ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 3

Глава I. Краткие сведения о контактной сварке и об оборудовании для нее 5

Глава II. Технологические основы контактной сварки 11

§ 1. Формирование соединения без расплавления металла 11
§ 2. Формирование соединения при наличии расплава 13
§ 3. Взаимосвязь температуры, давления и длительность их действия 15
§ 4. Электрическое сопротивление 15
§ 5 Особенности нагрева 18
§ 6 Структура сварного соединения 18

Глава III. Общие узлы контактных машин 19

§ 7. Преобразователи тока и накопители энергии 20
§ 8. Переключатели ступеней 24
§ 9. Контакторы и прерыватели 26
§ 10. Сварочный контур 29
§ 11. Электроды 31
§ 12. Привод электродов 39
§ 13. Аппаратура управления 43

Глава IV. Технология стыковой сварки 55

§ 14. Разновидности стыковой сварки 55
§ 15. Формирование соединения и его прочность 57
§ 16. Выбор разновидности сварки 58
§ 17. Подготовка к сварке 59
§ 18. Сварка сопротивлением 60
§ 19. Сварка оплавлением 61
§ 20. Сварка оплавлением различиых материалов 70
§ 21. Термическая обработка и зачистка грата 76
§ 22. Краткая технология сварки 76

Глава V. Машины для стыковой сварки 86

§ 23. Станины и плиты 86
§ 24. Зажимы 86
§ 25. Привод 87
§ 26. Электрические схемы 90
§ 27. Типовые машины 92
§ 28 Специализированные машнны 99

Глава VI. Технология точечной сварки 101

§ 29 Разновидности точечной сварки 102
§ 30. Формирование ядра и его прочность 103
§ 31. Подготовка к сварке и правка сварных деталей 107
§ 32. Выбор режима сварки 108
§ 33. Сварка разлнчных материалов 111
§ 34. Сварка материалов неравной толщины 117
§ 35. Односторонняя сварка 119

Глава VII. Машины для точечной сварки 121

§ 36. Стаиины и привод электродов 121
§ 37. Электрическне схемы 126
§ 38. Типовые машины 126
§ 39. Специальные машины 131

Глава VIII. Технология шовной сварки 138

§ 40. Разновидности шовной сварки 138
§ 41. Формирование соединения 140

§ 42. Подготовка к сварке 142
§ 43. Режимы сварки 142

Глава IX. Машины для шовной сварки 148

§ 44. Станины, приводы сжатия и электроды 148
§ 45. Электрические схемы 152
§ 46. Типовые машины 156
§ 47 Специальные машины 157

Глава X. Технология рельефной сварки 159

§ 48. Разновидности рельефной сварки 160
§ 49. Формирование соединения и его прочность 162
§ 50. Подготовка деталей к сварке 164
§ 51 Выбор параметров режима сварки 165

Глава XI. Машины для рельефной сварки 168

§ 52. Типовые и специальные машины 169

Глава XII. Шовно-стыковая сварка 172

§ 53. Разновидности шовно-стыковой сварки 172
§ 54. Подготовка к сварке 173
§ 55. Формирование соединения и его свойства 173
§ 56 Сварка с накладками 174
§ 57 Сварка с раздавливанием кромок 175

Глава XIII. Машины для шовно-стыковой сварки 177

§ 58. Машины для сварки с накладками 177
§ 59. Машины для сварки с раздавливанием кромок 178

Глава XIV. Некоторые виды сварки давлением и оборудование для них 180

§ 60 Холодная сварка 180
§ 61 Диффузионная сварка 184
§ 62. Сварка трением 186
§ 63. Ультразвуковая сварка 192
§ 64. Сварка взрывом 196

Глава XV. Настройка и контроль работы машин 197

§ 65. Настройка машин 197
§ 66. Контроль работы машин 198

Глава XVI. Дефекты, контроль качества сварных соединений и правила безопасной сварки 200

§ 67. Дефекты стыковой сварки 200
§ 68. Дефекты точечной сварки 200
§ 69. Дефекты рельефной сварки 204
§ 70. Дефекты шовной сварки 204
§ 71. Контроль качества сварки 205
§ 72. Правила безопасной работы 208
§ 73. Причины пожаров, средства их тушения и правила пожарной безопасности 210

Условные обозначения 212
Литература 213

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с решениями XXV съезда КПСС главной задачей развития народного хозяйства СССР остается последовательное осуществление курса Коммунистической партии на подъем материального и культурного уровня жизни народа. Эта задача в десятой пятилетке будет решена на основе динамического и пропорционального развития общественного производства и повышения его эффективности, ускорения научно-технического прогресса, роста производительности труда, всенародного улучшения качества работы во всех звеньях народного хозяйства, и в частности в сварочном производстве.

Расширение и реконструкция предприятий сварочного машиностроения позволит получить в необходимом ассортименте достаточное количество универсальных и специальных сварочных машин или агрегатов для комплексно-механизированных отделений, участков, поточных и конвейерных линий массового и крупносерийного производства. Должное внимание будет уделено высокопроизводительной, легкоавтоматизируемой контактной сварке, которая обеспечивает стабильное качество, высокую эффективность, культуру производства и улучшает условия труда.

Контактная сварка, предложенная в 1882 г. нашим соотечественником Н. Н. Бенардосом, как «способ соединения металлов непосредственным действием электрического тока» широко применяется в автомобильной, авиационной и электронной промышленности, при металлургической переработке металла, в котло- и турбостроении, при монтаже трубопроводов, укладке железнодорожных рельсов, производстве бытовых приборов и т. д.

В настоящее время при изготовлении автомобилей и котельных установок до 70% сварочных работ выполняют контактной сваркой. Современные самолеты имеют по нескольку миллионов сварных точек и сотни метров швов, выполненных контактной сваркой.

Контактная сварка осуществляется с местным нагревом соединяемых деталей электрическим током и их пластической деформацией в зоне нагрева. Переменный, постоянный или импульсный токи, используемые для нагрева, подводятся к деталям при их сдавливании электродами. На участках электрод—деталь и между деталями при этом создается переходное сопротивление току. Местный нагрев деталей достигается вследствие более высокого сопротивления в контакте между ними. Это сопротивление называется контактным, а сварка,

при которой оно используется для концентрированного местного нагрева, — контактной. При контактной сварке используется тепловая энергия и давление. Поэтому ее относят к термомеханическому классу. К этому же классу относят диффузионную и печную сварку. Термический класс (дуговая, электрошлаковая и др.), осуществляемый плавлением с использованием только тепловой энергии, в данном учебнике не рассматривается. К механическому классу относят холодную сварку, сварку трением, ультразвуком и взрывом, которые осуществляются механической энергией: они различаются степенями и скоростями деформации металла в зоне соединений, а также температурой и длительностью ее действия. Так, холодная сварка осуществляется быстро без внешних источников нагрева, обычно с большой (на воздухе) степенью деформации металла соединения, а диффузионная — разными источниками нагрева при относительно длительном воздействии повышенной температуры и незначительной деформации в плоскости соединений.

Быстрое развитие контактной сварки требует непрерывного пополнения нашей промышленности сварщиками высокой квалификации, знающими технологию этих процессов и оборудование. Сварщиков готовят в сети профессионально-технических училищ.

Система профтехобразования достигла высокого уровня развития, стала основной школой подготовки квалифицированных рабочих кадров для народного хозяйства, она вносит значительный вклад в осуществление всеобщего среднего образования молодежи. Многие советские люди, получившие первую трудовую закалку в профессионально-технических учебных заведениях, самоотверженно трудятся на важнейших участках коммунистического строительства, достойно продолжают и приумножают славные традиции рабочих — ведущей силы советского общества. В народное хозяйство ежегодно вливается более двух миллионов выпускников училищ.

Десятая пятилетка — это пятилетка качества и высокой эффективности производства. Выпускать продукцию отличного качества, совершенствовать методы труда, соблюдать новейшую передовую технологию могут только рабочие, хорошо овладевшие теорией и передовыми приемами и методами труда.

Изучение теоретических основ сварочного производства в сочетании с полученным в ПТУ производственным обучением позволяет начинающему рабочему в краткий срок стать квалифицированным сварщиком.

ГЛАВА I

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О КОНТАКТНОЙ СВАРКЕ И ОБ ОБОРУДОВАНИИ ДЛЯ НЕЕ

Контактная сварка — сварка с применением давления, при которой нагрев производится теплом, выделяемым при прохождении электрического тока через находящиеся в контакте соединяемые детали.

Нагрев проводника током, впервые отмеченный русским академиком Э. Ленцем и английским физиком Д. Джоулем, обусловлен

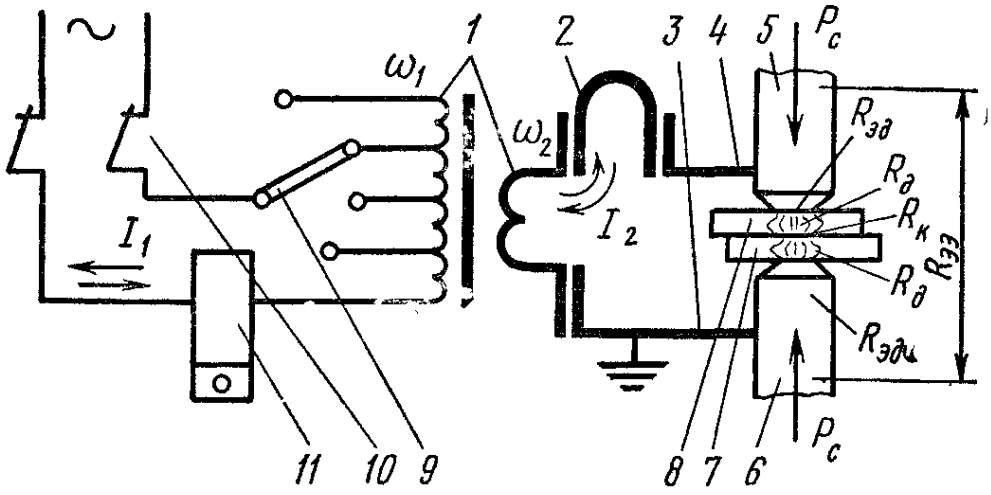


Рис. 1. Принципиальная схема контактной машины:
1 — трансформатор, *2* — гибкая перемычка, *3*, *4* — токоподводы, *5*, *6* — электроды, *7*, *8* — детали, *9* — переключатель, *10* — контактор, *11* — регулятор времени

столкновениями движущихся направленно валентных электронов с ионами и увеличением амплитуды колебания последних от передаваемой электронами энергии.

По закону Джоуля—Ленца тепло, выделенное за время t при прохождении электрического тока I через твердый или жидкий проводник с сопротивлением R, равно

$$Q = kI^2Rt,$$

где k — коэффициент пропорциональности между тепловой Q и электрической I^2Rt энергиями.

