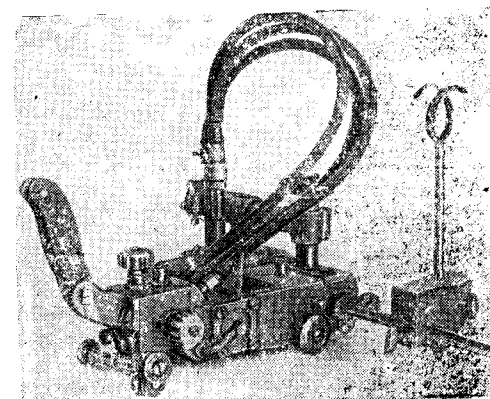
Фиг. 45. Переносная машина ПП-1.



Фиг. 46. Переносная машина ПП-2.



Фиг. 47. Переносная машина ППИВ-1 с воздушным приводом.



Фиг. 48. Переносная машина ППК с кислородным приводом.

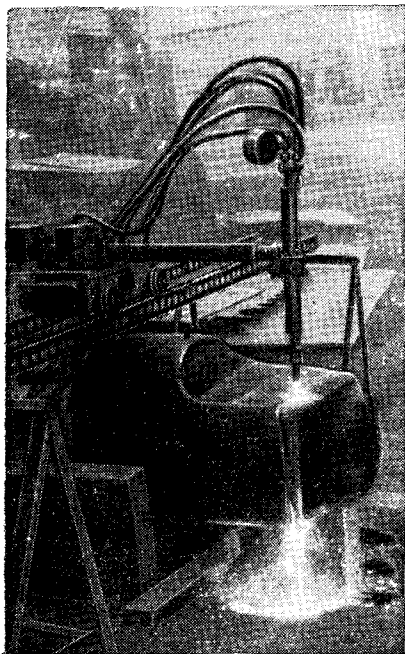
Для резки стали толщиной 5—50 мм разработана легкая переносная машина ППК (фиг. 48), приводимая в движение энергией перепада давления кислорода, поступающего в режущую струю резака.

Специализированное оборудование для кислородной резки

Машина ПМР-600 для механизированной кислородной резки стали больших толщин. Машина ПМР-600 (фиг. 49) состоит из универсальной ходовой тележки УХТ-52, штанги, резака РМ-600 или РМЗ-600 и рельса.

В процессе работы тележка передвигается по корытообразному прямолинейному рельсовому пути длиной 3 м. В случае необходимости она может перемещаться по гибкому прямолинейному рельсу, а также непосредственно по поверхности разрезаемого металла.

Конструкция штанги, на которой закреплен резак, позволяет устанавливать его на линию реза и во время работы поворачивать в плоскости реза. Наибольший вылет резака 800 мм, что позволяет производить резку горячего металла.



Фиг. 49. Переносная машина ПМР-600 для резки стали больших толщин.

Резак РМ-600 инжекторного типа. В качестве горючего для подогревающего пламени используется ацетилен среднего давления ($\geq 0,1$ атм). Расход ацетилена не превышает $3,3 \text{ м}^3/\text{час}$. Отличительной особенностью резака РМ-600 является строгая соосность трубки режущего кислорода, канала головки и сопла мундштука, а также большие внутренние проходы, вследствие чего резка производится при давлении режущего кислорода, не превышающем 2 атм (для металла толщиной до 600 мм). Сместительная камера и головка резака имеют водяное охлаждение, чем обеспечивается длительная устойчивость резака в работе.

Питание резака кислородом можно производить как от баллонов, так и от распределительного трубопровода. Штанга резак и контргрузы легко снимаются с тележки и быстро устанавливаются на место, что позволяет производить переноску машины в разобранном виде.

При помощи машины можно производить прямолинейную резку слитков и заготовок с плоскими и фигурными поверхностями.

Резак РМЗ-600 рассчитан на использование в качестве горючего газов-заменителей ацетилена и позволяет резать металл толщиной до 800 мм.

Машина ТР-2 для кислородной обрезки труб. Переносная машина ТР-2 с ручным приводом (фиг. 50) предназначена для обрезки труб диаметром 200—350 мм. Обрезка может производиться под прямым углом или со скосом кромок под сварку.

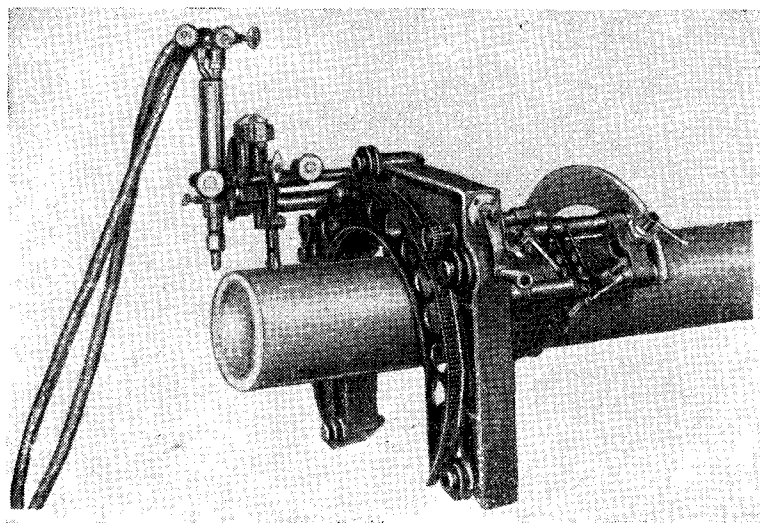
Машина устанавливается в любом месте неподвижно закрепленной трубы (без протаскивания ее вдоль трубы).

Основными частями машины являются: корпус, на раме которого между направляющими роликами перемещается зубчатое колесо с вырезом; ручной привод; каретка с «плавающим» суппортом; регулирующие упоры, при помощи которых машина центрируется на трубе; цепь с зажимами и резак.

В однопилной машине ТР-1 суппорт с резакон перемещается по штанге вдоль оси трубы при помощи натяжного приспособления.

Это позволяет при установке на машину копиров (конфигурация которых определяется расчетом) обрезать трубы под углом к оси до 45° , а также обрезать торцы под приварку к трубам большего диаметра.

Головка для вырезки фланцев. Головка (фиг. 51) предназначена для вырезки фланцев из листового металла толщиной 5—100 мм. Вырезка фланца производится за один проход двумя резаками. В зависимости от условий работы головка



Фиг. 50. Переносная машина ТР-2 с ручным приводом для обрезки труб.

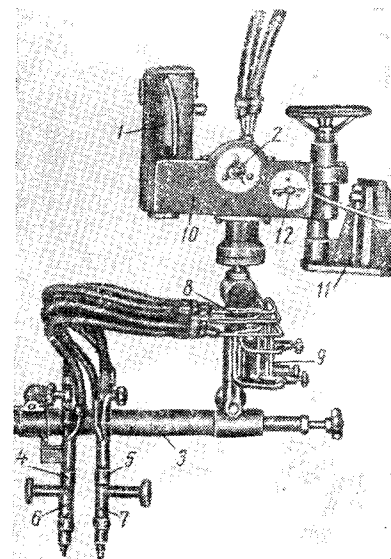
может крепиться на кронштейнах, консолях и порталных опорных устройствах, а также на стойках, опирающихся непосредственно на разрезаемый лист. Привод — от электродвигателя мощностью 22 Вт, работающего от сети переменного тока напряжением 110 В.

Скорость вращения резаковой штанги регулируется реостатом и перестановкой сменных шестерен.

Управление головкой производится с пульта, на который выведены ручки реостата и пакетного переключателя, включающего, отключающего и реверсирующего двигатель.

Применение головки повышает производительность вырезки фланцев по сравнению с обычной однорезаковой машинной резкой и исключает изготовление копиров.

Машина МРВП-1 для кислородной резки в вертикальной плоскости. Машина МРВП-1 (фиг. 52) предназначена для ацетилено-кислородной вырезки отверстий в стальных листах толщиной 5—60 мм, расположенных в вертикальной, наклонной и горизонтальной плоскостях. Машина может быть использована также для вырезки фланцев и дисков. Диаметр вырезаемых отверстий 70—600 мм.

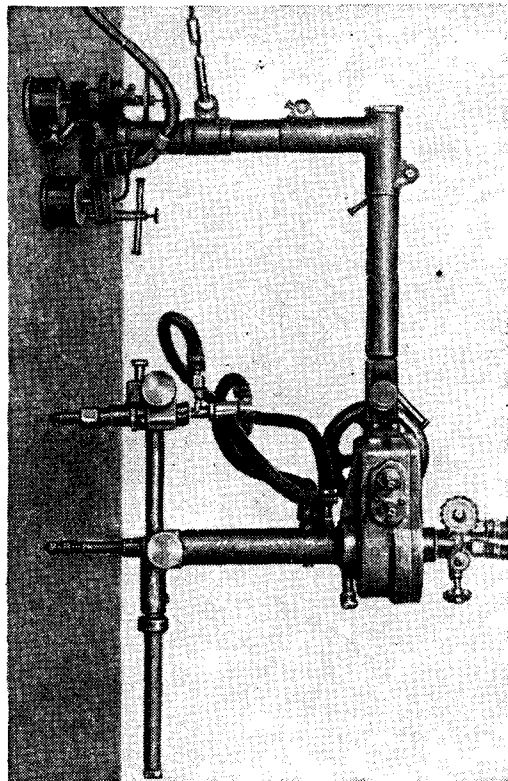


Фиг. 51. Головка для вырезки фланцев: 1 — электродвигатель; 2 — ручка реостата; 3 — резаковая штанга; 4 и 5 — суппорты; 6 и 7 — резаки; 8 — газовая коммуникация; 9 — газораспределительная коробка; 10 — пульт управления; 11 — узел крепления и подъема головки; 12 — ручка пакетного переключателя.

Основная стойка машины закрепляется на обрабатываемом листе при помощи трех электромагнитных присосов, питающихся от сети переменного тока напряжением 120—220 в через селеновый выпрямитель типа ВСА-10.

При вырезке отверстий у края листа машина закрепляется тисочными зажимами.

Вторая стойка, представляющая собой ось циркуля с регулируемым по высоте центром, приводится во вращение от ручного привода через редуктор.



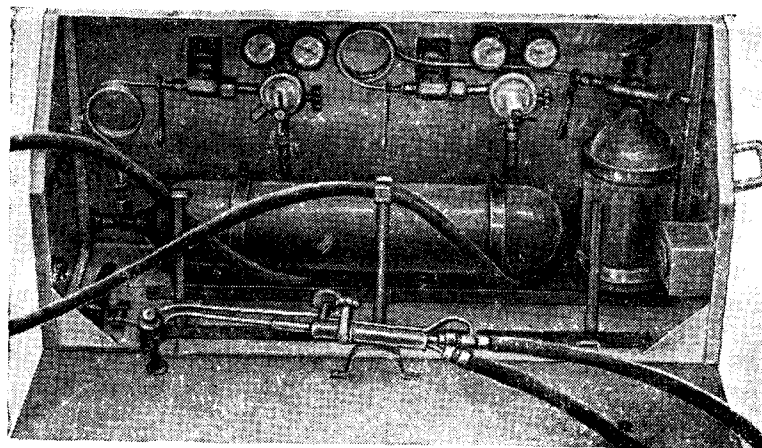
Фиг. 52. Машина МРВП-1 для резки на вертикальной плоскости.

Переносные установки ПУРС и РУ. При аварийных работах, монтаже зданий, на пожаре и тому подобных операциях пользоваться обычными баллонами (весом 70—90 кг каждый) как источниками питания газом не представляется возможным.

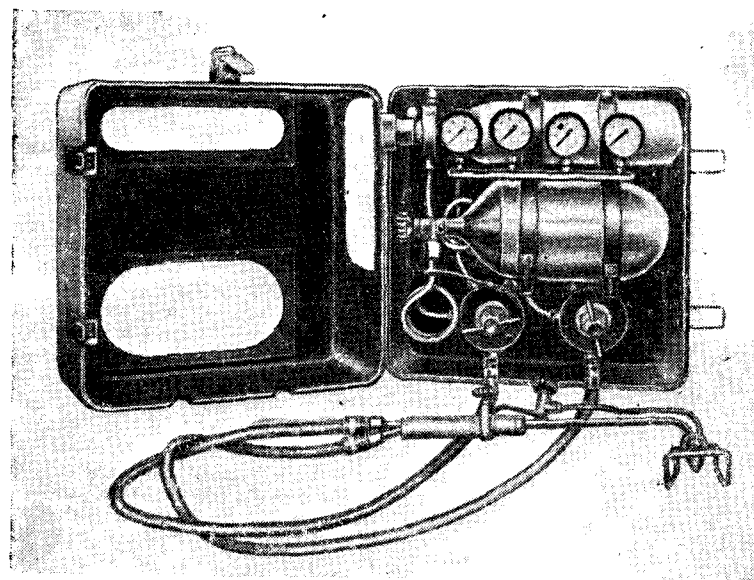
В таких случаях для кратковременных работ могут быть использованы специальные установки ПУРС (переносная установка для резки стали) и РУ (ранцевая установка), в которых в качестве источников питания газами служат малолитражные баллоны. Наибольшая длина реза при толщине листа 12 мм составляет для установки ПУРС 5 м, для установки РУ 2 м.

Внешний вид установок показан на фиг. 53 и 54.

Установки сконструированы в легких ящиках, которые могут переноситься: ПУРС — двумя рабочими за ручки на ящике, РУ — одним человеком за плечами на лямках.



Фиг. 53. Переносная установка ПУРС для резки.



Фиг. 54. Ранцевая установка РУ для резки.