С увеличением длины l, удельного сопротивления ρ и уменьшением сечения проводника F сопротивление R увеличивается:

$$R = m\frac{\rho l}{F},$$

где $m \leqslant 1$ — коэффициент поверхностного эффекта, обусловленный неравномерным распределением переменного тока по проводнику.

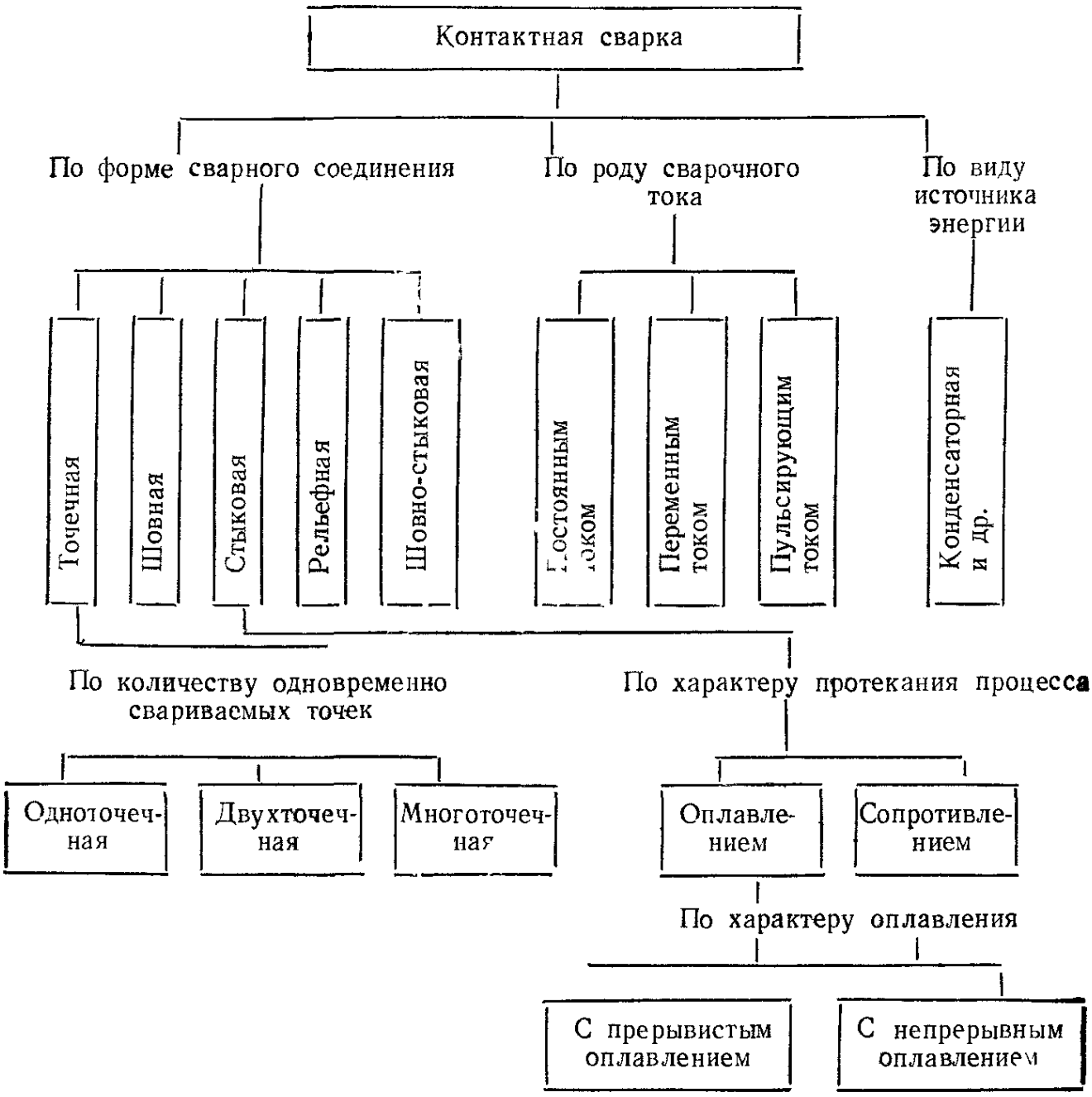


Рис. 2. Классификация контактной сварки

С учетом этой зависимости, а также законов Джоуля—Ленца и Ома можно найти количество выделяемого тепла Q, которое нагревает проводник до требуемой температуры T.

$$Q = \frac{k}{m} \cdot \frac{U^2 F}{\rho l} \cdot t.$$

Определение Q затруднено изменением ρ и m, а также потерь тепла конвекцией, лучеиспусканием и теплопроводностью при нагреве проводника. Без учета потерь теплопроводностью нагрев проводника от T_1 до T_2 (на ΔT) зависит от плотности тока j, причем у круглых проводников на ΔT влияет их диаметр d, а у плоских — отношение сечения F к периметру $П$ проводника:

$$\Delta T = \frac{\rho}{k} j^2 \frac{d}{4}\ ;\quad \Delta T = \frac{\rho}{k} j^2 \frac{F}{П}$$

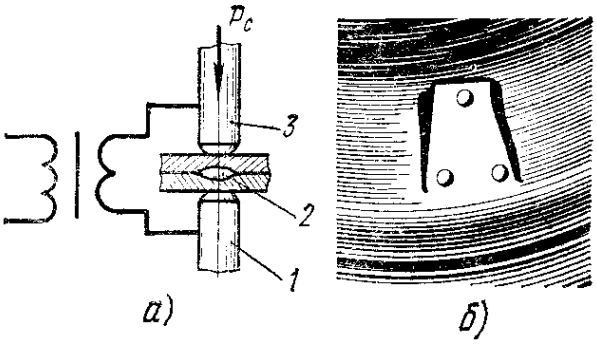


Рис. 3. Схема точечной сварки (*а*) и сварные точки (*б*)

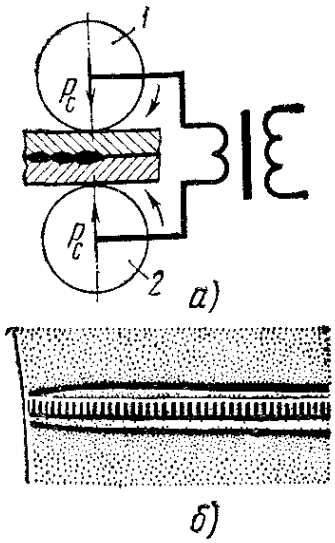


Рис. 4. Схема шовной сварки (*а*) и свариой шов (*б*)

Из равенств видно, чем меньше d или $F/П$, тем для нагрева проводников от T_1 до одинаковой температуры T_2 (на ΔT) необходимо большее j.

При точечной сварке проводник состоит из двух деталей и к сопротивлению $2R_д$ (рис. 1) добавляется контактное сопротивление R_k и переходные сопротивления $R_{эд}$ между электродами *5*, *6* и деталями *7*, *8*. Общее сопротивление между электродами $R_{ээ} = 2R_д + R_k + 2R_{эд}$.

Сопротивление R_k по мере нагрева и деформации деталей уменьшается, а сопротивление $R_д$ растет. Начальный нагрев контакта усиливается с уменьшением усилия сжатия P_c, однако при этом из-за роста $R_{эд}$ возможен перегрев электродов. При чрезмерных P_c тепловыделение в контакте уменьшается, а электроды сминаются. Сварочный ток I_c при контактной сварке зависит от электродвижущей силы E_2 источника, активного R и индуктивного X сопротивлений сварочного контура машины и деталей.

$$I_c = \frac{E_2}{\sqrt{(\Sigma R^2) + X^2}}.$$

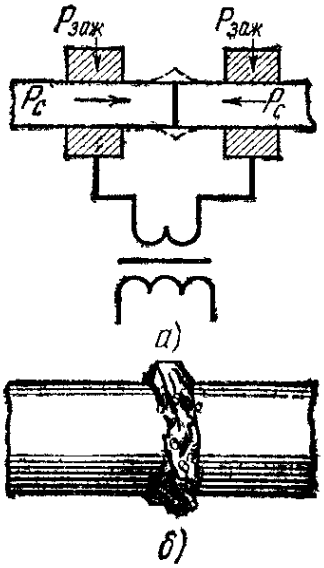


Рис. 5. Схема стыковой сварки (*а*) и сварной стык (*б*)

Большие токи в сварочном контуре получают редко, понижая напряжение сети трансформатором. Для уменьшения R и X при больших I_c проводники контура сближают и изготавливают из меди

или ее сплавов (иногда из алюминия) большого сечения, уменьшают количество переходных контактов и размещают трансформатор как можно ближе к свариваемым деталям.

Контактную сварку классифицируют по форме сварного соединения (рис. 2), роду сварочного тока и по виду источника энергии.

Точечная контактная сварка — вид контактной сварки, при котором соединение деталей происходит на участках, ограниченных площадью торцов электродов, подводящих ток и передающих усилие P_c.

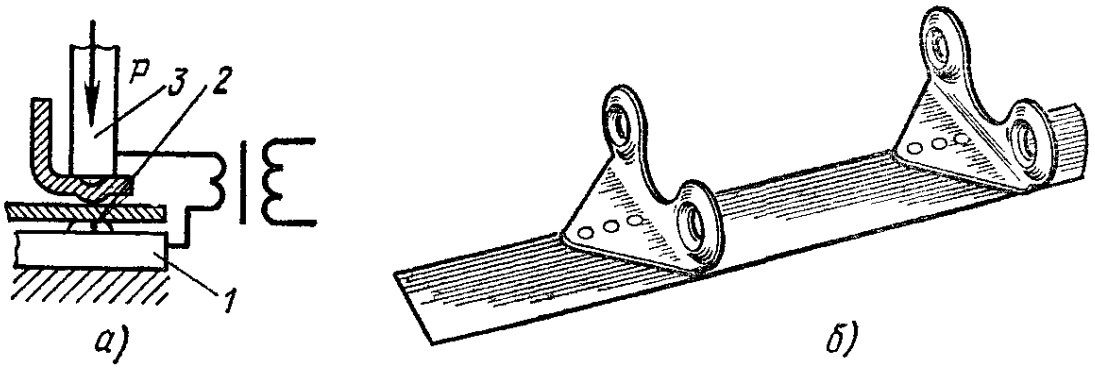


Рис. 6. Схема рельефной сварки (*а*) и сваренные рельефами детали (*б*)

При точечной сварке детали обычно располагают на нижнем электроде *1* (рис. 3, *а*). После опускания верхнего электрода *3* и сжатия деталей усилием P_c по цепи пропускают ток, нагревающий детали до плавления на небольших контактируемых участках *2*, называемых точками (рис. 3, *б*). Затем верхний электрод поднимают и детали перемещают в новое положение.

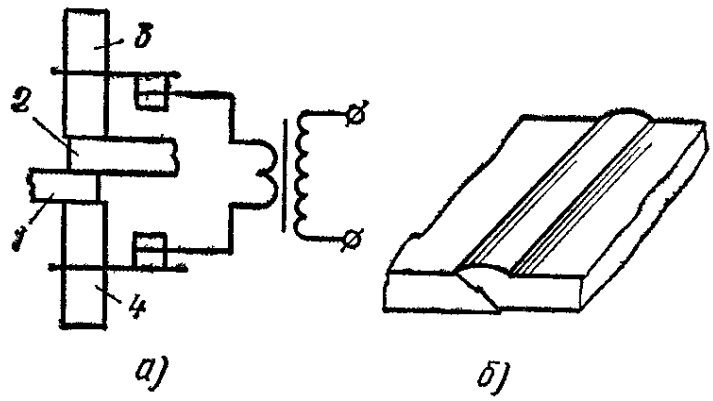


Рис. 7. Схема шовно-стыковой сварки (*а*) и сварной шов (*б*)

Шовная контактная сварка — вид контактной сварки, при котором соединение деталей внахлестку в виде непрерывного и прерывистого шва выполняется вращающимися дисковыми электродами.

При шовной сварке соединение состоит из ряда точек, образующих сварной шов (рис. 4, *б*), а электроды *1* и *2* (рис. 4, *а*) перемещают детали или катятся по ним. Если расстояние между точками за счет удлинения пауз между импульсами тока увеличить, то вращающимися электродами можно получить производительную точечную сварку.

Стыковая контактная сварка — вид контактной сварки, при котором соединение свариваемых деталей происходит по поверхности стыкуемых торцов.

При стыковой сварке зажатые электродами с усилием $P_{заж}$ детали соединяются по всей поверхности их контакта при осадке усилием $P_{о}$ после местного нагрева соединяемых концов (рис. 5, *а*). Усилие $P_{заж}$ обычно значительно больше $P_{о}$. После сварки деталь имеет в стыке грат (рис. 5, *б*), который часто удаляется механической обработкой.

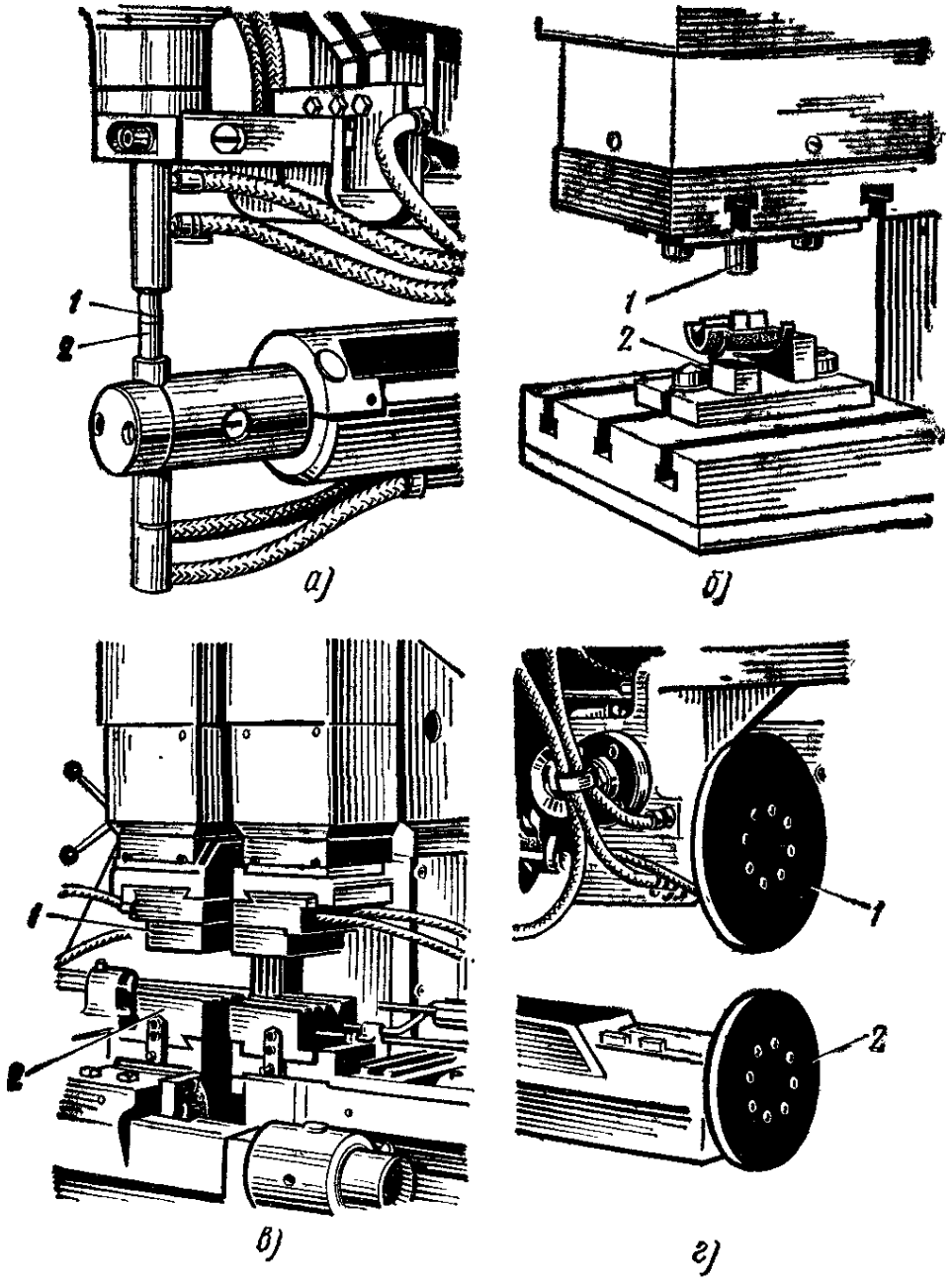


Рис. 8. Электроды точечных (*а*), рельефных (*б*), стыковых (*в*) и шовных (*г*) машин

Рельефная сварка — вид контактной сварки, при котором соединение деталей происходит на отдельных участках по заранее подготовленным или естественным выступам.

При рельефной сварке детали контактируют по выступам-рельефам (рис. 6, *а*) и сжимаются между электродом *3* и контактной плитой *1* с электродными вставками *2* или без них. Рельефная сварка может осуществляться по одному или нескольким (рис. 6, *б*) рельефам одновременно.

Шовно-стыковая сварка — вид контактной сварки, при котором стыковой шов образуется последовательным нагревом и сжатием соединяемых кромок. При шовно-стыковой сварке зажатые в приспособлениях или прихваченные детали *1* и *2* сжимаются одним или двумя вращающимися дисковыми электродами *3* и *4* (рис. 7, *а*). Соединение формируется при деформации концов деталей и почти полном устранении нахлестки (рис. 7, *б*).

При всех видах контактной сварки сваренную деталь или узел освобождают от электродов при выключенном токе.

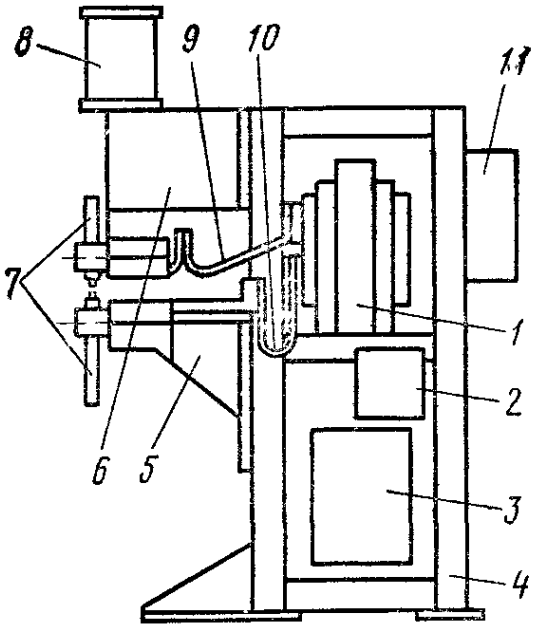


Рис. 9. Конструктивная схема точечной машины

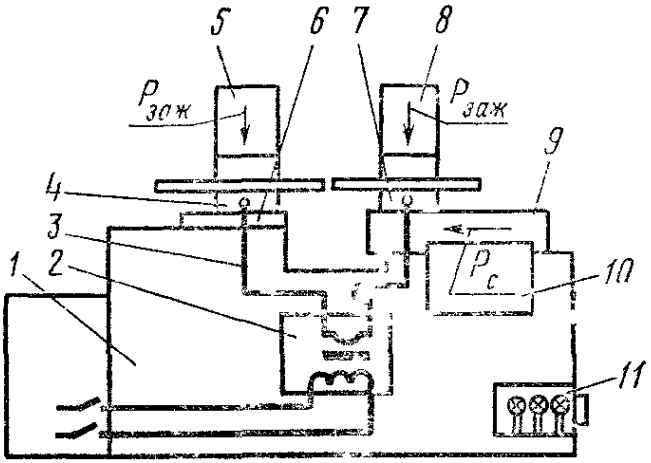


Рис. 10. Конструктивная схема стыковой машины:

1 — станина, *2* — трансформатор, *3* — токоподводы, *4*, *7* — электроды, *5*, *8* — механизмы зажатия, *6*, *9* — неподвижная и подвижная плиты, *10* — привод перемещения, *11* — система охлаждения

Для каждого вида сварки создана серия универсальных и специальных машин. Технические требования к контактным машинам изложены в ГОСТ 297—73.

Контактные машины по назначению подразделяют на точечные, рельефные, стыковые, шовные и шовно-стыковые. Каждый тип машин имеет свои электроды *1* и *2* (рис. 8). Для всех машин (рис. 9) характерно наличие трансформатора *1* (или другого преобразователя энергии), переключателя ступеней *2*, включателя тока *3*, станины *4*, привода электродов *8* с консолями *5* и *6*, токоподводов *9* и *10*, устройств для крепления электродов *7* и аппаратуры управления *11* с механическими, электрическими, гидравлическими и другими устройствами и узлами машины. Конструктивно-типовые точечные и рельефные машины похожи. Машины для шовной сварки имеют дополнительный привод электродов, а машины для стыковой сварки (рис. 10) — привод для сближения деталей с небольшими скоростями при оплавлении и большими — при осадке.

В новой системе обозначения машин первая буква характеризует тип машины: У — установка, А — автомат, М — машина, К — комплекс, П — полуавтомат; вторая — вид сварки, две первые цифры —

номинальный ток в кА, а две последние — модель машины. Так, модель 5 точечной машины с номинальным током 20 кА обозначается МТ-20.05.

Иногда после двух первых букв ставится третья, уточняющая тип машины: М — многоточечная, К — конденсаторная, В — с выпрямлением тока в сварочном контуре.