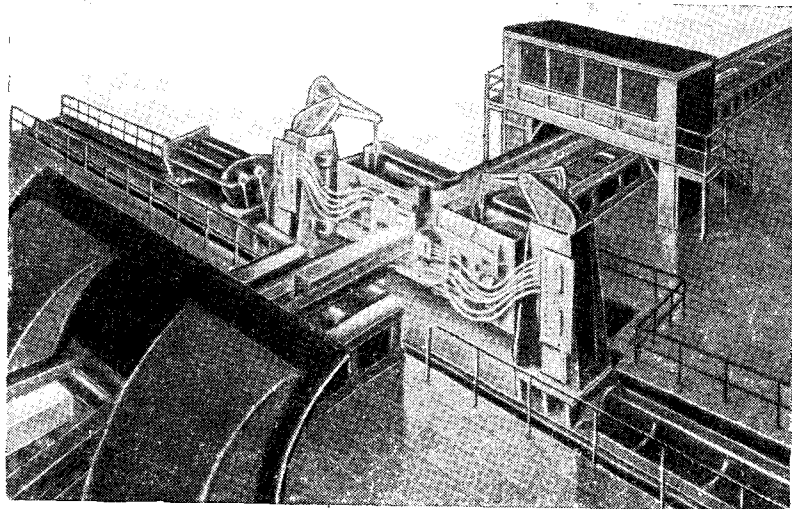
Машины для огневой зачистки проката. «Огневые» машины применяются для сплошной очистки поверхности горячих заготовок от дефектов, возникающих в процессе отливки и прокатки.

Машины устанавливаются в технологической линии прокатки. Зачистка заготовки производится непосредственно после выхода ее из рабочей клетки прокатного стана.

На машине устанавливаются две газорезающие головки, в каждой из которых располагается группа резаков, зачищающих две смежные грани заготовки. Количество одновременно включаемых резаков зависит от размеров заготовки.

Машина управляется оператором дистанционно с пульта, расположенного вблизи нее. Большинство операций автоматизировано.

Внешний вид одной из конструкций огневых машин для зачистки квадратных заготовок (блумсов) показан на фиг. 55.



Фиг. 55. Общий вид огневой машины.

Установка УРР-600 для ручной резки стали больших толщин. Установка (фиг. 56) состоит из резака РР-600 низкого давления, кислородной рамы переносного типа на 10 баллонов с рамповым редуктором РК-250 и ацетиленовой рамы переносного типа на три баллона с обычным баллонным редуктором.

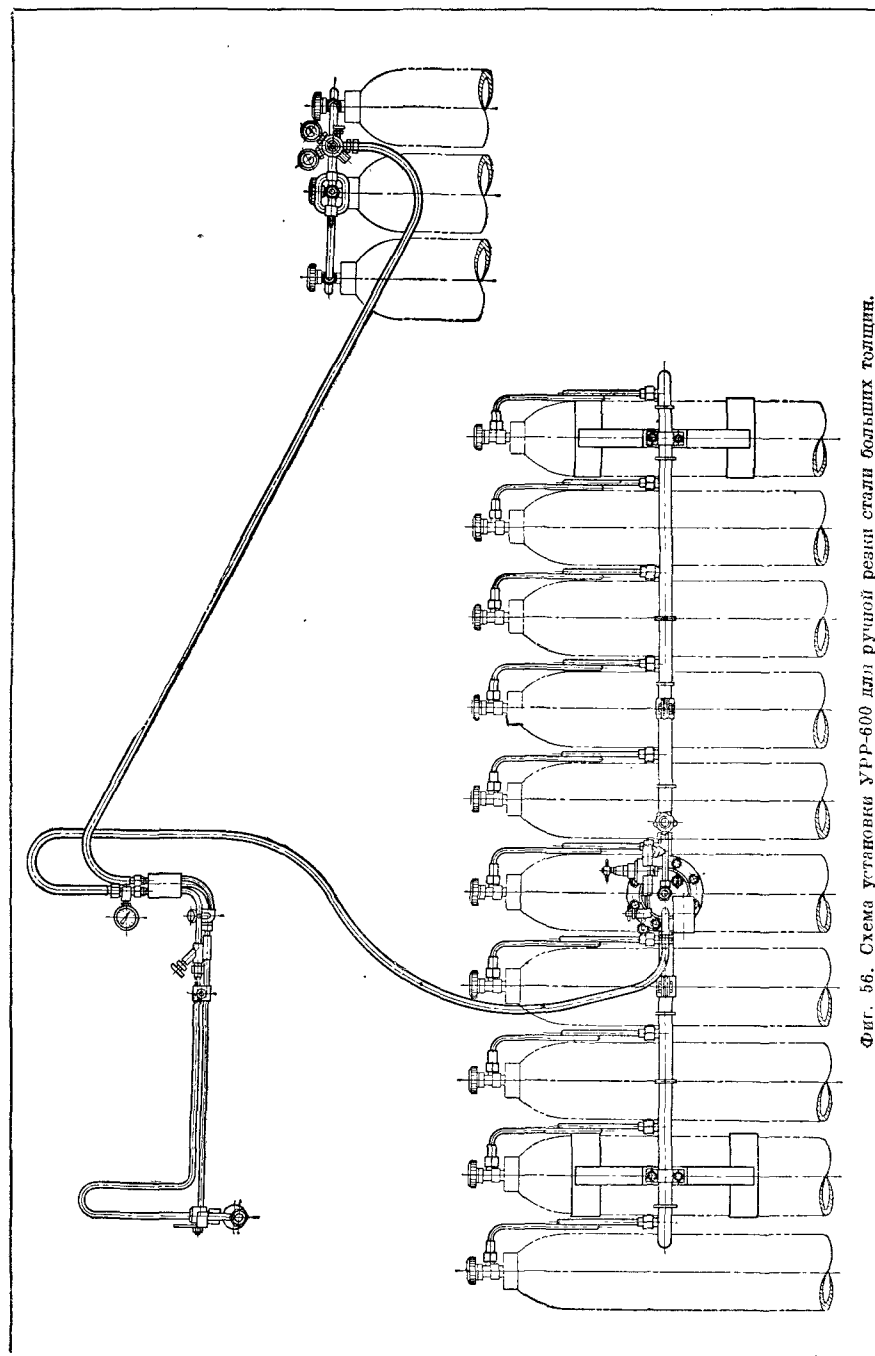
Резак РР-600 инжекторного типа. В качестве горючего газа для подогревающего пламени используется ацетилен. Расход ацетилена не превышает $4 \text{ м}^3/\text{час}$. Для питания резака ацетиленом могут быть использованы как ацетиленовые генераторы среднего давления типа ГВР-3, так и растворенный ацетилен в баллонах.

В отличие от ранее выпускавшихся резаков (в установках УБТ-600) у резака РР-600 канал головки и сопла мундштука имеют большие внутренние проходы.

Сопла режущего кислорода представляют собой сменные детали из латуни с простыми ступенчато-суживающимися цилиндрическими каналами (без расширения на выходе). Всего в комплект резака входят три сопла-вставки. Питание резака РР-600 режущим кислородом и кислородом для подогревающего пламени осуществляется от рампового редуктора по одному обычному резино-канавочному шлангу внутренним диаметром 9 мм.

Установка УРХС-3 для кислородно-флюсовой резки. Установка работает по схеме двойной инжекции флюса. Из бака флюсопитателя ФП-3 железный порошок подается в инжекторно-регулирующее устройство к которому поступает кислород низкого давления (до $0,5 \text{ атм}$), увлекающий порошок к резаку РКФ-3. Поступающий к головке резака кислород высокого давления ($7-9 \text{ атм}$) инжектирует кислородно-флюсовую смесь и, смешиваясь с ней, образует режущую струю.

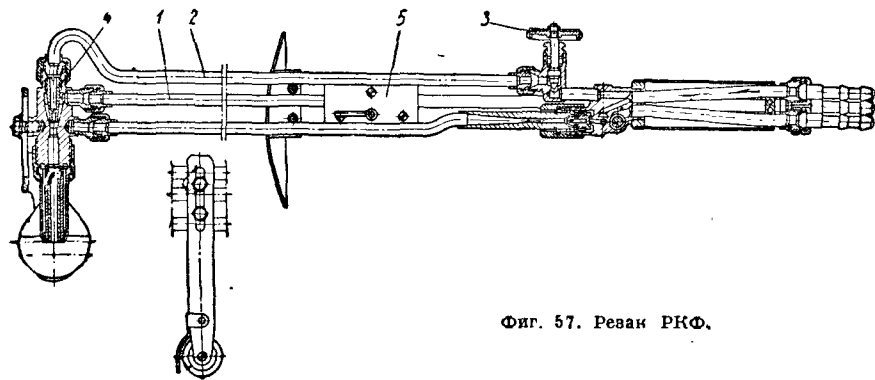
Установка УРХС-3 в комплексе с резаком РПКФ-3 может применяться для поверхностной кислородно-флюсовой резки нержавеющей стали, а в комплексе с резаком РКФ-4 — для разделительной резки чугуна толщиной до 300 мм и цветных металлов толщиной до 150 мм. Для резки нержавеющей стали более экономична установка УРХС-4.



Фиг. 56. Схема установки УРР-600 для ручной резки стали больших толщин.

Резаки РКФ-3 и РКФ-4 для разделительной кислородно-флюсовой резки (фиг. 57)

В отличие от резаков для обычной кислородной резки в головке резака РКФ размещено дополнительное инжекторное устройство, к которому по



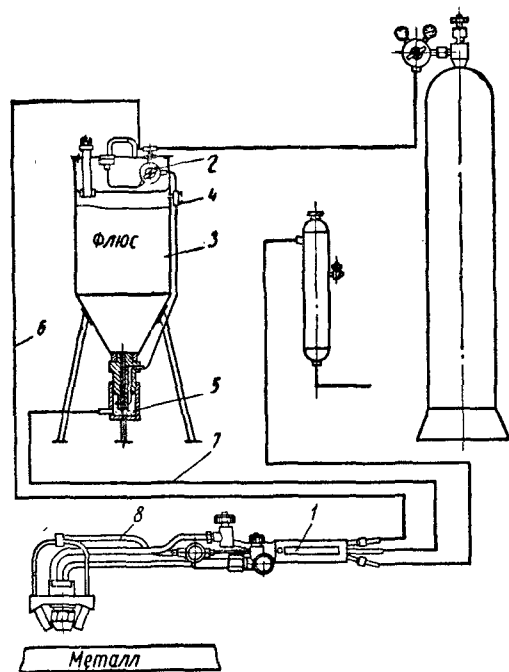
Фиг. 57. Резак РКФ.

трубке 1 подводится кислородно-флюсовая смесь, а по трубке 2 — пробивной кислород от линии кислорода подогревающего пламени через запорный вентиль 3 и дополнительный инжектор 4.

Включение и выключение подачи кислородно-флюсовой смеси к головке резака производится пусковым устройством 5, расположенным на флюсоносущей трубке резака.

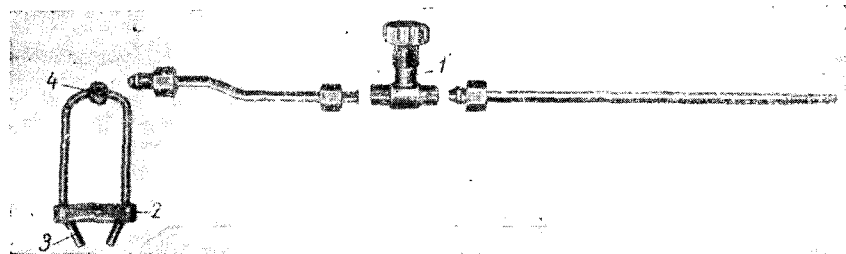
Резак РКФ-4 отличается от РКФ-3 большей длиной трубок и диаметрами каналов в головке и мундштуке.

Установка УРХС-4 для разделительной кислородно-флюсовой резки. Установка УРХС-4, предназначенная преимущественно для ручной резки высоколегированной хромистой и хромоникелевой стали, работает по схеме внешней подачи флюса к резаку. В основной комплектке УРХС-4 состоит из флюсопитателя ФНР-1-59 и резака РАФ-1-59 для резки нержавеющей стали толщиной от 10 до 100 мм; в комплекте с резаком большей мощности установка может быть использована для резки нержавеющей стали толщиной до 500 мм.



Фиг. 58. Схема установки УРХС-4 для разделительной кислородно-флюсовой резки.

Принципиальная схема установки приведена на фиг. 58. Кислород и ацетилен из баллонов или трубопроводов поступают к резаку 1 через редукторы и обычные резино-тканевые шланги. Возможно также питание ацетиленом от генератора среднего давления.



Фиг. 59. Съемная оснастка к ручному резаку РАФ-1-59 для кислородно-флюсовой резки.

Кислород, не доходя до резака, разветвляется. Одна часть его через редуктор 2 поступает в бачок флюсопитателя 3, затем через дроссельный вентиль 4 — в циклонную камеру 5. Другая (основная) часть кислорода по шлангу 6 поступает к резаку 1, где, в свою очередь, разветвляется: одна часть образует с ацетиленом горючую смесь для подогревающего пламени, другая — режущую струю. Во время работы сыпавшийся из бачка 3 в циклонную камеру 5 железный порошок захватывается вихревым потоком, который создается поступающим туда кислородом, и по шлангу 7 переносится к оснастке 8, смонтированной на резаке.

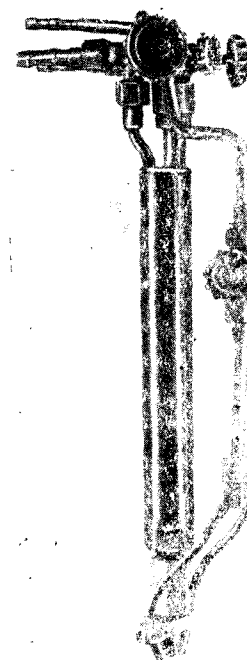
Резак РАФ-1-59 (см. фиг. 58) для кислородно-флюсовой резки представляет собой серийный резак «Пламя», укомплектованный съемной оснасткой (фиг. 59).