ГЛАВА II

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ

Контактная сварка осуществляется без расплавления и с расплавлением металла. В первом случае соединение происходит при деформации металла с созданием физического контакта между частицами соединяемых поверхностей и структурной их подстройкой, во втором возможно перемешивание расплава в замкнутом объеме (точечная сварка) или частичное его вытеснение (стыковая сварка оплавлением) с последующей кристаллизацией расплава и пластической деформацией. Большие скорости нагрева, пластической деформации и охлаждения существенно влияют на структуру металла соединения и на свариваемость.

Под свариваемостью понимают свойство металла или сочетания металлов образовывать при установленной технологии сварное соединение, отвечающее требованиям, обусловленным конструкцией и эксплуатацией соединения.

Контактной сваркой обычно соединяют металлы и их сплавы. В металлах преобладает металлическая связь между атомами, при которой валентные электроны заполняют, как газ, весь объем между ионами, а ионы расположены на расстояниях, близких к 0,05 мкм. Для соединения необходимо сближение поверхностных частиц на эти расстояния и взаимодействие между ними как в целом металле.

§ 1. Формирование соединения без расплавления металла

Реальные поверхности волнисты и шероховаты (рис. 11). В сечении они контактируют по отдельным площадкам, не превышающим 1% поверхности. Металлы при комнатной температуре на воздухе покрыты пленками окислов, жиров и адсорбированных (поглощеиных) газов. Толщина пленок может меняться от 0,05 мкм до 1 мм и более. Такое состояние поверхностей препятствует взаимодействию металлов. Для взаимодействия неровности обеих поверхностей совместно деформируют, что сопровождается дроблением окисных пленок и

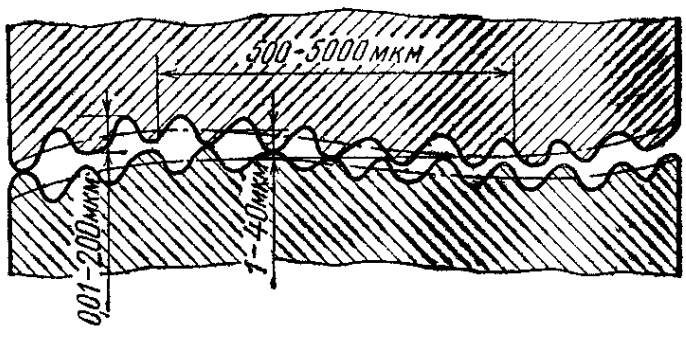


Рис. 11. Схема контактирования поверхностей

разрушением адсорбированных слоев. Образование соединения завершается обобществлением валентных электронов, поверхностным и объемным перемещением ионов и их подстройкой.

При деформации шероховатость и волнистость уменьшается, а площадь контакта увеличивается. Если материал недостаточно пластичен, то после снятия давления упругие силы восстанавливают волнистость, разрушая образовавшуюся связь.

Нагрев деталей из алюминия до 400° С, повышая пластичность металла и ускоряя диффузию, обеспечивает межатомное взаимодействие при меньшей степени деформации (8%), чем при холодной сварке (60%). Повышение температуры нагрева в вакууме стали от 1150 до 1250° С также снижает требуемое давление сжатия от 2 до 1 кгс/мм². При нагреве выгорают жировые пленки, а некоторые окислы (например, у титана) растворяются в металле, усиливаются диффузионные процессы, ускоряется зарастание пор в контакте и ускоряется образование общих зерен.

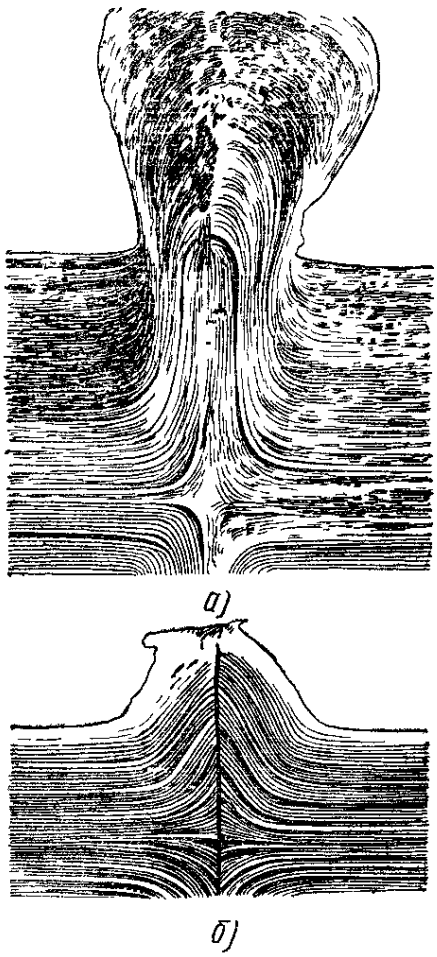


Рис. 12. Течение металла в схеме объемно-напряженного всестороннего сжатия (*а*) и при свободной осадке (*б*)

Нагрев на воздухе сопровождается интенсивным окислением большинства металлов с образованием толстых окисных пленок, препятствующих атомному взаимодействию. Металлы, на поверхности которых образуются такие пленки, сваривают в условиях, исключающих интенсивное окисление (защитные среды и др.) или облегчающих удаление пленок окислов и адсорбированных газов.

Защитными средами служат вакуум, нейтральные (аргон, гелий) или активные (азот) газы, а также газы-восстановители.

При длительном нагреве возможно снижение температуры и давления. Одинаковая прочность соединения большинства металлов достигается как при пониженном давлении и средней температуре (0,7 — 0,8) $T_{пл}$ с длительным нагревом, так и при повышенном давлении с кратковременным нагревом до высокой температуры (0,8 — 1) $T_{пл}$. Повышение давления от 0,5 до 1 и 2 кгс/мм² при нагреве чистого железа до 1100° С уменьшает длительность сварки от 420 до 90 и 15 с соответственно. Снятие давления до окончания формирования соединения ухудшает его качество. Длительность нагрева особенно важна при малом давлении, когда заполнение неровностей между поверхностями с образованием общих зерен в большой мере зависит от диффузии частиц. Длительный нагрев при повышенных температурах с ростом зерен и окислением или оплавлением их границ часто ухудшает качество соединений.

Требуемая при стыковой сварке деформация часто оценивается отношением конечной площади соединения $F_к$ к исходному сечению F_0

$$K = \frac{F_к}{F_0} \cong 2 \div 3.$$

Деформация обычно неравномерна по сечению и может изменяться в зависимости от схемы ее осуществления (рис. 12).

Повышение класса шероховатости поверхностей и уменьшение окисления облегчают формирование соединения и снижают требуемую степень деформации K. Зачистка поверхностей целесообразна непосредственно перед сваркой. Высокая прочность на разрыв еще недостаточна для оценки качества, так как она достигается при низкой пластичности.

Давление, обеспечивающее требуемую деформацию, зависит от распределения температур в зоне сварки, скорости деформации $v_д$ и ее схемы. При медленном росте давления влияние скорости деформации невелико.

Чем чище и ровнее поверхности, тем быстрее устраняются поры и тем меньше влияние диффузии на формирование соединения.

§ 2. Формирование соединения при наличии расплава

Тонкий и равномерный слой расплава при стыковой сварке оплавлением и расплавленное ядро заданных размеров при точечной и шовной сварке необходимы для качественного соединения большинства металлов.

При стыковой сварке расплав торцов взаимодействует с образующейся парогазовой средой и может кристаллизоваться до начала осадки. Его температура на участках кратковременно горящей дуги достигает 5000—6000° С, а на участках кристаллизации расплава 1300—1400° С. При неинтенсивном оплавлении и плохом прогреве всегда возможны участки, где расплав кристаллизуется и окисляется, что ухудшает качество. Степень окисления торцов с повышением температуры перегрева расплава из-за испарения металла и окислов уменьшается. Температура кристаллизации окисных пленок при увеличении в расплаве хрома (Ti, Al и др.) повышается, а при повышении содержания никеля (Mn, Mo и др.) — понижается (рис. 13). Поэтому стали с повышенным содержанием хрома перегревают в стыке при оплавлении более сильно, чем стали с марганцем или никелем.

При деформации расплав, растекаясь, смачивает поверхности, растворяет примеси и, заполняя неровности, может взаимодействовать с образовавшимися ранее на закристаллизовавшемся металле окислами или деформироваться с формированием связей или при их отсутствии. Чистые поверхности расплава взаимодействуют с образованием общей жидкой прослойки. Из-за больших скоростей деформации

расплав, заполнивший неровности, деформируется пластически без существенного выдавливания, хотя и течет к наружной поверхности стыка направленно.

После осадки рекристаллизация наклепанного металла и формирование общих зерен продолжаются. Образование общих зерен в зоне контакта и зарастание пор связано с температурой и длительностью, а также со строением и свойствами металла и окисных плеиок. Твердые пленки при деформации могут внедряться в металл и участвовать в формировании связей (алюминий и его сплавы).

Если твердость окисла мала, а температура его плавления выше температуры соединяемого металла, то разрушение пленок затруднено и их влияние может быть ослаблено только при больших степенях деформации и малых ее скоростях.

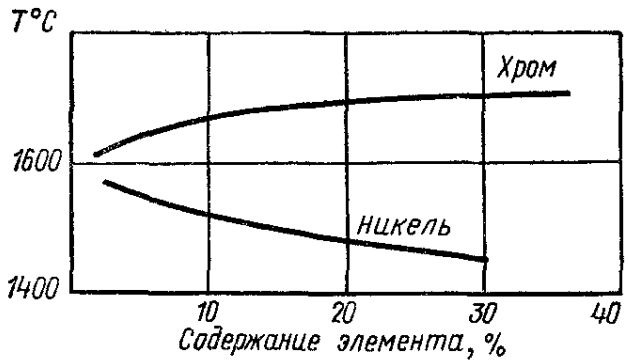


Рис. 13. Температура появления окисных пленок при охлажденни перегретого расплава железа, легированного хромом и никелем

Тугоплавкие окисные пленки легче разрушаются при больших скоростях деформации и наличии расплава. Некоторые окислы могут растворяться в жидком твердом металле или взаимодействовать с элементами (например, с углеродом), дающими газообразные продукты соединения (CO, CO_2).

Образующийся в точке расплав с температурой (1,1—1,15) $T_{пл}$ перемешивается электромагнитными силами, создаваемыми сварочным током, и граница раздела между деталями исчезает. Пластическая деформация от усилия сжатия P_c и в результате увеличения объема расплава сопровождается течением металла в зазор между деталями. Выдавливаемый поясок металла, равный или превышающий вмятину от электрода, надежно защищает расплав от воздуха. За пояском при деформации между деталями образуется зазор. При плавлении объем металла увеличивается скачкообразно, причем преимущественно по оси электродов (радиальному увеличению препятствуют поясок и соседние более холодные слои металла). В зависимости от степени деформации и температуры металла это увеличение достигает (0,07—0,1) δ.

При точечной сварке ядро кристаллизуется в момент резкого спада тока или несколько позднее, если спад медленный. Большие скорости охлаждения из-за теплоотвода в холодные слои металла и электроды тормозят объемную диффузию и создают условия для образования особых структур с неравномерным химическим составом металла. Образующиеся вытянутые кристаллы (дендриты) при кристаллизации растут в направлении максимального теплоотвода. Структуру металла соединения и его свойства регулируют скоростями нагрева и охлаждеиия, а также скоростью и степенью пластической деформации.

§ 3. Взаимосвязь температуры, давления и длительность их действия

Температура сварки $T_с$ характеризует подвижность частиц и, как следствие, способность к пластической деформации и диффузии, а давление $p_с$, величину K и скорость деформации неровностей и, как следствие, длительность сварки $t_с$.

Уменьшение неровностей, очистка поверхностей и предупреждение их окисления снижают требуемые $p_с$ и $T_с$. Поэтому в защитных средах металлы с расплавлением и без него сваривают при меньших давлениях и деформациях, чем на воздухе.

Минимально допустимая $T_с$ зависит от величины упругих сил, разрушающих соединение после снятия нагрузки, а максимальная определяется пережогом, оплавлением границ зерен и насыщением газами. Повышение $p_с$ и $T_с$, усиливая деформацию металла и ускоряя формирование связей, уменьшает $t_с$. При малых $p_с$ и $T_с$ увеличение $t_с$ настолько велико, что сварка некоторых металлов невозможна.

На $t_с$ влияет пластичность соединяемых материалов и соотношение между выбранным давлением $p_с$ и пределом текучести металла $\sigma_т$ при данных скоростях деформации $v_д$, степенях деформации и схемах деформации.

При больших $v_д$ и K, характерных для контактной сварки, $\sigma_т$ может повышаться в несколько раз. Преждевременное снятие $p_с$ при точечной сварке сопровождается образованием пор, а при стыковой сварке — надрывами. Поэтому $p_с$ снимают после завершения кристаллизации расплава и охлаждения до температур, при которых упругие напряжения не в состоянии разрушить соединение. Термодеформационный цикл, описываемый совмещенными во времени графиками $t_с$ и $p_с$, существенно влияет на формирование и структуру соединения и выбирается с учетом материала и вида сварки.

На $p_с$ помимо $v_д$ влияют дополнительные усилия, затрачиваемые на деформацию деталей при их плохой сборке или на деформацию колец при осадке.

§ 4. Электрическое сопротивление

Сопротивление между электродами, зависящее от $R_д$, $R_к$, $R_{эд}$ (см. рис. 1), понижается с увеличением $P_с$ (рис. 14).

Сопротивление деталей $R_д$ определяется длиной средней линии тока $l_т$ в детали, площадью F участка, проводящего ток, и средним удельным сопротивлением $\rho_т$ в заданном диапазоне температур T_1—T_2:

$$R_д = m\rho_т \frac{l_т}{F}.$$

Из-за растекания тока в деталях (см. рис. 1) сопротивление при точечной сварке меньше сопротивления цилиндрического столбика

металла высотой 2δ и диаметром контакта с деталью $d_к$. При характерном для точечной сварки отношении $\frac{d_к}{\delta} = 3$ и 5 уменьшение составляет соответственно 0,82 и 0,84. По мере нагрева $R_д$ в соответствии с изменениями ρ и $d_к$ в начале увеличивается, а затем с резким увеличением $d_к$ снижается.

При р е л ь е ф н о й с в а р к е $R_д$ определяется формой рельефа и его предварительной деформацией, а при шовной также шунтированием тока ранее сваренными точками. При стыковой сварке $R_д$ определяется меняющимся положением токопроводящих участков между деталью и электродом.

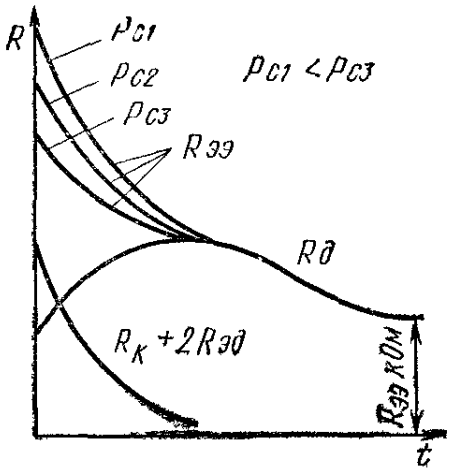


Рис. 14. Изменение сопротивлений при точечной сварке низкоуглеродистой стали при разных давлениях $p_с$

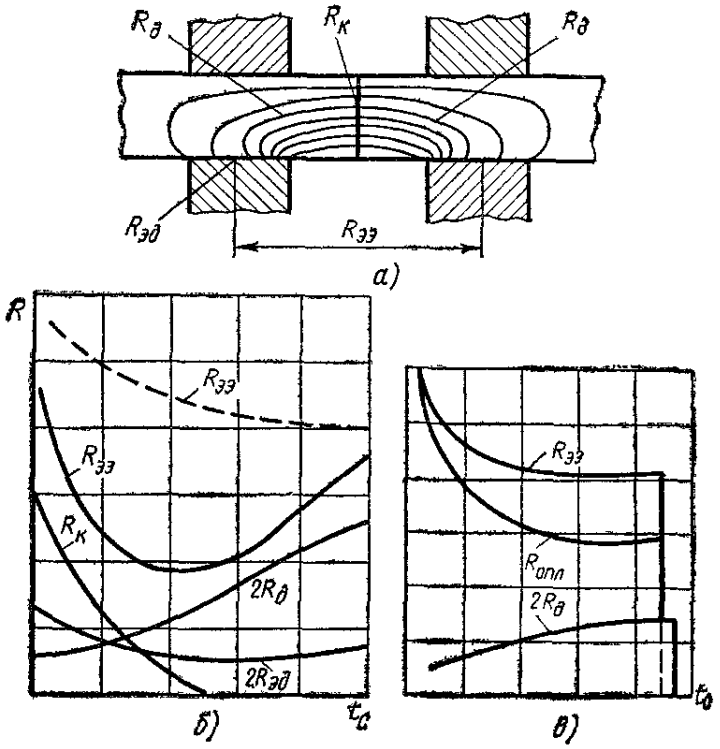


Рис. 15. Схема сопротивлений и путей тока (*а*), а также изменение сопротивлений при стыковой сварке сопротивлением (*б*) и оплавлением (*в*) для низкоуглеродистой (———) и нержавеющей (— — —) стали

Его рассчитывают усредненно, предполагая, что ток подводится на одной трети поверхности электродов со стороны стыка.

При т о ч е ч н о й с в а р к е суммарное сопротивление $R_к + 2R_{эд}$ несколько возрастает, а затем резко снижается (рис. 14), что снижает $R_{ээ}$. За цикл сварки $R_{ээ}$ у легированных сталей снижается с 300—500 до 100—150 мкОм, а у сплавов алюминия с 50—100 до 10—12 мкОм.

Сопротивление $R_{ээ}$ в начале нагрева велико из-за малой площади фактического контакта. У холодных пластин толщиной $\delta = 3 + 3$ мм сжатых с $P_с = 200$ кгс после шлифования $R_{ээ} \approx 100$ мкОм, после травления 200—300 мкОм, после обработки резцом 1200 мкОм, а при наличии окалины и ржавчины 80 000 мкОм. Увеличение $P_с$ с 10 до 200 и 600 кгс снижает $R_{ээ}$ с 600 до 100 и 15 мкОм.

Колебания $R_{ээ}$ нарушают стабильность нагрева и препятствуют качественному соединению деталей. Поэтому контактные поверхности деталей обычно очищают от окислов, ржавчины и грязи. Сопротивле-

ние $R_{ээ}$ в начале нагрева у электродов со сферой выше, чем при плоской поверхности, а к концу сварки оно выравнивается.

С увеличением $d_к$ (при увеличении тока), $t_с$, $P_с$ и δ сопротивление $R_{ээ}$ уменьшается. Жесткость режима, несмотря на изменение площади контактов, мало влияет на конечные значения $R_{ээ}$.

Приближенно считают, что $R_{эл} \simeq 0{,}5\ R_{ээ}$, хотя в конце сварки $R_к \to 0$ и $R_{ээ} \simeq R_д$. Сопротивление $R_{ээ}$ у стали О8КП при нагреве меняется мало, а у стали Х18Н9Т оно заметно снижается. Это обусловлено более резким увеличением ρ стали О8КП при нагреве.

При стыковой сварке ток растекается в деталях неравномерно (рис. 15, *а*). Нагрев сопротивлением сопровождается вначале уменьшением $R_{ээ}$, а затем из-за нагрева деталей и увеличения $2R_д$ резким повышением $R_{ээ}$, хотя при этом $R_к$ снижается (рис. 15, *б*).

При сварке оплавлением, несмотря на рост $2R_д$, сопротивление $R_{ээ}$ снижается (рис. 15, *в*), что обусловлено снижением $R_к$ (при оплавлении $R_{опл}$). Это снижение зависит от напряжения U, сечения деталей F и скорости оплавления $v_{опл}$:

$$R_{опл} = k_т \frac{U^2}{F v_{опл}},$$

где $R_т$ — коэффициент, зависящий от нагрева деталей.

Если $v_{опл} = \text{const}$, то $R_{опл}$ увеличивается. Сопротивление $R_{опл}$ складывается из сопротивлений единичных контактов-перемычек, у которых вначале сопротивление из-за роста контакта уменьшается, а затем повышается. Образующаяся расплавленная перемычка сжимается собственным магнитным полем и взрывается из-за ее перегрева токами большой плотности сразу или частично с поверхности. При взрыве часть металла взрывообразно выбрасывается в виде пара и капель, а часть остается на торцах. Ионизированные пары металла с температурой 4000—5000° С и капли создают благоприятные условия для кратковременного дугового разряда. Разряд быстро затухает и сопротивление увеличивается.

В реальном процессе без разрыва вторичного контура дуга при напряжениях 5—10 В не возбуждается. Полное разрушение контактов типично для оплавления цветных металлов или сравнительно тонких деталей из стали при большом запасе электрической мощности. Среднее давление между торцами близко к 0,15 гс/см^2.

Размеры контактов-перемычек с увеличением толщины деталей при ограниченной мощности W источника увеличиваются, однако в этом случае с увеличением $v_{опл}$ перемычки выплавляются частично с поверхности, где плотность тока выше. Этому способствует вытеснение переменного тока к поверхности (поверхностный эффект) и искривление линий тока около перемычки.