Оснастка состоит из порошкового вентиля 1 для включения и выключения подачи флюса, колодки 2, к которой присоединены две втулки 3, направленные под углом 25° к оси мундштука, тройника 4 и трубок, связывающих эти узлы.

Кислородно-флюсовая смесь, выходящая из втулок 3, вдувается через подогревающее пламя в струю режущего кислорода и вместе с последней поступает в разрез.

Аналогичной оснасткой может быть оборудован любой ручной и машинный (фиг. 60) резак.

Установка УРХС-4 значительно проще УРХС-3 вследствие замены инжекторно-регулирующего устройства флюсопитателя более простым циклонным устройством, а также и тем,



Фиг. 60. Машинный резак с оснасткой для кислородно-флюсовой резки на установке УРХС-4.

9. Специализированное оборудование

Наименование оборудования	Марка	Назначение	Способ реакл	Количество резаа-ков
Машина для механизированной резки стали больших толщин	ММР-600	Разделительная резка слитков и заготовок из низко- и среднеуглеродистой стали; отрезка прибылей стального литья	Механизированный	1
Установка для ручной резки стали больших толщин	УРР-600	То же и разделка металлических отходов в габаритный лом	Ручной	
Машина для кислородной обрезки труб	ТР-2	Обрезка концов труб диаметром 190—350 мм без скоса и со скосом кромок		
Установки для кислородно-флюсовой резки	УРХС-3	Поверхностная кислородно-флюсовая резка высокохромистой и хромоникелевой стали и разделительная резка чугуна и цветных металлов	Ручной и механизированный	
	УРХС-4	Разделительная кислородно-флюсовая резка высоколегированной хромистой и хромоникелевой стали		
Головка для вырезки фланцев	Ф-1	Одновременная вырезка обоих контуров фланцев с внутренним диаметром 55—640 мм и наружным диаметром 110—800 мм	Механизированный	2
Машина для резки в вертикальной плоскости	МРВП-1	Вырезка отверстий диаметром 70—600 мм, дисков и фланцев в стальных листах, расположенных в вертикальной, наклонной или горизонтальной плоскостях	Ручной	1
Переносная установка для резки стали	ПУРС			
Ранцевая установка для резки стали	РУ	Резка стали при аварийных работах, при монтаже зданий, на пожаре и т. д.		

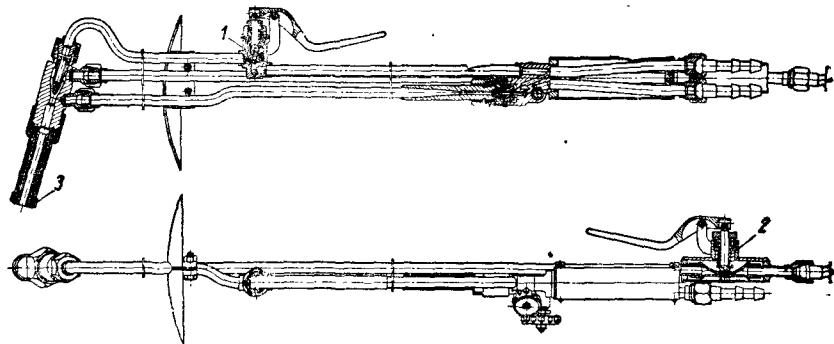
для кислородной резки

Пределы разре- заемых толщин в мм	Скорость резки в мм/мин	Наибольший рас- ход газов в м³/час		Габаритные размеры в мм			Вес в кг
		кислорода	ацети- лена	длина	ширина	высота	
200—600	12—450	80	3,3	580	1420	820	71 (без плангов и напра- вляюще- го рель- са)
300—700	50—115	97	3,8	900 (резака)	—	—	63
4,5—18	350—260	4,2	0,6	800	655	610	22
Ширина канавки 20—26; глубина 2—4	1500—800	40	1,3	400	330	640 (флюсопитателя)	26
10—100	760—170	25	1,1	—	∅ 220 (флюсопитателя)	620	14
5—100	—	27	1,4	730	315	920	41
5—60	550—240	8,8	0,65	585	610	670	18
До 12	—	3,0	0,8	1000	347	452	56
До 12	—	—	—	430	435	180	24

что допускает возможность использования серийных резаков для кислородной резки малоуглеродистой стали.

Повышение устойчивости работы аппаратуры, улучшение использования флюса, а также возможность независимого регулирования расхода режущего кислорода и флюса позволили в установке УРХС-4 уменьшить расход флюса в 1,5—4 раза, ширину реза более чем в 1,5 раза и повысить скорость резки в 1,5—2 раза по сравнению с установкой УРХС-3.

Резак РПКФ-3 для ручной поверхностной кислородно-флюсовой резки (фиг. 61). Резак предназначен для резки высокохромистых и хромоникелевых сталей. В отличие от резаков для поверхностной резки малоуглеродистой стали в головке резака РПКФ-3 размещено дополнительное инжекторное устройство; для плавного пуска пробивного кислорода служит рычажный клапан 1, управляемый левой рукой резчика, а для пуска флюсо-кислородной смеси — рычажное устройство 2, рычаг которого находится вместе с ру-



Фиг. 61. Резак РПКФ-3 для поверхностной кислородно-флюсовой резки.

коялкой резака в правой руке резчика. Мундштук резака несколько длиннее, чем у обычных резаков, и имеет на конце кольцо 3 из жароупорной стали, которое служит для опоры о поверхность зачищаемого металла.

Установка УФР-2 для разделительной кислородно-флюсовой резки (конструкции МВТУ). Установка УФР-2 отличается от УРХС-3 тем, что весь режущий кислород подается вместе с флюсом. Это упрощает схему установки, но ограничивает верхний предел разрезаемых толщин.

Установка позволяет производить резку высоколегированных нержавеющих сталей толщиной до 100 мм. По данным МВТУ расход кислорода не превышает 2 м³/пог. м реза; расход флюса 2,5 кг/пог. м реза.

В установках для кислородно-флюсовой резки и зачистки высокохромистой стали, разработанных на заводе «Красный Октябрь» и Златоустовском металлургическом заводе, в качестве флюса используются порошки, состоящие из смеси алюминия, магния и силикокальция. Установки используются на некоторых металлургических заводах преимущественно для зачистки дефектов поверхности слитков и заготовок из нержавеющей стали.

По данным заводов скорость зачистки составляет 1—2,5 м/мин; расход кислорода и флюса, соответственно, 9 м³ и 1 кг на 1 м зачищенного металла. Серийно установок не выпускаются.

Технические характеристики специализированного оборудования для кислородной резки, выпускаемого серийно, приведены в табл. 9.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ГАЗОПРЕССОВОЙ СВАРКИ

Общие сведения

Установка для газопрессовой сварки состоит из источника питания газами (ацетиленом и кислородом), станка и набора горелок [1], [2], [3]. Источники питания те же, что при газовой сварке, и должны рассчитываться по мощности горелок. Станки служат для закрепления свариваемых частей и создания сжимающего усилия при сварке. Детали сечением до 1000—1200 мм² свариваются на станках, в которых осевое усилие создается вручную; сварка больших сечений требует более крупных станков с пневматическими и гидравлическими устройствами. Пневматические устройства для зажатия и осадки свариваемых частей представляют значительные удобства в эксплуатации.

Питание сжатым воздухом производится в этом случае централизованным путем от трубопровода сжатого воздуха или от небольшого компрессора, обслуживающего данный станок.

Станки для сварки делятся на две группы:

- 1) станки для сварки в стационарных условиях, применяемые для соединения сплошных сечений и труб небольшого диаметра;
- 2) сварочные головки для сварки трубопроводов в полевых условиях.

Станки

Станок имеет два захвата для крепления изделий, создания правильного положения их при сварке и передачи осевого усилия. Осевое усилие сжатия при сварке создается приближением одного из захватов к другому вручную или при помощи пневматического двигателя. В последнем случае величина необходимого усилия определяется в соответствии с величиной площади поперечного сечения и усилием давлением и поддерживается посредством регулятора давления. Усилие зажатия приблизительно равно удвоенной величине осевого усилия, но для обработанных (особенно шлифованных) деталей усилие зажатия следует увеличивать.

В современных конструкциях один из захватов имеет возможность перемещаться вдоль оси станка, второй — в плоскости, перпендикулярной оси станка, для точного центрирования свариваемых частей друг относительно друга; центрирование деталей производится в зажатом состоянии. Для сохранения заданной величины осадки станки снабжаются ограничителем осадки в виде упора, ограничивающего взаимное сближение захватов, и указателя осадки, показывающего величину этого сближения.

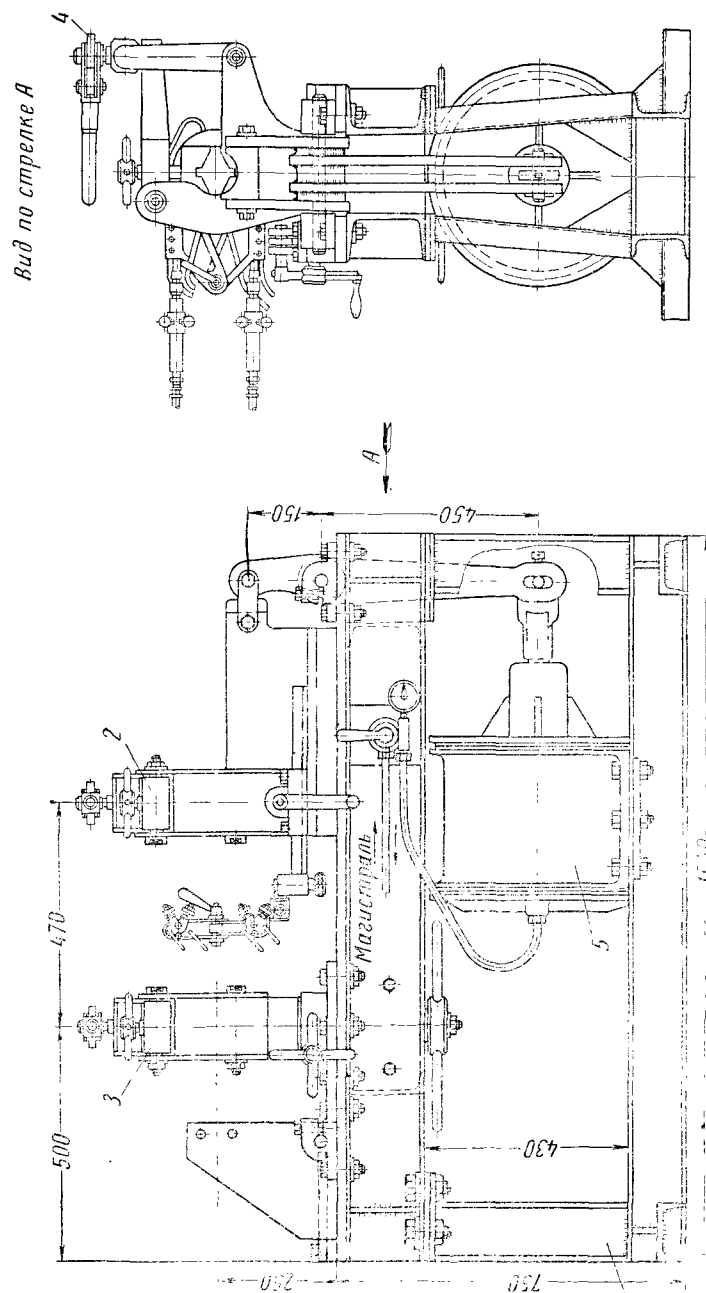
Станок СГП-3р [2]. Зажатие и осадка деталей производится вручную. Зажатие детали осуществляется верхней откидывающейся скобой. Деталь закрепляется в захвате при помощи сменных вкладышей, прижимного винта и сменного ключа. Один из захватов регулируется по высоте и в поперечном направлении.

Горелка закреплена на подвижной каретке и приводится сварщиком в колебательное движение вручную. Осевое усилие создается вручную путем нажатия на рычаг, перемещающий каретку с подвижным захватом.