Оплавление на предельной мощности неустойчиво и часто прекращается из-за закорачивания торцов. Для устранения этого на основное перемещение накладывают колебания деталей с частотой 10—30 Гц и амплитудой 0,25—1,0 мм. Это уменьшает размеры взрывающихся участков перемычек, выравнивает торцы и позволяет нагревать детали при меньших припусках на оплавление

и меньшей мощности. Одновременно вибрация облегчает возбуждение оплавления при холодных торцах. Единичные процессы, в зависимости от особенностей оплавления и нагрева деталей, протекают с частотой 50—500 Гц. Накопленная в трансформаторе электромагнитная энергия и часть поступающей из сети энергии при горении дуги после взрыва перемычки выделяется на торцах, перегревая расплав и улучшая условия формирования соединений. Форма перемычек и их разрушение при нагреве переменным током определяются мало меняющимися поверхностным натяжением σ и меняющимися электромагнитными силами сжатия и растяжения средней части перемычки. С повышением температуры и накоплением слоя расплава на торцах перемычки нагреваются быстрее, вследствие чего для непрерывности взрывов и увеличения их количества $v_{опл}$ увеличивается.

§ 5. Особенности нагрева

Нагрев металла при контактной сварке зависит от свойств металла, тока I_c и усилия сжатия P_c, которые существенно влияют на количество, размеры и скорость исчезновения микроконтактов. В начале нагрева, когда их площадь мала, ток ограничен сопротивлением $R_к$ (или $R_{опл}$), значительно превышающим $R_д$ и $R_{эд}$.

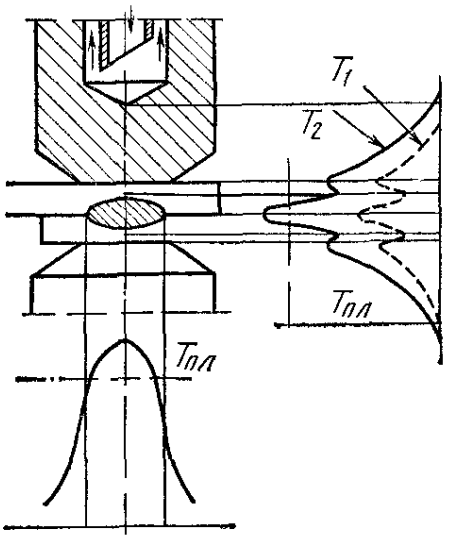


Рис. 16. Температура при точечной сварке в начале (— — —) и конце (———) нагрева

Усилие сжатия P_c, влияя на $R_к$, резко меняет распределение температур в деталях. Так, при стыковой сварке сопротивлением с плотностью тока $j = 60$ А/мм^2 и малым P_c стык при узкой зоне нагрева расплавляется. С повышением P_c сопротивление $R_к$ резко уменьшается, а зона нагрева расширяется. Если P_c велико, то температура в стыке будет ниже той, которая требуется для сварки.

При точечной сварке местный нагрев металла до температуры плавления $T_{пл}$ достигается за счет сопротивления $R_к$ и большой плотности тока, причем начальная неравномерность нагрева (T_1) сохраняется до конца процесса (T_2) (рис 16).

§ 6. Структура сварного соединения

Структура металла соединения, определяемая его исходной структурой и термодеформационным циклом, изменяется в зависимости от температуры и условий деформации. Около стыка (при стыковой сварке) или ядра (при точечной сварке) расположена зона перегрева, нормализации и неполных структурных превращений. В зонах перегрева из-за окисления, роста зерен, перераспределения неметаллических включений или появления карбидной сетки и других хрупких фаз возможно резкое снижение пластичности.

Большие скорости нагрева и охлаждения, а также значительная скорость и величина деформации, приводят к существенному повышению твердости и прочности металла соединений.

Наряду с резким повышением твердости у закаливающихся сталей на периферии сварной точки (рис. 17) возможно ее понижение в зоне отпуска холоднокатаной стали. Соединения с высокой твердостью и неблагоприятной структурой подвергают термообработке. Местная термообработка участка сварки может осуществляться непосредственно в сварочной машине.

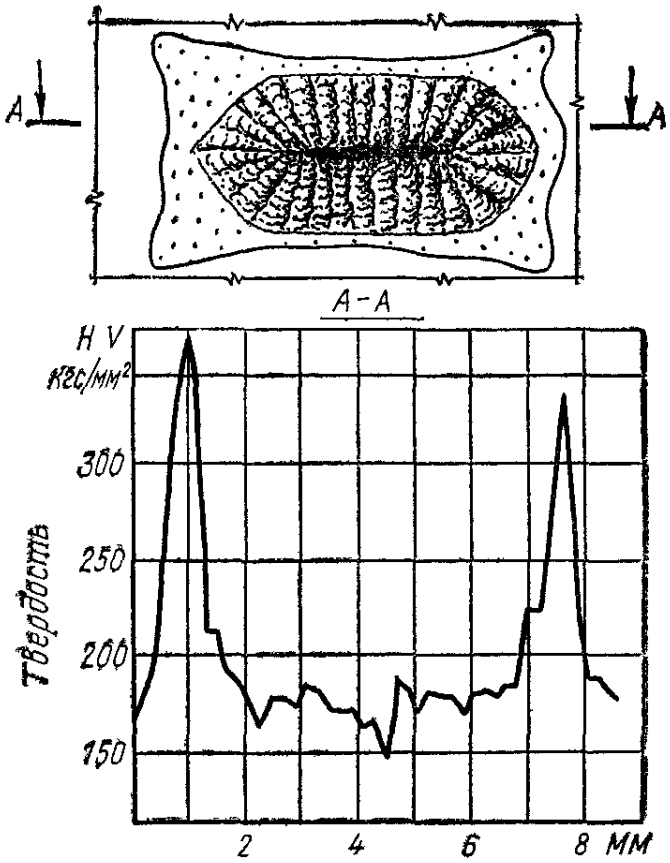


Рис. 17. Распределение твердости в зоне сварной точки легированной стали

Совмещение термообработки с пластической деформацией ускоряет фазовые превращения и повышает пластичность без существенного снижения прочности. Это обусловлено реальной структурой металлов, искажения решеток в котором (точечные дефекты, дислокации и др.) снижают его техническую прочность в сотни раз по сравнению с теоретической. Термопластическая обработка обеспечивает более благоприятное расположение несовершенств в кристаллах.

В некоторых случаях термообработкой не удается полностью восстановить свойства металла, испорченного при нагреве под сварку.

Контрольные вопросы

1. Как образуется соединение с расплавлением и без расплавления металла?
2. Как изменяются составляющие общего сопротивления при стыковой, точечной и шовной сварке?
3. Как нагревается и деформируется металл при стыковой, точечной, шовной, рельефной и шовно-стыковой сварке?

ГЛАВА III

ОБЩИЕ УЗЛЫ КОНТАКТНЫХ МАШИН

Контактные машины имеют преобразователи (трансформатор или выпрямитель), включаемые в сеть или соединяемые с накопителями энергии, контактор или прерыватель, включающий силовую электрическую часть машины, переключатель ступеней, регулирующий напряжение изменением числа витков первичной обмотки, сварочный

контур и электроды, подводящие к деталям ток, привод электродов, перемещающий их по определенной программе, и аппаратуру управления, определяющую последовательность работы всех узлов машины.

§ 7. Преобразователи тока и накопители энергии

Простейшим преобразователем тока является трансформатор, имеющий магнитопровод (сердечник) *1* (рис. 18), первичную *2* и вторичную *3* обмотки, а также другие детали. Наиболее распространены броневые сердечники, на центральном спаренном стержне двух рамок (рис. 18, *а*) которых расположены первичная и вторичная обмотки.

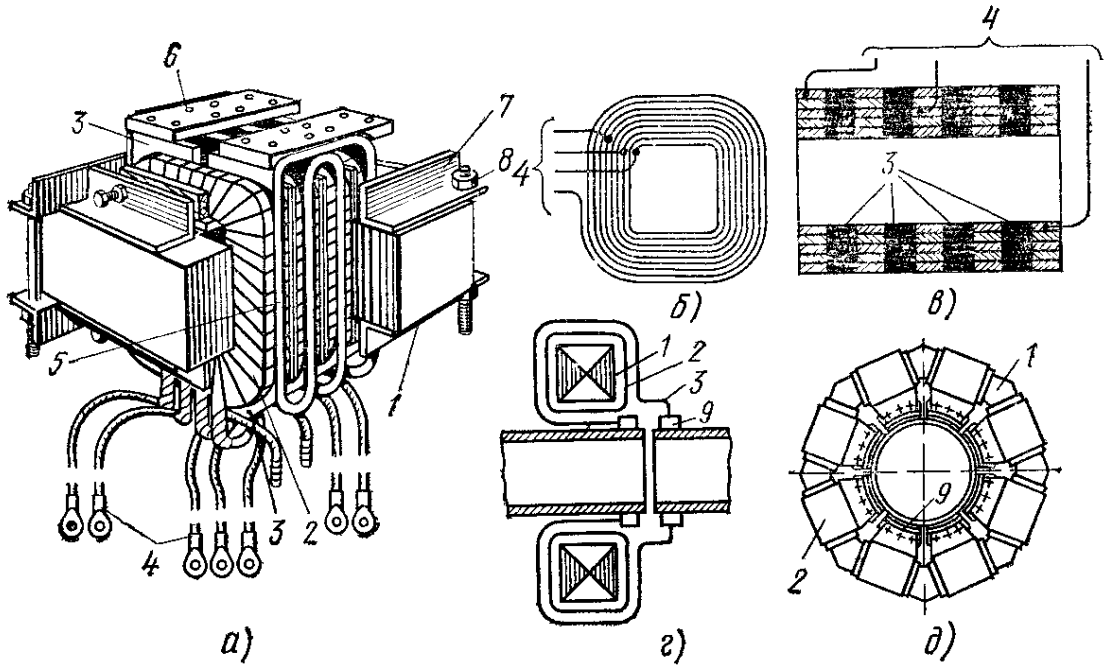


Рис. 18. Траисформатор броневого (*а*) и кольцевого типа (*г, д*), а также первичная обмотка стержневого (*б*) и сечение обмоток броневого трансформатора (*в*):

1 — магнитопровод, *2, 3* — первичная и вторичная обмотки, *4* — выводы, *5* — трубка охлаждения, *6* — плита, *7* — рамка, *8* — болт, *9* — электроды

Сердечник для уменьшения потерь набирается из П- или Ш-образных пластин электротехнической стали толщиной 0,5 мм с перекрытием зазоров и изоляцией друг от друга лаком. Набор пластин стягивается изолированными болтами *8*. Также применяют сердечники из намотанной ленточной стали Э-320 и Э-330 со спекаемым изоляционным покрытием.

Первичная обмотка трансформаторов подключается к сети. Она может иметь однорядные цилиндрические (рис. 18, *б*) или многорядные дисковые (рис. 18, *в*) катушки. Последние для уменьшения рассеяния магнитного потока помещают между медными секциями вторичного витка *3*, охлаждаемого водой через припаянные трубки *5* и сваренного с контактными плитами *6*.