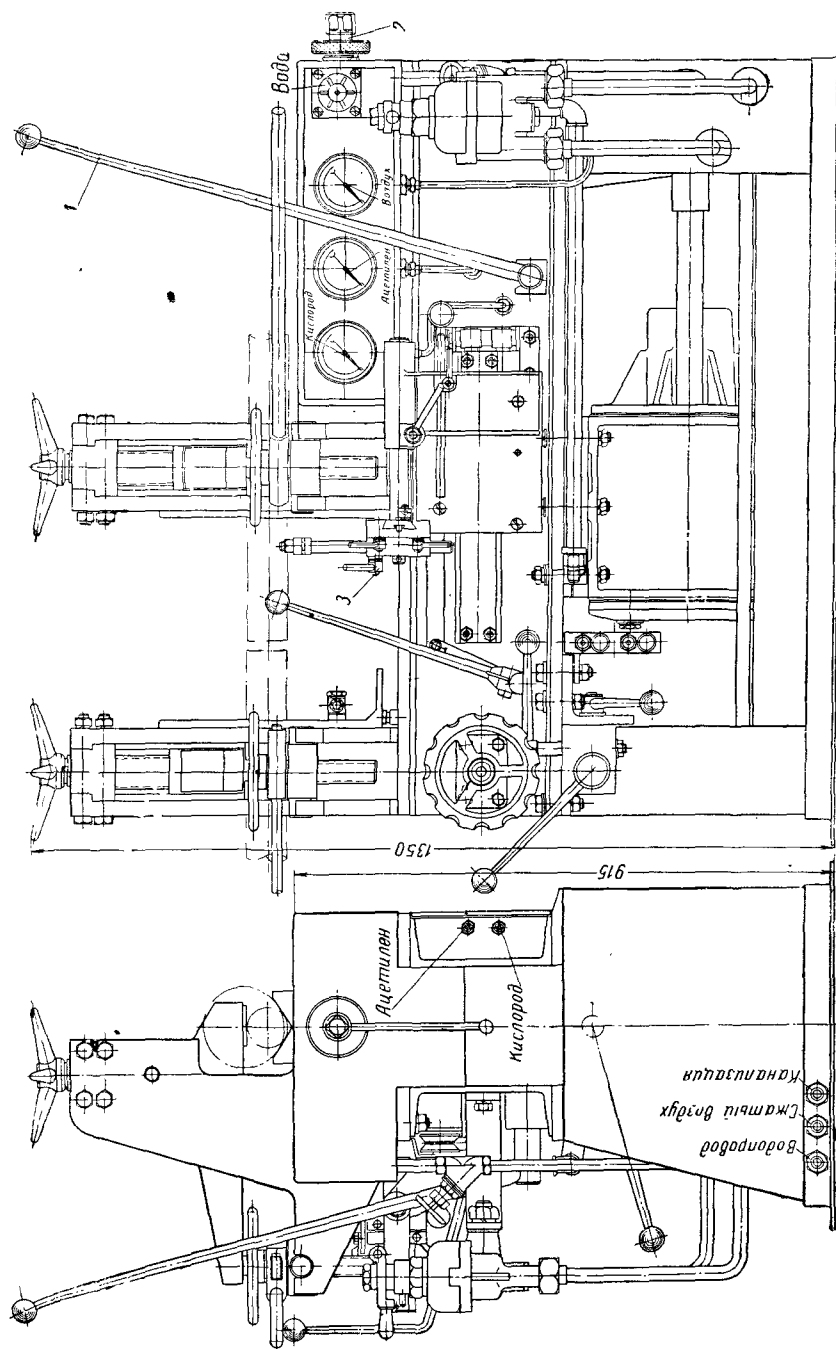
Станок СГП-1 [1]. На фиг. 62 слева — вид станка со стороны сварщика. На станке 1 расположены два захвата 2 и 3. Правый (от сварщика) захват 2 может передвигаться по направляющим вдоль оси станка, левый захват 3 — поворачиваться вокруг своей вертикальной оси, а также перемещаться в вертикальном направлении для достижения соосности при установке свариваемых частей. Зажатие осуществляется откидывающимся коротким рычагом и запорной скобой с триггерным устройством 4. После зажатия и точной установки свариваемых частей взаимное их сжатие осуществляется путем приближения захвата 2 к захвату 3. Усилие передается от цилиндра 5 пневматического двигателя через рычаг на захват 2.

Вследствие простой конструкции станок может быть изготовлен даже небольшими предприятиями.

Горелка охлаждается водой.



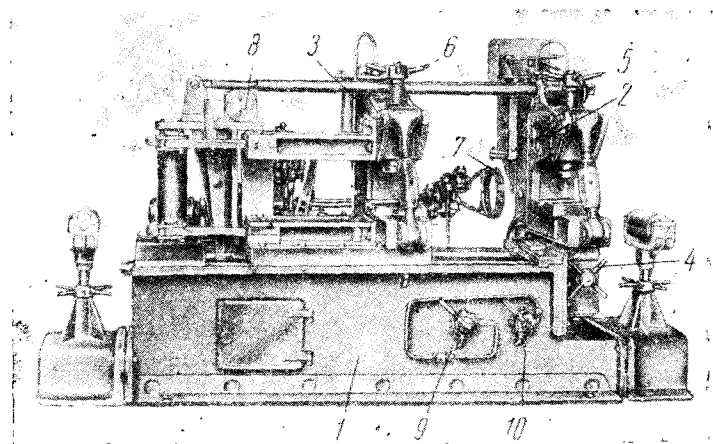
Фиг. 62. Станок СГП-1.



Фиг. 63. Станок СГП-1Р.

Станок СГП-1р (фиг. 63) рассчитан на сварку как небольших деталей, так и деталей сечением до 6000 мм²; осевое усилие может быть создано от пневматического двигателя или вручную рычагом 1. Расстояние между левым и правым захватами изменяется винтом 2. Горелка укрепляется в каретке 3. С правой стороны на пульте расположены ацетиленовый и кислородный манометры, показывающие давление газов, подводимых к горелке. Там же расположены воздушный манометр и указатель подачи охлаждающей воды. Включение и выключение подачи газов к горелке производится при помощи газового рубильника. Зажатие свариваемых частей в захватах и колебательные движения горелки производятся вручную. Горелка и захваты станка охлаждаются водой.

Станок СГП-8у. На фиг. 64 показан вид станка со стороны закладки свариваемых деталей. Зажатие и осадка деталей производится при помощи пневма-



Фиг. 64. Станок СГП-8у.

тических устройств. На станине 1 расположены левый (от сварщика) захват 2 и правый захват 3. Каждый из захватов снабжен пневматическим двигателем (цилиндром с поршнем) для создания усилия зажатия, передаваемого на закрепляемую деталь через рычажную и зубчатую передачи. Для управления процессом зажатия предназначены краны 9 и 10. Предварительное зажатие свариваемых частей осуществляется при помощи винтов 5 и 6. Осевое усилие создается третьим пневматическим двигателем, расположенным сзади станка, и передается через систему рычагов на правый захват 3, который может передвигаться вдоль оси станка по направляющим. Положение левого захвата 2 может регулироваться в вертикальном и поперечном направлениях штурвалом 4 и трещоткой, расположенной ниже штурвала. Горелка 7 приводится в колебательное движение от электродвигателя или вручную. Величина сближения захватов 2 и 3, а следовательно и величина осадки, определяется по циферблату указателя осадки 8.

Для удобства перемещения тяжелых деталей на обоих концах станка имеются регулируемые по высоте рольганги.

Характеристики некоторых типов газопрессовых станков приведены в табл. 10.

10. Характеристика станков, применяемых для газопрессовой сварки

Характеристика	Марка станка				
	СГП-3р *	СГП-1	СГП-1р *	СГП-8у *	МГПС 15/160-53 **
Максимальная площадь свариваемых сечений в мм ²	1000	4500	6000	12 000	Сплошные стержни диаметром до 60 мм
Максимальные габариты свариваемых сечений в мм ²	90×90	80×100	160×160	180×230	Трубы диаметром от 30 до 160 мм
Максимальное усилие осевого сжатия в кг	2000	14 000	13 000	18 000	15 000
Максимальное усилие зажатия деталей в кг	4000	20 000	25 000	50 000	30 000
Способ осевого сжатия	Ручной	Пневматический	Пневматический и ручной	Пневматический	Пневматический
Способ зажатия свариваемых деталей	Ручной			Пневматический	
Требуемое максимальное давление воздуха в атм	—	5	5	5,5	6
Перемещение захвата для центрирования свариваемых частей в мм:					
вертикальное . . .	± 5	± 25	± 10	± 20	± 5
горизонтальное . .	± 5	Радикальный поворот	± 10	± 20	± 3
Габариты станка в мм:					
длина	800	1540	1415	2560	2025
ширина	400	600	810	1650	975
высота	650	1350	1352	1400	1275
Вес станка в кг	180	800	1000	2800	1390
					(с пультом управления)

* Изготавливаются опытным заводом ЦНИИ МПС.

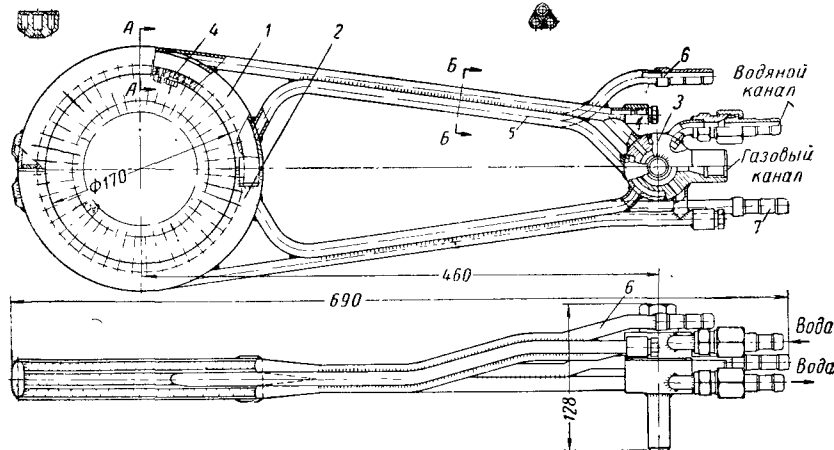
** Изготавливается заводом «Автогенмаш».

Горелки

Для равномерного и быстрого нагрева применяются многопламенные ацетилено-кислородные горелки с головками, близкими по форме к контуру свариваемого сечения. Наиболее простыми являются горелки с неразъемными головками; но при сварке сечений сложного контура применяются горелки с разъемными головками, которые при раскрытии поворачиваются вокруг оси или разводятся параллельно друг другу. Для удобства управления и более равномерного распределения газа по контуру наконечника современные конструкции горелок имеют один ствол. Сопла просверливаются непосредственно в теле головки; применяются также мундштуки, что позволяет легко заменять их при износе и обгорании. В имеющихся конструкциях горелок с соплами диаметром от 0,8 до 1,0 мм наимыгоднейшее расстояние от сопла до изделия 20—25 мм.

Сечение по АА

Сечение по ВВ



Фиг. 65. Головка многопламенной горелки МГ-120.

При конструировании горелок необходимо иметь в виду следующие требования, предъявляемые к горелкам: надлежащую мощность, определяемую расходом ацетилена в л/час; равномерное распределение тепла по сечению детали; бесперебойную работу горелки в течение сварочного цикла.

Распределение тепла по сечению представляет наиболее сложную задачу — не следует допускать перегрева в углах и внутренних закрытых участках сложных сечений. Для этой цели применяют неравномерное расстояние (шаг) между соплами и разные диаметры сопел.

Устойчивая работа достигается правильным выбором соотношений между элементами горелки [2] и надежным охлаждением ее в работе.

Ниже приведены некоторые конструкции горелок.

Горелка МГ-120 [4] применяется для сварки круглых сечений диаметром 90—120 мм. Горелка состоит из ствола, куда подаются ацетилен и кислород, смесительной камеры с наставкой, где газы смешиваются, и головки (фиг. 65), состоящей из верхней половины 1 и нижней половины 2. Газовая смесь из распределительной камеры 3 попадает в газовые каналы обеих половин головки и подается к сменным мундштукам 4. Вода для охлаждения головки поступает через водяной канал, охлаждает распределительную камеру, проходит по трубке 5 в верхнюю половину головки 1 и возвращается по трубке 6; затем по шлангу (не показан), соединяющему трубки 6 и 7, переходит в нижнюю половину, охлаждает ее и удаляется через второй водяной канал.

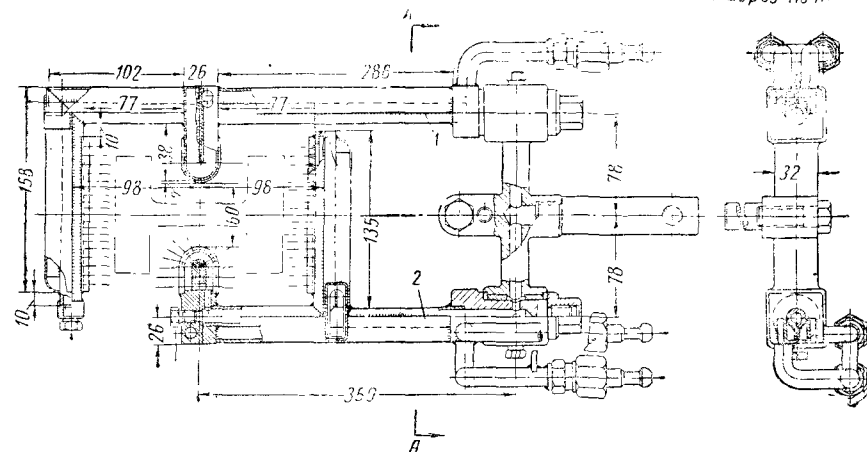
Головка горелки изготовлена из стали, мундштуки — из латуни.

Характеристика горелки

Диаметр свариваемых круглых сечений в мм	90—120
Расход ацетилена в л/час	8400
Оптимальное рабочее давление ацетилена в <i>ати</i>	0,5
Рабочее давление кислорода в <i>ати</i>	5
Количество мундштуков	44
Охлаждение горелки	Водяное
Вес горелки со стволом в кг	7,2
Размеры горелки со стволом в мм:	
длина	935
высота	220

Кольцевые горелки серии КГ предназначены для газопрессовой сварки и термической обработки деталей круглого и трубчатого сечения, — труб наружным диаметром от 30 до 170 мм и толщиной стенок от 3 до 14 мм, стержней

Разрез по АА



Фиг. 66. Головка многопламенной горелки МГ-Д4.

диаметром от 30 до 120 мм [5]. Горелки этого типа — одноствольные. Техническая характеристика их приведена в табл. 11.

Горелка МГ-Д4 [4] применяется для сварки двутавровых сечений (например, паровозных дышел). Особенностью горелки является конструкция головки (фиг. 66) с верхним и нижним наконечниками 1 и 2, поворачивающимися после сварки на 90° вокруг своих осей для отвода горелки в сторону и выемки изделия из захватов станка.

Характеристика горелки

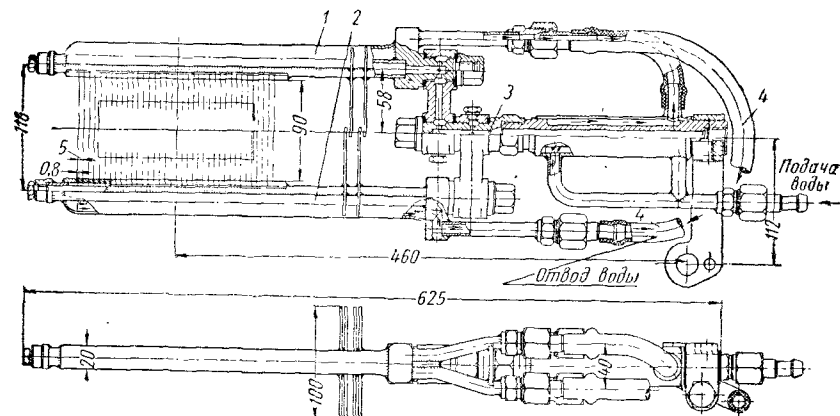
Расход ацетилена в л/час	7000
Оптимальное рабочее давление кислорода в <i>ати</i>	4—5
Охлаждение горелки	Водяное

Горелка МГ-ДС [4] применяется для сварки прямоугольных сечений. Верхний и нижний наконечники 1 и 2 головки (фиг. 67) шарнирно соединены с газораспределительной камерой 3 таким образом, что расстояние между наконечниками может изменяться в пределах 60—90 мм в зависимости от толщины свариваемого сечения. Водяные каналы охлаждающей системы обоих наконечников связаны шлангом 4.

11. Техническая характеристика многопламенных горелок серии КГ [5]

Индекс горелки	Типоразмер горелки	Наружный диаметр свариваемых труб в мм	Толщина стенок труб в мм	Диаметр свариваемой круглой стали в мм	Мощность горелки (по ацетилену) в мз/час	Типоразмер ствола горелки	Длина наружной части мундштука в мм
КГ-40	I	30—40	3—6	—	0,75—1,5	1	13
КГ-40А *			6—12	—	1,5—3,0	2	
КГ-50		40—50	3—6	30—40	0,75—1,5	1	8
КГ-50А			6—12		1,5—3,0		
КГ-60	II	50—60	3—6	40—50	1,25—2,5	2	13
КГ-60А			6—12		2,5—5,0		
КГ-70		60—70	3—6	50—60	1,25—2,5		8
КГ-70А			6—12		2,5—5,0		
КГ-80	III	70—80	3—6	—	1,5—3,0	2	13
КГ-80А			6—12	60—70	3,0—6,0		
КГ-90		80—90	3—6	—	1,5—3,0		8
КГ-90А			6—12	70—80	3,0—6,0		
КГ-100	IV	90—100	3,5—7	—	2,5—5,0	3	13
КГ-100А			7—14	80—90	5,0—10,0		
КГ-110		100—110	3,5—7	—	2,5—5,0		8
КГ-110А			7—14	90—100	5,0—10,0		
КГ-120	V	110—120	3,5—7	—	2,75—5,5	2	13
КГ-120А			7—14	100—110	5,5—11,0	3	
КГ-130		120—130	3,5—7	—	2,75—5,5	2	8
КГ-130А			7—14	110—120	5,5—11,0	3	
КГ-140	VI	130—140	3,5—7	—	3,3—6,6	2	13
КГ-140А			7—14	—	6,6—13,2	3	
КГ-150		140—150	3,5—7	—	3,3—6,6	2	8
КГ-150А			7—14	—	6,6—13,2	3	
КГ-160	VII	150—160	3,5—7	—	3,75—7,5	2	13
КГ-160А			7—14	—	7,5—15,0	3	
КГ-170		160—170	3,5—7	—	3,75—7,5	2	8
КГ-170А			7—14	—	7,5—15,0	3	

* Горелки с индексом А предназначены для сварки труб с толщиной стенок до 14 мм и стержней диаметром до 120 мм; без индекса — для сварки труб с толщиной стенок до 8 мм и стержней диаметром до 60 мм.

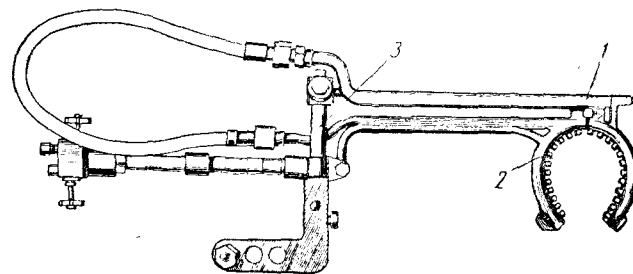


Фиг. 67. Головка многопламенной горелки МГ-ДС.

Характеристика горелки

Сечение свариваемых деталей в мм ²	От 20×140 до 50×140 ¹
Расход ацетилена в л/час	8000
Оптимальное рабочее давление ацетилена в атм	0,5
Рабочее давление кислорода в атм	4—5
Общее число сопел	74
Охлаждение горелки	Водяное
Вес горелки со стволом в кг	8
Размеры со стволом в мм:	
длина	925
высота	230

Горелка МГО-70 [4] применяется для газопрессовой сварки с оплавлением¹. Головка горелки (фиг. 68) имеет подковообразную форму и открыта снизу, чтобы капли расплавленного металла не могли повредить ее при сварке.



Фиг. 68. Многопламенная горелка МГО-70.

Головка состоит из двух частей 1 и 2. Часть 1 шарнирно соединена с газораспределительной камерой 3 и может поворачиваться для удаления свариваемой детали. Часть 2 жестко соединена с камерой 3.

¹ При меньшем расходе газов горелку можно также применять для плазменной сварки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Владимирский Т. А. и Никитин М. С., Станки и горелки для газопрессовой сварки, «Автогенное дело» № 12, 1949.
2. Владимирский Т. А., Долгицер Л. З., Никитин М. С. и Селиванов К. В., Газопрессовая сварка в строительстве, Гос. изд-во лит-ры по строительству и архитектуре, 1953.
3. Станок МПТС — 15/160-53 для газопрессовой сварки, ВНИИАвтоген, Информационный листок № 38, июль, 1953.
4. Владимирский Т. А., Мельников О. Е., Селиванов К. В. и Швылов А. К., Технические указания по газопрессовой сварке паровозных деталей, 2-е переработанное и дополненное издание ЦНТИ МПС, Информационное письмо № 443, 1958.
5. Кольцевые многопламенные горелки КГ для газопрессовой сварки поперечных стыков труб и круглой стали, ВНИИАвтоген, Информационный листок, № 41, октябрь, 1953.
6. ВНИИАвтоген, Газопламенная обработка металлов (Труды всесоюзной научно-технической конференции), Машгиз, 1956.
7. ВНИИАвтоген, Кислородная резка и сварка, Труды, вып. 5, Машгиз, 1959.
8. ВНИИАвтоген, Эксплуатация переносных ацетиленовых генераторов, Справочные материалы, вып. 18, Машгиз, 1960.
9. ВНИИАвтоген, Машины и аппараты конструкции ВНИИАвтоген, Справочные материалы, вып. 9, Машгиз, 1957.
10. ВНИИАвтоген, Машины для кислородной резки, Руководящие материалы, вып. 1, Госхимиздат, 1953.
11. Глиманенко Д. Л., Получение кислорода, Госхимиздат, 1956.
12. Глиманенко Д. Л., Евсеев Г. Б., Газовая сварка и резка металлов, Машгиз, 1954.
13. Долгицер Л. З., Морковкин А. А., Черняк В. С., Аппаратура и оборудование для газопламенной обработки металлов, Машгиз, 1953.
14. Информационные и технические листки ВНИИАвтоген № 20—155, 1952—1959.
15. Каталог ВНИИАвтогена, Машины и аппаратура для газопламенной обработки металлов, ЦНТИ машиностроения, 1959.
16. Стрижевский И. И., Гузов С. Г., Ковальский В. А., Ацетиленовые станции, Машгиз, 1959.
17. Черняк В. С., Воинов К. П., Справочник молодого сварщика, Труд-резерват, 1958.
18. Владимирский Т. А., Селиванов К. В. и Швылов А. К., Новое оборудование для газопрессовой сварки, «Автогенное дело» № 2, 1953.

ГЛАВА XIV

МОНТАЖ, ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ ГАЗОСВАРОЧНОГО
ОБОРУДОВАНИЯ

ОБОРУДОВАНИЕ СВАРОЧНЫХ ПОСТОВ

В состав оборудования поста для ручных работ по газовой сварке или резке входят: кислородный баллон или группа баллонов, объединенных в рампу; кислородный редуктор; ацетиленовый баллон (или баллон с другим горючим газом) с редуктором или ацетиленовый генератор; гибкие шланги, соединяющие источник газоснабжения с инструментом (горелка или резак).

При механизированной резке или сварке в состав оборудования сварочного поста входит также стационарная или переносная машина, перемещающая с заданной скоростью инструмент или изделие.

В стационарных условиях целесообразно применять централизованное питание кислородом и горючим от распределительных трубопроводов. В этом случае в точках отбора горючих газов должны быть установлены предохранительные затворы.

При работе в монтажных условиях допускается совместная установка кислородного и ацетиленового баллонов на легкой тележке; однако предпочтительнее перевозить баллоны на отдельных тележках.

ПОМЕЩЕНИЯ СВАРОЧНЫХ ЦЕХОВ И УЧАСТКОВ [1]

Сварочные цеха, мастерские и участки с числом рабочих постов более 10 должны размещаться в зданиях, построенных из негорючих материалов.

При числе постов менее 10 помещения должны удовлетворять требованиям, предъявляемым к категориям производств группы «I» не ниже IV степени огнестойкости [2].

Запрещается размещать сварочные мастерские и участки в подвальных помещениях; нежелательно также их устройство в жилых домах, в проходных помещениях и выше первого этажа в многоэтажных зданиях.

В помещениях, где постоянно производится газопламенная обработка, на каждое рабочее место должно отводиться не менее 4 м², кроме площади, занимаемой оборудованием, и проходов между рабочими местами (ширина прохода не менее 1 м). Свободная высота помещений от уровня пола до низа выступающих конструктивных элементов непосредственно над рабочими местами должна быть не менее 3,25 м.

Сварка с предварительным подогревом деталей может производиться только в помещениях с полами из негорючих материалов; сварка без предварительного подогрева допускается в помещениях с деревянными торцовыми полами на негорючем основании.

Если работы производятся на расстоянии менее 5 м от деревянных стен и перегородок, последние необходимо обштукатурить или обить железом по асбесту или войлоку, смоченному предварительно в глиняном растворе. При временных работах стены следует защищать от искр металлическими экранами, а деревянный пол — листами асбеста или железа, уложенными на кирпичи непосредственно у рабочего места; вместо указанного можно засыпать пол толстым слоем песка.

Естественное и искусственное освещение, а также температурный режим в помещениях, где производится газопламенная обработка, должны соответствовать санитарным нормам [3].

Закрытые помещения должны быть снабжены вентиляционными устройствами. Вредные для дыхания пары металлов и окислы следует удалять местными отсосами, расположенными на уровне изделия или ниже его, с тем чтобы отсасываемые газы не проходили мимо головы сварщика на пути в вытяжное устройство.

При пользовании аппаратурой для газопламенной обработки необходимо помнить, что кислород в соприкосновении с маслами и жирами, а ацетилен и другие горючие в смеси с кислородом и воздухом — взрывоопасны. Поэтому на стенах помещений сварочных цехов, мастерских и рамповых помещений необходимо вывесить на видном месте плакаты с предупреждающими надписями, например: «Оберегай кислородные редукторы и баллоны от масла», «Систематически проверяй уровень воды в затворе» и т. п.

УЧАСТОК МАШИННОЙ КИСЛОРОДНОЙ РЕЗКИ [4]

Участок машинной кислородной резки должен быть оборудован достаточным количеством подъемно-транспортных средств — кранов, талей, роликовых столов и т. п.

Для устранения простоев машины и потерь времени резчика при переходе к обработке нового листа желательно, чтобы длина направляющих путей стационарных машин была не менее двойной максимальной длины раскраиваемых листов.

Площадь для установки стационарных газорезательных машин определяется по формуле:

$$П = (Д_n + Д_m)(Ш_n + В),$$

где $П$ — потребная площадь в $м^2$; $Д_n$ — длина направляющих путей с учетом максимальной длины обрабатываемых листов; $Д_m$ — дополнительный припуск направляющих путей, равный длине тележки газорезательной машины; $Ш_n$ — ширина направляющих путей; $В$ — максимальный вылет хобота машины и других выступающих частей (с учетом хода поперечной каретки) за пределы направляющих путей в обе стороны.

Ширина проходов между машинами, а также между машинами и стенами здания должна быть не менее 1 м. Ширину проходов между опорными столами и стальной машины рекомендуется выбирать в пределах 450—500 мм.

Площадь для размещения переносных газорезательных машин определяется максимальными размерами обрабатываемых изделий. Машины следует закреплять за отдельными газорезчиками или бригадами. Вырезаемые детали целесообразно группировать по номерам, размерам, конфигурации и установленным допускам и закреплять за определенными машинами.

Газорезательная машина (стационарная или переносная) должна, как правило, обслуживаться одним газорезчиком.

При резке широких листов по двум параллельным кромкам одновременно несколькими резаками, а также при работе на машинах тяжелого и специального типа для управления машиной и наблюдения за процессом резки требуется вспомогательный рабочий.

ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ И УХОД ЗА ОБОРУДОВАНИЕМ [5]

Перед началом работы сварщик (резчик) должен осмотреть рабочее место, убрать лишние предметы и легко воспламеняющиеся материалы, проверить состояние спецодежды.

При получении баллонов с газом нужно проверить исправность оболочки баллонов, вентиля, присоединительной резьбы на втулке вентиля и дату очередного испытания. Кроме того, при осмотре кислородных баллонов необ-

ходимо проверить отсутствие на них следов масла и жиров, а у ацетиленовых баллонов — наличие и исправность кожаной прокладки в гнезде присоединительного штуцера.

Перед присоединением баллона к рампе или редуктора к баллону или трубопроводу нужно тщательно продуть вентиль. Необходимо также осмотреть входной штуцер и накидную гайку редуктора и убедиться в исправности присоединительной резьбы в гайке, отсутствии следов масла и жиров (для кислородных редукторов), а также в исправности уплотняющей фибровой прокладки (для всех редукторов, кроме ацетиленового) и фильтра во входном штуцере.