Дисковые катушки наматывают из медной или алюминиевой, покрытой изоляцией, прямоугольной полосы с прокладыванием тонкого прессшпана. Катушки обматывают киперной или эскапоновой лентой,

пропитывают лаком и изолируют от сердечника и вторичной обмотки гетинаксом или прессшпаном.

В контурных трансформаторах (рис. 18, *г*, *д*) магнитопровод *1* в виде кольца (для труб) или прямоугольной рамки (для полос) имеет размещенные поочередно первичные *2* и вторичные *3* обмотки. Последние соединены с электродами, контактирующими с деталью по всему ее периметру. Это резко уменьшает сварочный контур и потребляемую мощность. Машины для сварки широких полос имеют два—четыре параллельно работающих трансформатора.

Трансформатор включается кратковременно через небольшие промежутки времени. Его мощность W определяется допустимым перегревом с учетом охлаждения во время пауз между сварками. Режим повторного включения учитывается коэффициентом повторного включения ПВ, представляющим отношение общей длительности протекания тока $t_с$ к сумме $t_с$ и пауз $t_п$:

$$ПВ\% = \frac{\Sigma t_с}{\Sigma t_с + \Sigma t_п} \cdot 100.$$

Трансформатор характеризуется номинальной мощностью $W_н$ при заданном коэффициенте ПВ или номинальным сварочным током $I_{2н}$ кА и напряжением холостого хода U_{20} в вольтах (при отсутствии нагрузки).

Ток машины $I_{2н}$ достигается при нормальном, указанном в паспорте напряжении сети, заданном коэффициенте ПВ%, номинальной ступени регулирования мощности $W_н$ (обычно предпоследней), определенном сварочном контуре и системе охлаждения, а также при предусмотренных паспортом сечениях свариваемых деталей.

При недостаточном охлаждении возможен перегрев обмоток трансформатора, а при чрезмерном — конденсация влаги, ухудшение изоляции и пробой. Поэтому расход воды должен согласовываться с тепловой нагрузкой трансформатора. Допустимая эквивалентная плотность тока при естественном охлаждении вторичного витка составляет 1,5—1,7 А/мм^2, а при водяном — 5 А/мм^2. В первичной обмотке j = 3 А/мм^2. При работе без охлаждения коэффициент ПВ на номинальной ступени или ток уменьшают примерно в 2 раза. На первых ступенях допустимо увеличение ПВ% в 1,3—1,5 раза. Трансформатор кратковременно может дать ток $I_{кр}$ больший $I_{2н}$. Чем больше коэффициент ПВ, тем больший кратковременный ток допускается исходя из условий нагрева изоляции. Кратковременный режим — номинальный режим, при котором в период нагрузки температура трансформатора не успевает достигнуть установившегося значения, а в отсутствие нагрузки снижается до температуры холодного состояния.

Длительный режим при одном и том же напряжении без пауз на охлаждение требует мощность $I^2_{дл}R$, а режим при коэффициенте ПВ

$$I_2^2 R \frac{t_с}{t_с + t_п},$$

откуда

$$I_{дл} = I_2 \sqrt{ПВ/100}$$

или

$$W_{дл} = W_н \sqrt{ПВ/100}.$$

Если известны $W_н$ и коэффициент ПВ, то при другом коэффициенте ПВ′ из условий нагрева $W'_н$ равно

$$W'_н = W_н \sqrt{\frac{ПВ}{ПВ'}}.$$

Предельная мощность $W_{кр}$ не может быть больше максимальной мощности короткого замыкания $W_{к.з}$, редко превышающей $1{,}6W_н$.

Мощность $W_{кр}$ зависит от конструкции и параметров электрических цепей. Оптимальная производительность достигается при определенном отношении $W_{кр}/W_{дл}$, близком при коэффициенте ПВ 20, 40, 60 и 100% соответственно к 2,3; 1,6; 1,3 и 1.

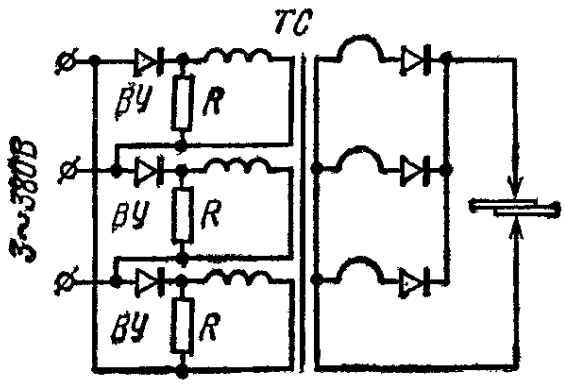


Рис. 19. Схема трехфазного выпрямителя постоянного тока

Номинальная мощность машины при сварке с номинальным первичным напряжением $U_н$ и током $I_н$ на расчетной (предпоследней) ступени равна

$$W_н = \frac{U_н I_н}{1000}, \text{ кВ·А}.$$

Коэффициент полезного действия машины η определяется соотношением

$$\eta = \frac{W_{св}}{W_а} = \frac{R_{ээ}}{R_{вн} R_{ээ}},$$

где $W_а = W \cos\varphi$ — активная мощность.

Однофазное импульсное включение трансформатора с низким cos φ нагружает сеть неравномерно и ухудшает работу других потребителей энергии. Cos φ повышают введением емкости или дополнительного переменного сопротивления, компенсирующего индуктивность.

Мощность однофазных точечных и шовных машин не превышает 300—400, рельефных 1000, а стыковых 6000 кВ · А.

При использовании напряжения частотой 200—400 Гц габариты трансформаторов уменьшают, однако при этом повышается индуктивное сопротивление и снижается cos φ.

Более совершенен трехфазный выпрямитель, равномерно загружающий фазы и выпрямляющий ток во вторичном контуре. Первичные обмотки трансформатора *ТС* соединены по схеме треугольник, а вторичные — по схеме звезда. Управляющие вентили *ВУ* (рис. 19) включаются поочередно и подают полуволны линейных напряжений на свои фазные обмотки трехфазного понижающего трансформатора.

Импульсы этого тока получают, подавая в первичную цепь полуволны трехфазного напряжения одной полярности. Большая индуктивность контура сглаживает пульсации выпрямленного тока. Длитель-

ность нарастания тока близка к 0,12—0,14 с. Нагрузочные сопротивления R, включенные параллельно первичным обмоткам, улучшают работу вентилей. Форма импульса тока меняется в зависимости от длительности паузы между включениями и угла включения тиристоров. Импульсы тока всегда имеют одну полярность и практически не ограничены по длительности. Величиина тока регулируется изменением угла включения тиристоров. Такой преобразователь снижает потребляемую мощность, позволяет регулировать форму и длительность импульса тока. Он может использоваться для многоимпульсного включения тока.

При одинаковых условиях сварки машина с выпрямленным током потребляет 480 кВ · А, а однофазная машина — 2750 кВ · А.

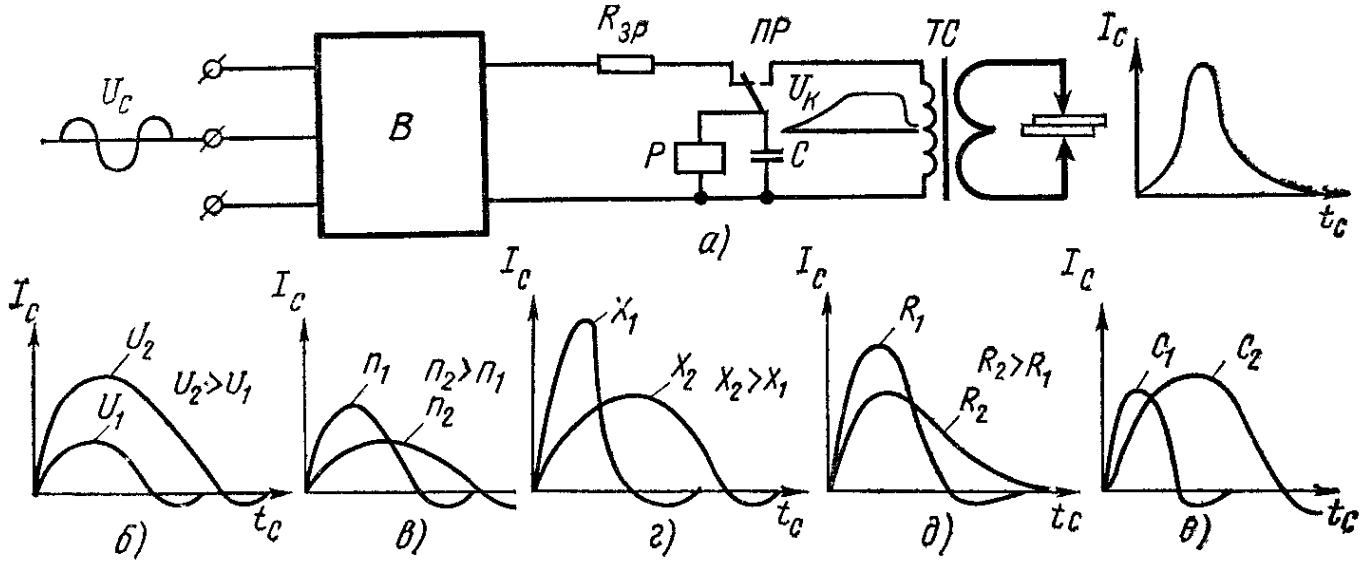


Рис. 20. Электрическая схема конденсаторной машины (*а*) и графики токов $I_с$ при больших и малых напряжениях зарядки (б), коэффициентах трансформации n (*в*), индуктивных X (*г*), активных R (*д*) и емкостных C (*е*) сопротивлениях:

В — выпрямитель, $R_{зр}$ — зарядные сопротивления, *С* — рабочая емкость, *ПР* — переключатель разряда, *Р* — реле, *ТС* — трансформатор сварочный, $U_с$ и $U_к$ — напряжение в сети и на конденсаторе

В машинах также используются накопители энергии, которые длительно накапливают энергию в батареях конденсаторов через выпрямитель *В* (рис. 20) и большими порциями отдают ее через трансформатор *ТС* и в сварочный контур. Эта энергия, пропорциональная емкости конденсатора *С* и подведенному напряжению U, равна

$$N = C\frac{U^2}{2}.$$

Первичная обмотка *ТС* включается через тиристор или переключатель *ПР* после сжатия деталей электродами. Перезарядка конденсаторов обратной полярностью предупреждается специальными схемами.

Энергию N и форму кривой тока $I_с$ регулируют изменением C и U и коэффициента трансформации

$$n = \frac{\omega_1}{\omega_2}.$$

Индуктивное X и активное R сопротивления обычно не регулируют. С увеличением C и U растет максимальный ток и увеличивается длительность полуволны разряда (рис. 20, *е* и *б*), а с повышением n (рис. 20, *в*), X (рис. 20, *г*) и R (рис. 20, *д*) ток уменьшается, а его длительность растет.