Вентиль баллона следует открывать медленно и плавно. Для открывания вентиля ацетиленового баллона и для укрепления на нем редуктора надо пользоваться специальным торцовым ключом.

В случае утечки газа в сальнике вентиля после присоединения редуктора, следует закрыть вентиль и подтянуть ключом сальниковую гайку. Если после этого утечка газа не будет устранена полностью, допускается вывертывание клапана вентиля до отказа.

Устранять неплотности в резьбовых соединениях подтягиванием гаек под давлением запрещается.

В случае возникновения течи в редукторе или регуляторе давления прибор следует отремонтировать или заменить.

Подготовка переносного ацетиленового генератора к работе производится в соответствии с инструкцией по эксплуатации. Если питание горючим газом, в частности ацетиленом, производится от распределительного трубопровода, необходимо проверить исправность постового водяного затвора и уровень воды в нем; в случае необходимости добавить воду в затвор или спустить лишнюю до уровня контрольного крана. От одного водяного затвора может работать только один пост.

По окончании подготовительных операций нужно соединить горелку (резака) плангами с редукторами, установленными на баллонах или распределительных газопроводах, или с выходным ниппелем постового водяного затвора. Сначала следует монтировать кислородную линию; при использовании инжекторной аппаратуры проверить наличие разрежения (подсоса) в ацетиленовом канале горелки.

Отсутствие подсоса или слабый подсос свидетельствуют о неисправности аппаратуры. Только после установления нормального подсоса можно присоединить к горелке ацетиленовый планг. Установив при закрытых вентилях давление кислорода и ацетилена (по манометрам на редукторах) в соответствии с технологической инструкцией, нужно приоткрыть вентиль кислорода на 0,25 оборота (не больше), затем открыть вентиль ацетилена и поджечь горючую смесь. После этого вентилями следует отрегулировать пламя, необходимое для данного процесса. При первоначальном регулировании пламени вентиль ацетилена не должен быть полностью открыт, чтобы обеспечить возможность регулирования пламени в процессе работы.

По мере обеднения смеси ацетиленом при нагреве мундштука сварщик должен приоткрывать вентиль ацетилена или увеличивать давление ацетилена на редукторе. Если запас ацетилена исчерпан, необходимо прервать работу и охладить мундштук горелки (резака) в воде.

При смене баллонов, так же как и по окончании работы, необходимо закрыть вентили всех баллонов, выпустить газы из всех коммуникаций и освободить нажимные пружины редукторов и регуляторов давления.

Уплотняющие и концевые поверхности мундштуков резаков и горелок, а также уплотняющие поверхности головок резаков необходимо предохранять от царапин и забоин.

Если обнаружена неплотность сальников шпинделей в вентилях горелки (резака), которую не удается устранить подтягиванием сальниковых гаек, следует добавить или полностью заменить сальниковую набивку. В качестве набивки рекомендуется применять тонкий асбестовый шнур, пропитанный парафином.

При эксплуатации редукторов наиболее частой неполадкой является самотек — перетекание газа в рабочую камеру (при полностью освобожденной

нажимной пружине) в результате нарушения герметичности между клапаном и седлом. Причиной обычно служат твердые частицы, заносимые потоком кислорода из баллона и вентиля или выкрашивание уплотнителя клапана.

Самотек в редукторе при отсутствии отбора газа может привести к значительному повышению давления, которое при неисправном предохранительном клапане или при его отсутствии может разорвать или сорвать шланг, а при закрытом запорном вентиле порвать мембрану или сорвать крышку.

ОБРАТНЫЕ УДАРЫ И ХЛОПКИ ПЛАМЕНИ [5]

Среднюю скорость истечения горючей смеси из мундштука горелки (резака) определяют как отношение расхода смеси (объема газа, протекающего через мундштук в единицу времени) к суммарной площади сечения выходных отверстий мундштука. В действительности частицы газа у стенок канала движутся медленнее, чем в центре струи, вследствие трения о стенки и взаимного трения смежных частиц.

Поэтому скорость, с которой вытекают из отверстий частицы газа, прилегающие к стенкам, значительно меньше средней скорости. По выходе смеси из мундштука вследствие расширения газовой струи и смешивания ее с воздухом скорость истечения снижается, особенно в наружных слоях струи, где расширение и смешивание с воздухом происходит наиболее полно. С другой стороны, скорость распространения пламени в горючей смеси, называемая скоростью воспламенения смеси, также непостоянна и зависит от состава и температуры смеси. Для применяемых на практике смесей газообразных горючих с кислородом скорость воспламенения тем больше, чем больше в смеси кислорода. Повышение температуры газовой смеси также увеличивает скорость ее воспламенения.

Воспламенение частицы газовой смеси происходит в тот момент, когда скорость ее движения становится равной скорости воспламенения смеси.

Если скорость истечения горючей смеси в слое, прилегающем к стенкам отверстия, превышает скорость воспламенения, то ядро пламени отрывается от мундштука. При обратном соотношении скоростей пламя может проникнуть внутрь мундштука. Явление проникновения пламени внутрь горелки (резака) и распространения его навстречу движению потока газа называется обратным ударом пламени. Обратные удары пламени обычно сопровождаются хлопками.

Причиной обратного удара может служить полная или частичная закупорка каналов мундштука брызгами расплавленного металла, окалиной и т. п. или нагрев мундштука до 400—450°.

В машинной аппаратуре для предотвращения перегрева мундштука, а также для поддержания постоянства расхода смеси и соотношения между кислородом и горючим, применяют охлаждение мундштука проточной водой.

В безынжекторной аппаратуре, где оба газа подаются в горелку почти при равном давлении, нагрев мундштука приводит только к некоторому уменьшению количества поступающих в горелку газов, состав же смеси практически изменяется мало.

Тем не менее применение водяного охлаждения следует считать целесообразным и для безынжекторной машинной аппаратуры, в особенности для мощных многослоевых горелок.

Целесообразным является также охлаждение смесительной камеры, так как при обратных ударах пламени теплота, выделяемая воспламенившейся внутри горелки горючей смесью, концентрируется, как правило, в смесительной камере.

Распространение пламени при обратных ударах чаще всего ограничивается смесительной камерой. Если же при обратном ударе пламя проникает в канал с горючим газом, где давление значительно ниже, чем в кислородном канале, то при отсутствии на его пути обратных клапанов или предохранительных затворов может произойти взрыв горючего. Исключением является аппаратура, работающая на жидком горючем (керосине, бензине). В этом случае пламя, прошедшее смесительную камеру, направляется, как правило, в кислородный канал, так как горючая жидкость, находящаяся под сравнительно высоким

давлением (1—3 кг/см²), оказывает большее сопротивление распространению пламени, чем газообразный кислород. Обратный удар в аппаратуре, работающей на жидком горючем, чаще всего приводит к воспламенению кислородного шланга, что гораздо реже наблюдается при работе на ацетилене.

При обратном ударе пламени следует немедленно закрыть сначала ацетиленовый вентиль, затем кислородный вентиль и охладить горелку (резака) в воде. Прежде чем вновь зажечь пламя, необходимо проверить уровень воды в водяном затворе, состояние разрывной мембраны на затворе (при ее налинии) и степень затяжки накидной гайки смесительной камеры, так как в результате нагрева и обратных ударов она может ослабнуть и послужить причиной нового обратного удара пламени.

При засорении мундштука, которое приводит к нарушению инжекции и уменьшению количества поступающего в пламя ацетилена или к частым хлопкам, его следует снять и продуть с наружной стороны струей кислорода. Если этого будет недостаточно, следует прочистить засорившийся канал мундштука деревянной или медной прочищалкой либо шнурком.

Причиной частых хлопков пламени в резаках может быть также ослабление посадки мундштука, в результате чего режущий кислород при пуске попадает в канал горючей смеси и нарушает нормальное горение пламени. В таких случаях надо снять мундштук (в резаках типа УР — наружный и внутренний) и проверить посадку; в случае необходимости пришлифовать или притереть уплотняющие поверхности.

ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ БАЛЛОНОВ [1], [5]

Перемещение баллонов на небольшое расстояние (в пределах одного помещения) разрешается производить кантованием в слегка наклонном положении. Баллоны с горючими газами разрешается кантовать при условии, если пол помещения имеет покрытие, предохраняющее от образования искр при ударе (неискрающий асфальт, дерево, резина и т. п.).

Перемещение баллонов из одного помещения в другое (даже смежное) можно производить только на специально приспособленных для этой цели ручных тележках или носилках, обеспечивающих безопасную переноску. Тележки для ацетиленовых баллонов должны иметь резиновые шины.

Перевозить баллоны на большие расстояния следует только на рессорных транспортных средствах (гужевых, автомобильных и т. п.).

При перевозке баллоны должны укладываться вентилями только в одну сторону, поперек кузова транспортного средства и опираться на специальные прокладки в виде деревянных брусков с вырезами; при отсутствии таких прокладок должны быть приняты другие меры, предохраняющие баллоны от удара друг о друга и от перекачивания. В частности, можно отделить баллоны друг от друга прокладывая между ними толстый пенковый канат или надевая на каждый баллон по два резиновых или веревочных кольца толщиной не менее 25 мм. Допускается укладка баллонов в два и три ряда; однако между рядами обязательно должны быть уложены прокладки из досок или брусков. Нельзя поднимать и переносить баллоны (даже пустые) при помощи магнитных кранов. Транспортирование баллонов при помощи обычных кранов допускается лишь с разрешения органов охраны труда; при этом баллоны должны быть надежно закреплены в специальных металлических клетях [1].

Наполненные баллоны при перевозке необходимо защищать от нагрева солнечными лучами (брезентом или другими средствами). Баллоны емкостью свыше 12,5 л как наполненные, так и порожние разрешается перевозить и хранить только с наверху до отказа колпаками.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ БАЛЛОНОВ [5]

При размещении баллонов на рабочем месте (в сварочном цехе, на монтажной площадке) необходимо соблюдать расстояние от источников открытого огня не менее 5 м, ограждать баллоны экранами из негорючих материалов и защи-

щать от попадания на них масла (с мостовых кранов и т. п.). Запрещается подходить к баллону с зажженной горелкой (резаком).

Расходовать газ из баллонов следует с таким расчетом, чтобы остаточное давление в них было не менее 0,5 атм.

При работе в помещении следует тщательно следить за герметичностью вентилях баллонов (в особенности баллонов с горючими газами).

Если обнаружена негерметичность вентиля, вызванная разрушением фибровой сальниковой прокладки, то замена ее при наличии газа в баллоне, допускается если клапан вентиля полностью закрыт. Такой ремонт может быть произведен лишь с разрешения мастера или начальника цеха.

Запасные фибровые прокладки, используемые в качестве уплотнителей в кислородных вентилях и редукторах (в месте соединения со штуцером вентиля), должны иметь гладкую поверхность, обезжиренную и покрытую тонким слоем парафина. Прокладки должны храниться завернутыми в плотную бумагу и оберегаться от загрязнения.

При эксплуатации обычных ацетиленовых вентилях часто наблюдается пропуск газа в сальник в результате высыхания прокладок или разработки отверстий в них. Если этот пропуск не может быть устранен подтягиванием сальниковой гайки или подъемом клапана вверх до отказа, то следует добавить в вентиль новые сальниковые прокладки или все старые заменить новыми. Вновь устанавливаемые в вентиль кожаные сальниковые прокладки должны быть пропитаны маслом, для чего их опускают в нагретый до жидкотекучего состояния тавот или солидол.

Смена или добавление кожаных прокладок в ацетиленовых вентилях может производиться лишь после того, как седло вентиля будет полностью перекрыто клапаном.

Если при закрывании клапана требуется приложение значительного усилия и наблюдаются явления, позволяющие предположить неисправность резьбы в корпусе вентиля или на клапане, то ремонт такого вентиля на месте производства работ не может быть допущен и баллон должен быть отправлен на завод-наполнитель с соответствующей надписью на привязываемой к вентилю баллона бирке. Это относится ко всем вентилям независимо от их конструкции и назначения.

ВОСПЛАМЕНЕНИЕ КИСЛОРОДНЫХ ВЕНТИЛЕЙ И РЕДУКТОРОВ [5]

В процессе эксплуатации кислородных баллонов и наполнительных и перепускных рам могут иметь место случаи воспламенения вентилях, а также редукторов.

Как правило, непосредственной причиной воспламенения является быстрое открытие клапана вентиля, вызывающее резкое повышение давления в полости вентиля (до давления газа в баллоне). При этом быстро возрастает температура газа, находящегося внутри вентиля, в результате чего сгорает фибровая прокладка сальника.

Иногда при резком открытии запорного вентиля кислородного баллона или вентиля ramпы, к которому присоединен редуктор, имеет место загорание уплотнителя клапана редуктора; пламя перебрасывается в камеру низкого давления, вследствие чего сгорают резиновая мембрана и стальные детали. оплавляется латунный корпус редуктора и другие детали. В баллонных вентилях пламя иногда проникает наружу через сальниковую гайку, в результате чего загорается или оплавляется маховичок.

Одной из причин резкого открытия вентилях, является то обстоятельство, что уплотнители клапанов, как правило, изготавливаются из меди, которая сильно нагартовывается в результате трения о седло клапана. В таких случаях для закрывания и открытия вентилях пользуются всевозможными ключами и рычагами, которые вызывают чрезмерный износ резьбы корпуса и клапана, заедание в резьбе и образование в полости вентиля латунной стружки.

Весьма опасным является присутствие в полости вентилях разрыхленной фибровой прокладки, которая может воспламениться даже в результате трения седла шпинделя о ее поверхность.

Чтобы исключить возможность воспламенения кислородных вентилях, необходимо соблюдать следующие основные правила.

1. Корпуса и шпиндели вентилях как баллонных, так и рамповых следует изготавливать только из латуни.

2. Поверхность фибровых сальниковых прокладок баллонных и рамповых вентилях необходимо смазывать парафином (лучше всего для этой цели окунать прокладку в расплавленный парафин).

3. Состояние прокладок баллонных вентилях нужно систематически контролировать. В случае появления на поверхности прокладки разрыхления, ее надо немедленно заменить.

4. При повороте маховичка вентиля (баллонного и рампового) шпиндель должен вращаться легко, без заедания. Если обнаружено заедание в резьбе или для вращения шпинделя и уплотнителя клапана требуется большое усилие, вентиль следует отремонтировать или заменить.

5. Перед присоединением редуктора к баллону или баллонов к ramпе каждый вентиль баллона или ramпы следует продувать.

Продувка производится путем медленного кратковременного открывания клапана вентиля на 0,25—0,5 оборота. При открывании вентиля нельзя находиться против его штуцера, а также пробовать струю газа рукой. После продувки вентиль должен быть закрыт от руки без применения ключей.

Коллекторы и эмеевики кислородных ramп должны изготавливаться только из медных труб.

ЗАМЕРЗАНИЕ РЕДУКТОРОВ И ЗАПОРНЫХ ВЕНТИЛЕЙ [5]

Так как дросселирование газа при прохождении его через седло редуктора вызывает понижение температуры, то содержащиеся в газе пары воды при определенных условиях (низкая температура окружающего воздуха и интенсивный отбор газа) конденсируются, замерзают и, оседая на седле клапана и в его канале, закупоривают проход для газа. Наиболее часто замерзают редукторы и вентилях кислородных баллонов при кислородной резке (при больших расходах кислорода).

Во избежание замерзания целесообразно перед поступлением газа в редуктор подвергать газ осушке, пропуская его через сосуд, наполненный массой, задерживающей влагу (силикагелем или алюмогелем), либо веществом, поглощающим или химически связывающим влагу (хлористым кальцием, каустической содой, негашеной известью и т. п.).

При больших расходах газа необходимо пользоваться специальными рамповыми редукторами.

В стационарных установках, в особенности рамповых, замерзание редукторов можно предупреждать, применяя предварительный подогрев кислорода, поступающего в редуктор, или обогрев корпуса редуктора.

Если несмотря на принятые меры редуктор замерз, можно произвести частичный отогрев его, обкладывая корпус и входной штуцер тряпками, смоченными в горячей воде. Отогрев при помощи открытого огня или раскаленных предметов запрещается.

Для полного отогрева редуктор нужно перенести в теплое помещение. После отогрева его следует продуть для удаления влаги.

Явление замерзания может иметь место и в запорных вентилях баллонов и ramп вследствие дросселирования газа в узких частях проходных каналов и при резкой перемене направления потока газа. Поэтому при больших расходах отбор газа нужно вести одновременно из нескольких баллонов, объединенных в ramпу. Отогрев замерзших вентилях также можно осуществлять только горячей водой или в теплом помещении.

ТРУБОПРОВОДЫ [1], [5]

Все распределительные и коммуникационные трубопроводы для ацетилена и других горючих газов, а также для кислорода, при рабочем давлении до 16 атм, изготавливаются из стальных бесшовных труб и монтируются при

помощи сварки. Резьбомуфтовые соединения применяются только в помещениях ацетиленовой станции, а фланцевые, кроме того, в помещениях перепускных рампы для присоединения приборов и арматуры, а также при устройстве монтажных соединений в неудобных для сварки местах.

Кислородные трубопроводы, работающие под давлением свыше 16 *ати*, при наружной прокладке изготавливаются только из красной меди или латуни.

Арматура кислородопроводов также изготавливается только из цветных металлов. Материал арматуры ацетиленопроводов не должен содержать меди более 70%.

Все трубопроводы следует надежно заземлять во избежание накапливания статического электричества, образующегося в результате трения частиц газа о стенки труб.

Трубопроводы не должны касаться электрических проводов и кабелей. В противном случае при коротких замыканиях возможно образование электрических искр, что особенно опасно для ацетиленовых трубопроводов. Чтобы предупредить возникновение детонации в ацетиленовых трубопроводах среднего и высокого давления необходимо, кроме сказанного, соблюдать следующие правила: внутренний диаметр ацетиленовых трубопроводов, работающих под давлением от 0,1 до 1,5 *ати*, должен быть не более 50 мм; свыше 1,5 *ати* — не более 20 мм; при значительных расходах ацетилена и необходимости иметь трубопровод большого сечения следует изготавливать его из нескольких параллельных ветвей.

Над предохранительными устройствами, расположенными в помещениях или закрытых каналах, обязательна установка вытяжных труб.

ИСПЫТАНИЕ КИСЛОРОДО- И АЦЕТИЛЕНОПРОВОДОВ [5]

Перед пуском в эксплуатацию газопроводы должны быть подвергнуты гидравлическому и пневматическому испытаниям.

Гидравлическое испытание на прочность производится при следующих давлениях:

для кислородопроводов с рабочим давлением ниже 5 *ати* $p_u = 1,25 p_r$, но не менее 2 *ати*;

для кислородопроводов с рабочим давлением 5 *ати* и более $p_u = 1,25 p_r$, но не менее $p_r + 3$ *ати*;

для ацетиленопроводов — по формуле

$$p_u = 13 (p_r + 1) - 1,$$

где p_u и p_r — соответственно испытательное и рабочее давления газа в *ати*.

Трубопроводы, в которых обнаруживаются разрывы, видимые деформации, течи и местные отпотевания, бракуются. Испытательное давление поддерживается в течение 5 мин, после чего снижается до рабочего, при котором производится наружный осмотр трубопровода по всей длине с обстукиванием сварных швов.

Пневматическим испытанием проверяется плотность сварных соединений, фланцев, сальников арматуры и т. п.

Испытание должно производиться азотом или сжатым воздухом (для кислородопроводов — очищенным от масла), со смачиванием мыльной водой всех сварных и паяных стыков, фланцев и сальников арматуры. Отсутствие видимых протечек (мыльных пузырьков) свидетельствует о герметичности трубопроводов.

Ацетиленопроводы с рабочим давлением до 1,5 *ати* испытываются давлением в 3 *ати*, остальные трубопроводы — при рабочем давлении.

После наложения изоляции, окончательного монтажа и засыпки землей трубопровод продувается воздухом (кислородопровод — очищенным от масла) или азотом для удаления окалины, воды и т. п.; затем подвергается контроль

ному испытанию на плотность сжатым воздухом или азотом при давлении, для ацетилена в полтора раза превышающем рабочее, но не менее 1 *ати*; для остальных газов при давлении, равном рабочему. Испытываемый ацетиленопровод выдерживается под давлением в течение 24 час. для выравнивания температуры по всей длине, остальные трубопроводы — не менее 8 час., после чего определяется утечка. Для кислорода давлением до 16 *ати* часовая утечка не должна превышать 1% объема газа в трубопроводе в начале испытания; для всех горючих и кислорода давлением 16 *ати* и выше — 0,5%.

Время, в течение которого определяется утечка, устанавливается в зависимости от местных условий, но во всех случаях оно не должно быть менее одного часа.

Величина утечки определяется по формуле

$$V = \frac{100}{A} \left[1 - \frac{p_k (273 + t_n)}{p_n (273 + t_k)} \right],$$

где V — часовая утечка в %; A — время испытания, в течение которого определяется утечка, в час.; p_n и p_k — абсолютное давление в трубопроводе в начале и в конце испытания в *ати* или в мм вод. ст.; t_n и t_k — температура газа в трубопроводе в начале и в конце испытания в град.

Перед пуском в эксплуатацию трубопроводы должны быть продуты газом, для которого они предназначены. Продувку производят из расчета не менее трехкратного обмена газа в трубопроводе с учетом объема всех ответвлений и сосудов, расположенных на пути газа. Для продувки трубопровода на всех конечных точках ответвлений должны быть установлены продувочные вентили.

РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ

При движении газа по трубопроводу часть энергии (давления) газа затрачивается на преодоление сил трения. Величина потерь энергии на трение зависит от диаметра трубопровода, его длины, расхода, давления и удельного веса газа, а также от степени шероховатости его внутренних стенок.

Потерю давления газа в трубопроводе в общем случае (для стальных труб обычной поставки) можно определять по формуле

$$\Delta p = \frac{60sLV^2}{d^{5,25} p_c},$$

где $\Delta p = p_n - p_k$ — потеря давления для рассчитываемого участка трубопровода в *ати*; s — относительный удельный вес газа (по отношению к воздуху); L — длина трубопровода в м, V — объемный часовой расход газа, приведенный к температуре 20° С и давлению 760 мм рт. ст., в м³/час; d — внутренний диаметр трубопровода в мм; p_c — среднее давление в трубопроводе в *ати*;

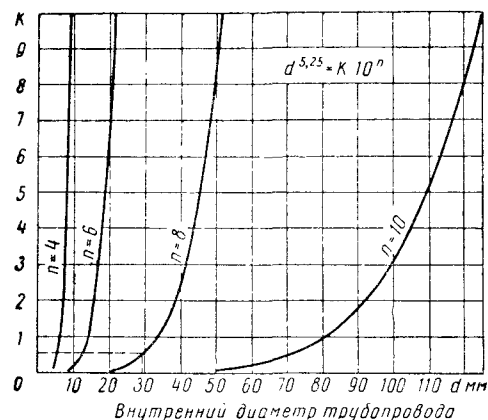
$$p_c = \frac{p_n + p_k}{2} + 1;$$

p_n и p_k — избыточное начальное и конечное давление газа в *ати*.

На практике V , p_n , s и L обычно бывают известны; величиной Δp задаются исходя из производственных соображений таким образом, расчет сводится к определению необходимого внутреннего диаметра трубопровода и толщины стенки.

Для определения величины d подсчитывают сначала значение

$$d^{5,25} = \frac{120 \cdot LV^2}{\Delta p (2p_n + 2 - \Delta p)}.$$



Приводя полученную величину к виду $K \cdot 10^n$, можно по графику (см. фигуру), легко определить d .

Так, например, если рассчитывается трубопровод для ацетилена ($s = 0,91$) со следующими исходными параметрами: $V = 5 \text{ м}^3/\text{час}$; $p_n = 0,02 \text{ атм}$; $L = 200 \text{ м}$ и $\Delta p = 0,005 \text{ атм}$, то

$$d^{5,25} = \frac{120 \cdot 0,91 \cdot 200 \cdot 5^2}{0,005 (2 \cdot 0,02 + 2 - 0,005)} \approx 0,54 \cdot 10^8;$$

по графику $d \approx 29 \text{ мм}$.

Толщина стенки кислородного трубопровода определяется по формуле

$$\delta \geq \frac{1,5 p_n d}{2000} + 1 \approx \frac{p_n d}{1330} + 1,$$

ацетиленового — по формуле

$$\delta \geq \frac{[13(p_n + 1) - 1] d}{2000} + 1 \approx \frac{(p_n + 1) d}{155} + 1.$$

В последних формулах под p_n понимается наибольшее возможное рабочее давление в трубопроводе. Формулы соответствуют допускаемому напряжению в стенках, равному 10 кг/мм^2 .

По известным d и δ выбирается наружный диаметр трубопровода с округлением до ближайшего большего по ГОСТу.

Для определения величины потери давления в трубопроводе с заданными размерами расчет следует производить по формуле

$$\Delta p = (p_n + 1) - \sqrt{(p_n + 1)^2 - K_c V^2} \text{ или } \Delta p = \sqrt{(p_n + 1)^2 + K_c V^2} - (p_n + 1),$$

в зависимости от того, какое давление принимается за исходное (начальное или конечное). В этой формуле $K_c = \frac{120 \cdot s L}{d^{5,25}}$ — так называемый коэффициент сопротивления трубопровода.

ПРОФИЛАКТИЧЕСКИЙ ОСМОТР И РЕМОНТ ГАЗОСВАРОЧНОЙ АППАРАТУРЫ И МАШИН

Содержание аппаратуры и машин в исправном состоянии зависит от правильной эксплуатации, проведения систематических осмотров и своевременного выполнения необходимого ремонта. Ремонт аппаратуры должен выполнять работник, знакомый с конструкцией и особенностями газосварочной аппаратуры. Осмотр и ремонт ацетиленовых генераторов можно производить только под руководством инженера или мастера.

В систему планово-предупредительного ремонта [6] входят следующие мероприятия.

1. Межремонтное обслуживание, являющееся главным профилактическим мероприятием по поддержанию аппаратуры и машин в рабочем состоянии. Оно проводится в процессе работы и заключается в контроле за содержанием и правильной эксплуатацией аппаратуры и машин, в выявлении и устранении мелких неисправностей.

Примерные сроки проведения профилактических осмотров и испытаний аппаратуры и машин для сварки и резки приведены в табл. 1 и 2.

1. Примерные сроки профилактических осмотров и испытаний газосварочной аппаратуры

Наименование аппаратуры	Характер испытания	Периодичность проверки в днях
Горелки и резаки	Испытание на плотность всех соединений кислородом (воздухом, азотом)	30
Керосинорезы и бачки	Испытание на плотность всех соединений кислородом (воздухом, азотом) и керосином	30
Редукторы и регуляторы давления	Испытание на плотность всех соединений; проверка работы предохранительного клапана; проверка резьбы накидной гайки резьбомером, а граней — угольником	30
Рукава (шланги)	Испытание на газонепроницаемость опусканием в воду рукава, наполненного сжатым воздухом (азотом) под давлением	30
Ацетиленовые генераторы (газообразователи и другие сосуды)	Разгрузка; заполнение водой до максимального уровня; промывка водой из шланга; продувка азотом; очистка стенок; осмотр; испытание на плотность	60
Водяные затворы. Обратные и предохранительные клапаны и другие узлы и механизмы	Разборка; очистка; осмотр; притирка клапанов; сборка; испытание на плотность и на заданный режим	15

2. Текущий ремонт, проводимый для восстановления аппаратуры и оборудования путем устранения дефектов, выявленных при профилактическом осмотре и испытании. Ремонт заключается в чистке и промывке узлов и механизмов, замене или восстановлении износившихся деталей и в регулировании основных узлов и механизмов.

3. Капитальный ремонт, включающий полную разборку аппаратуры и машин, проверку работы всех узлов и механизмов, замену полностью износившихся деталей и узлов и восстановительный ремонт остальных.

Номенклатура наиболее изнашиваемых узлов и деталей газосварочной аппаратуры и примерные сроки службы, после которых они заменяются или направляются в капитальный ремонт, приведены в табл. 3. Указанные сроки

2. Примерные сроки профилактических ремонтов и испытаний стационарных и переносных машин для кислородной резки

Наименование узлов машин	Характер испытаний	Периодичность проверки в днях
Электродвигатель	Проверка работы, степени нагрева, регулирование щеток	60
Электровыключатели	Проверка надежности работы	30
Реостат	Проверка плавности регулирования и степени нагрева	
Магнитная головка	Проверка силы притяжения и степени износа рабочей поверхности пальца	60
Ведущий ролик переносной машины	Проверка степени износа рабочей поверхности и отсутствия люфта и биения	30
Коробка скоростей	Проверка отсутствия люфтов и шума при работе и состояния масла в картере и местах периодической смазки	60
Ходовая часть	Проверка сопротивления перемещению; контроль чистоты направляющих или шарниров и отсутствия повреждений	30
Резаки	Испытание на плотность; чистка мундштуков	
Суппорты	Проверка надежности крепления резака и легкости регулировки	
Газовые коммуникации	Испытание на плотность всех соединений	

являются ориентировочными и соответствуют работе в стационарных условиях при регулярном проведении текущих профилактических ремонтов.

При ремонте ацетиленовых генераторов необходимо иметь в виду, что внутри генератора, из которого выпущен ацетилен, может содержаться взрывоопасная ацетилено-воздушная смесь. Кроме того, на внутренних стенках генераторов, бывших в эксплуатации, осаживается ил, под коркой которого могут находиться неразложившийся карбид и ацетилен.

Поэтому перед ремонтом генератор необходимо промыть, продуть и очистить.

Внутренние стенки сосуда предварительно промываются струей воды, подаваемой из шланга под напором. Затем генератор трехкратно заполняется водой (желательно горячей) с полным опорожнением через 10—15 мин. после

3. Номенклатура быстросъёмных узлов и деталей газосварочной аппаратуры и примерные сроки их службы

№ группы	Наименование группы и подгруппы аппаратуры	Марки	Наименование основных узлов и деталей	Примерный срок службы
I	Горелки: а) для сварки, нагрева и пайки	СУ, ГС, ГСМ	Ствол Наконечник Мундштук	12 мес. 8 » 600 час.
		«Москва»	Ствол Наконечник Мундштук	36 мес. 24 » 1200 час.
	б) многопламенные для поверхностной закалки, очистки поверхности стальных изделий для газопрессовой сварки	МЗГ, ГПЗ, КГ	Ствол Наконечник (мундштук) ¹ Смесительное устройство	18 мес. 800 час. 12 мес.
II	Резаки: а) ручные для разделительной и поверхностной резки газообразными горючими	УР, РР	Ствол Мундштук ¹ Опорная тележка и циркульное устройство	12 мес. 700 час. 24 мес.
		«Пламя»	Ствол	36 мес.
	б) для разделительной резки жидким горючим	К-48, К-51	Ствол Мундштук ¹ Сопло испарителя ¹ Асбестовая оплетка ¹ Опорная тележка и циркульное устройство	12 мес. 500 час. 400 » 100 » 24 мес.
	в) для кислородно-флюсовой резки	РКРФ	Ствол Мундштук ¹ Дополнительный инжектор Сопло вставка	12 мес. 6 » 800 час. 8 мес.
	в) для подводной резки	УПР, БУПР	Корпус и ствол Мундштук ¹	12 мес. 12 »
	д) специальные для разделительной резки	РАЗ, РАО, РАТ	Ствол Мундштук ¹	12 мес. 12 »
		РР 600	Ствол Мундштук ¹ Сопло — вставка ¹ Опорная тележка Манометр	18 мес. 700 час. 200 » 18 мес. 12 »

¹ Отмеченные детали после указанного срока подлежат замене, остальные — во-
ставовите. (ному ремонту.

Продолжение табл. 3

№ группы	Наименование группы и подгруппы аппаратуры	Марка	Наименование основных узлов и деталей	Примерный срок службы
III	Редуцирующие приборы: а) кислородные рамповые редукторы	KPP, PK	Пусковой редуктор Мембрана ¹ Регулировочный винт Клапан ¹ Запорная пружина ¹ Нажимная пружина	24 мес. 12 » 12 » 6 » 24 » 24 »
	б) баллонные и постовые редукторы и регуляторы давления	PK, РКД, ДАР, РВ, РД	Мембрана Регулировочный винт Клапан ¹ Запорная пружина ¹ Нажимная пружина ¹	6 мес. 12 » 4 » 12 » 12 »
IV	Рукава для кислорода, газообразных и жидких горючих	—	Рукава резино-тканевые для газов Рукава для бензорезов	18 мес. 12 »
V	Машины для кислородной резки, стационарные и переносные	АСШ, АСП, ПМР, ПП и др.	Электродвигатель Электровыключатели Коробка скоростей Магнитная головка Магнитный палец ¹ Ведущее колесо (переносного прибора) ¹ Реостат Вариатор тележки ПМР-600 Фрикционный диск вариатора ¹ Ходовая часть и направляющие Резак (ствол) Мундштуки ¹	36 мес. 12 » 36 » 36 » 6 » 12 » 12 » 24 » 6 » 36 » 24 » 500 час.

¹ Отмеченные детали после указанного срока подлежат замене, остальное — восстановительному ремонту.

каждого заполнения. Рекомендуется после промывки продуть генератор азотом или другим инертным газом.

Если после промывки на внутренних стенках генератора остался ил, его следует счистить латуниным или алюминиевым скребком, после чего еще раз промыть генератор до полного удаления остатков ила.

Если при ремонте генератора предполагается применение сварки, резки или других методов обработки с использованием открытого огня, необходимо заполнить генератор водой до наивысшего возможного уровня, а все патрубки, штуцеры и люки, расположенные выше этого уровня, открыть.

В остальном способы ремонта не отличаются от обычных, применяемых при ремонте сосудов.

МАТЕРИАЛЫ И ПРОКЛАДКИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ РЕМОНТЕ ГАЗОСВАРОЧНОЙ АППАРАТУРЫ [8], [9]

4. Материалы для ремонта газосварочной аппаратуры

Название материала и марка	ГОСТ на химический состав	Сортамент и размеры	ГОСТ на сортамент и технические условия	Назначение
<i>Цельные металлы</i>				
Латунь (ЛС 59-1)	1019-47	Прутки круглые, квадратные и шестигранные	2060-48	Инжекторы, смесительные камеры, корпуса, шпиндели, гайки, штуцеры, сальниковые кольца и т. п.
Латунь Л62		Трубы Проволока	494-52 4066-58	Трубки Штифты
Красная медь МЗ	859-41	Лист Прутки круглые и шестигранные Трубы	495-50 1535-48 617-53	Прокладки Мундштуки Трубки
Свинцово-сурьмянистый сплав	Свинец 94% Сурьма 6%	Лист толщиной 4,2 мм	Специальные технические условия	Уплотнительные кольца горелок и резак
Алюминий АД1-М	4784-49	Лист	1946-50	Рукоятки, прокладки
Сетка бронзовая	—	№ 018 или 021 пористой плотности	3584-53	Фильтры редукторов
Фольга свинцовая	—	Лист	1927-47	Мембраны разрывные
Припой оловянно-свинцовый ПОС-30	1499-54	Прутки Чушки	—	Для пайки трубок, штуцеров редукторов (температура плавления 234°)
Припой серебряный ПСр-25	8190-56	Лист	—	Для пайки трубок, накопителей, корпусов, рамы и т. п. (температура плавления 765°)

Продолжение табл. 4

Название материала и марка	ГОСТ на химический состав	Сортамент и размеры	ГОСТ на сортамент и технические условия	Назначение
<i>Черные металлы</i>				
Сталь Мст.0 — Мст.3	380-60	Лист 0,9—6 мм	3680-57 5681-57	Скобы, ручки, тележки резачков и т. п.
Сталь Ст.2		Трубы	3262-55	Трубы
Сталь Ст.3		Болты, гайки и шайбы черные; шайбы чистые; прутки	—	Крепежные детали
Сталь 10	1050-60	Пруток круглый и шестигранный	7417-57 8560-57	Гайки, воротки, штанги
Сталь 45		Пруток круглый и шестигранный	7417-57 8560-57	Ножки циркуля, ключи
Проволока пружинная марок Ч, П, В, 50ХФА	5047-49 2052-53	Проволока	5047-49 3704-47	Пружины
Сталь X18	5632-51	Шарики	3722-54	Уплотняющие узлы вентиля резачков и горелок
Сталь 1Х18Н9Т	1414-54	Пруток круглый	7417-57	Клапаны шпинделей
Сталь автоматная А12		Пруток шестигранный	8560-57	Гайки, точеные шайбы, винты и т. п.
Асбест	1779-55	Шнур диаметром 3 мм	—	Набивка сальников ¹
—	ТУМХП-1277	Шнур с медной или латунной проволокой	—	Оплетка в керосинорезах

¹ Для сальников газовых вентилях шнур следует пропитывать расплавленным парафином, для сальников, сопрягающихся с керосином бензином и т. п. — вазелином мылом.

Замеченные опечатки

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть
27	7-я сверху	$\frac{q}{v} \delta$	$\frac{q}{v \delta}$
34	Уравнение (30)	$g_p = w \gamma \frac{\pi}{4} d^2 \frac{0,24 \eta_0 U I}{S_k - S_m}$	$g_p = w \gamma \frac{\pi}{4} d^2 = \frac{0,24 \eta_0 U I}{S_k - S_m}$
54	Табл. 2, графа 2-я, 1-я снизу	2317	2317°K
80	23-я снизу	фиг. 31	фиг. 32
91	Табл. 30, графа 2-я, 2-я снизу	$1,38 \cdot 10^{-8}$	$1,38 \cdot 10^{-6}$
101	Фиг. 44, подпись под фигурой	Кривые (1) — проволока Св-10Г2 (0,8—1,1); кривые (2) — проволока Св-15Г (1,5—1,9 мм) [63].	Точки — проволока Св-15Г; крестики — проволока Св-10Г2.
109	30-я сверху	90°С	— 95,7°С
121	3-я и 6-я снизу	(69)	(71)
122	Табл. 56 и 57, 2-я и 3-я графы справа	$[C] \cdot [O] \cdot 10^{-4}$	$[C] \cdot [O] \cdot 10^4$
137	3-я снизу	(99)	(97)
158	4-я и 3-я снизу	возникающего и распространяющегося	возникающего по границам зерен и распространяющегося
159	24-я сверху	высокими свойствами	высокими вязкими свойствами
159	7-я снизу	$u_{кр}$	$w_{кр}$
180	Фиг. 13, подпись под фигурой	5—35 мм;	5—53 мм;
230	Табл. 1 (головка)	УСМ-1200 УСМ-5000	СМ-1200 СМ-5000
267	Табл. 7	Сварочный ток в а 150-650	Сварочный ток в а 150-600
276	19-я снизу	А-538	А-564
277	Табл. 10, графа 2-я, 6-я снизу	А-538	А-564
434	12-я сверху	1,5—1,5 мм	1,5 + 1,5 мм
436	12-я снизу	электронными	игнитронными
454	13-я сверху	Гуллев	Гуляев

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть
456	6-я сверху	$I_{\partial\lambda} = I_{ном} \sqrt{ПВ}$	$I_{\partial\lambda} = I_{ном} \sqrt{\frac{ПВ}{100}}$
456	Табл. 1, графа 4-я, 1—3-я сверху	20 25 31	28 36 45

Поправки

Стр. 26, 28 и 29. На фиг. 24, А и Б вместо $T_m - T_9$ читать $T - T^0$

Стр. 61. В табл. 7 для температур 1800, 2000 и 2300° вместо приведенных цифр должно быть:

1800	2000	2300
$0,72 \cdot 10^{-9}$	$3,1 \cdot 10^{-9}$	$1,5 \cdot 10^{-8}$
$2,83 \cdot 10^{-9}$	$1,27 \cdot 10^{-8}$	$0,6 \cdot 10^{-7}$
$1,78 \cdot 10^{-8}$	$7,80 \cdot 10^{-8}$	$0,38 \cdot 10^{-6}$
$0,72 \cdot 10^{-7}$	$3,1 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$
—	$1,27 \cdot 10^{-6}$	$0,6 \cdot 10^{-5}$
—	—	$1,36 \cdot 10^{-5}$
$3,4 \cdot 10^{-7}$	$4,8 \cdot 10^{-6}$	$1,08 \cdot 10^{-4}$

Стр. 66. В табл. 13 вместо приведенных цифр должно быть:

Графа	Напечатано	Должно быть	Графа	Напечатано	Должно быть
5-я	0,0380	0,0380	7-я	0,01550	0,0033
	0,0038	0,0121		0,00978	0,0021
	0,0026	0,0076		0,00616	0,0013
	0,0002	0,0048	8-я	0,0779	0,0376
6-я	0,2300	0,1080		0,0490	0,0235
	0,0840	0,0342		0,0309	0,0149
	0,0505	0,0215	10-я	1,520	0,715
	0,0310	0,0126		0,962	0,450
				0,783	0,284

СПРАВОЧНИК
ПО СВАРКЕ

С ПРАВОЧНИК
ПО СВАРКЕ