Длительность нарастания тока обычно близка к 0,01—0,04 с, а спада $\leqslant$ 0,2 с. В конденсаторных машинах колебания напряжения не влияют на стабильность сварочного тока I_c. Кратковременным разрядом без TC сваривают мелкие детали.

В последнее время для повышения производительности в мощных машинах вновь применяют высоковольтные конденсаторы.

§ 8. Переключатели ступеней

Напряжение U_{20} регулируют отключением части первичных витков трансформатора (рис. 21, *а*) или их включением на параллельную, последовательную или параллельно-последовательную работу (рис. 21, *б*). Часть витков отключают в машинах малой мощности

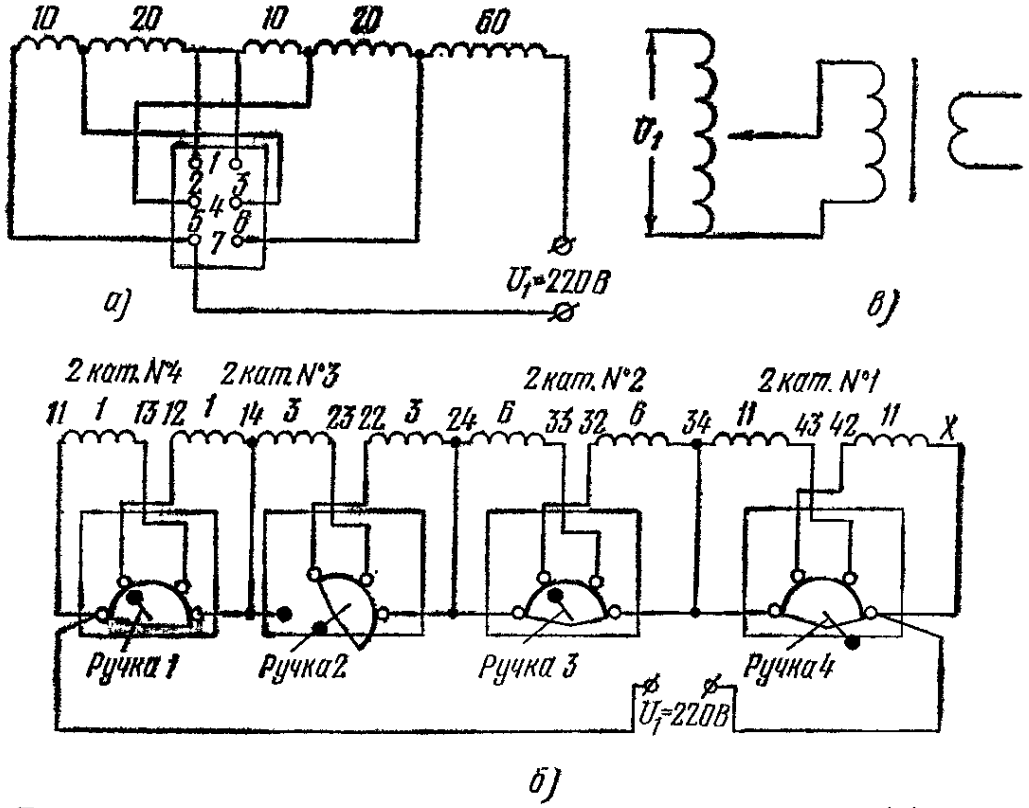


Рис. 21. Схема переключателя с отключением витков (*а*) и их параллельно-последовательным соединением (*б*), а также схема регулирования напряжения автотрансформатором (*в*)

(до 10 кВ · А). Так, при U_{20} = 1,83 В на первой ступени включены все 120 витков, а при U_{20} = 3,66 В только 60 (витки 10 + 20 + 10 + + 20 не работают).

В более мощных машинах с диапазоном регулирования напряжения 1 : 2 витки не отключают. В таких схемах при 16 ступенях регулирования (рис. 21, *б*) последовательное соединение ручками *1*, *2*, *3*, *4* катушек № 1, 2, 3 и 4, имеющих $2 \times 1 + 2 \times 3 + 2 \times 6$ и 2×11

витков ($\omega_1 = 42$), позволяет получить напряжение 5,2 В ($U_1 = 220$ В), а при параллельном соединении 10,5 В ($\omega_1 = 21$). Промежуточные значения напряжения регулируют параллельным или последовательным соединением секций катушек. При диапазоне регулирования 1 : 3 (стыковые машины) в схему вводят «дополнительные витки», включаемые только на низких ступенях напряжения. Концы первичной об-

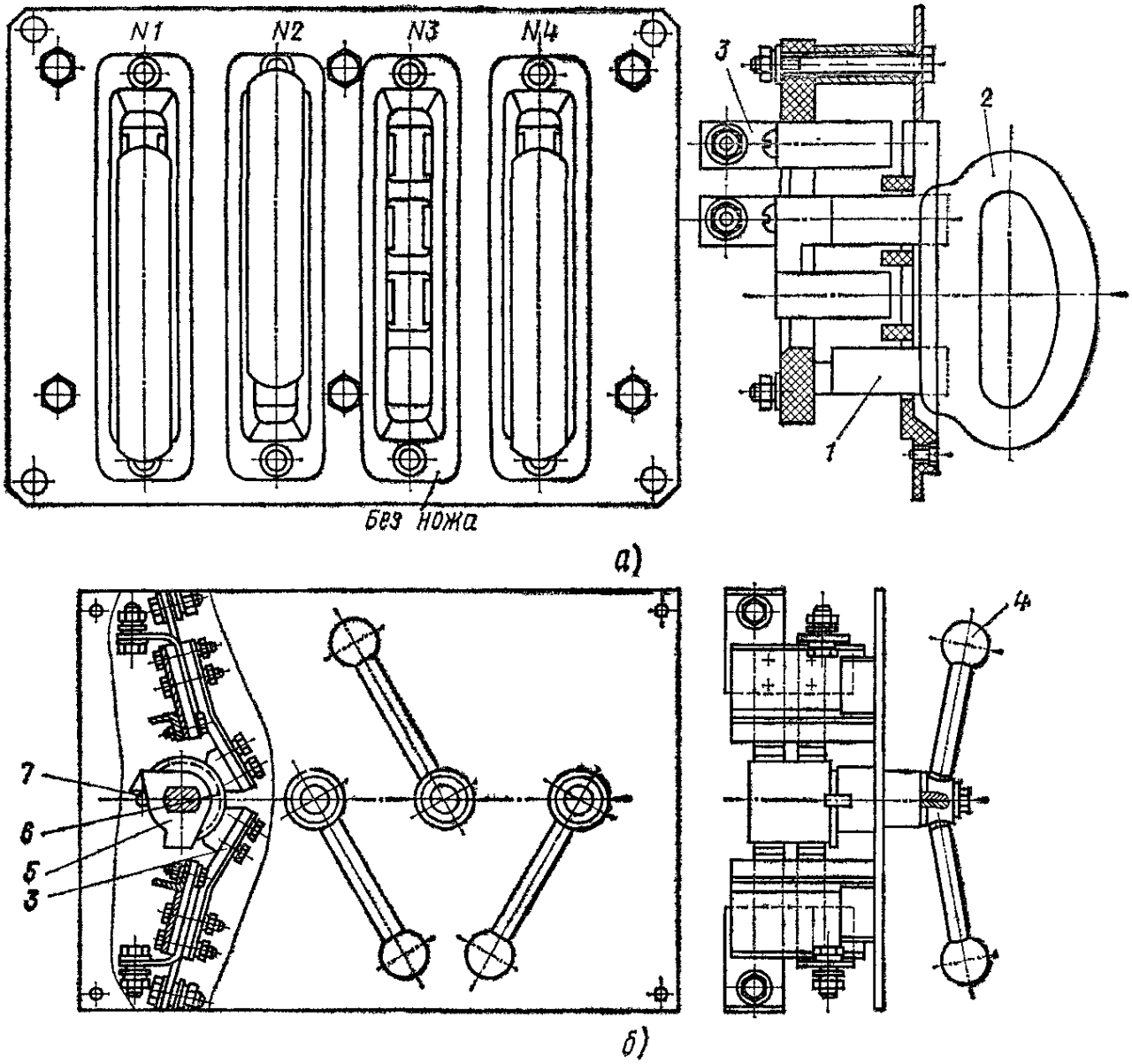


Рис. 22. Ножевой (*а*) и барабанный (*б*) переключатели:
1 — контакт, *2*, *4* — ручки, *3* — контактные пластины, *5* — барабан, *6* — медная панель, *7* — ограничитель

мотки для регулирования U_{20} подсоединяются к зажимам переключателей ступеней. Каждая катушка имеет выводы, подсоединяемые при последовательной работе катушек «начало» + «конец», а при параллельной «начало» + «начало». Переключатели ступеней подразделяются на штепсельные штыревые, пластинчатые, ножевые и барабанные.

Штепсельные штыревые переключатели обычно используют в машинах малой мощности с трансформаторами стержневого типа и цилиндрическими обмотками.

Пластинчатые переключатели применяются редко, главным образом тогда, когда нельзя применить барабанный переключатель. Ножевые переключатели применяют в машинах с первичным током до 250 А, а барабанные до 600 А. В ножевом переключателе (рис. 22, *а*) медный контакт *1*, закрепленный в текстолитовой ручке *2*, соединяет изолированные друг от друга подпружиненные контактные пластины *3*.

В барабанном переключателе (рис. 22, *б*) при повороте ручки *4* (между ограничителем *7*) скользящие контакты *3* с помощью пружин прижимаются к медной панели *6* текстолитового барабана *5*. Каждый барабан имеет два положения. Для получения 4, 8 и 16-й ступеней регулирования мощности необходимо соответственно 2, 3 и 4 барабана.

Напряжение иногда регулируют дистанционно автотрансформатором с высокой стороны питающего трансформатора.

Плавное изменение мощности (тока) возможно также при фазовом регулировании напряжения в первичной сети сварочного трансформатора тиристорами.

§ 9. Контакторы и прерыватели

Контактные машины включают и выключают с первичной стороны преобразователя (трансформатора). При этом возникает переходный процесс установления тока. Из-за индуктивного сопротивления трансформаторов в сварочной цепи установившийся ток $I_у$ первичной обмотки отстает от напряжения на угол φ (рис. 23, *а*). Если учесть момент включения углом α, то при $\alpha = \varphi$ (синхронное включение) ток, поступающий в трансформатор, сразу примет синусоидальное установившееся значение. При $\alpha > \varphi$ и $\alpha < \varphi$ (асинхронное включение) пропускаемый ток представляет разность или сумму токов: установившегося синусоидального $I_у$ и свободного $I_с$, уменьшающегося по экспоненте. Включение при $\alpha > \varphi$ мало сказывается на работе трансформатора.

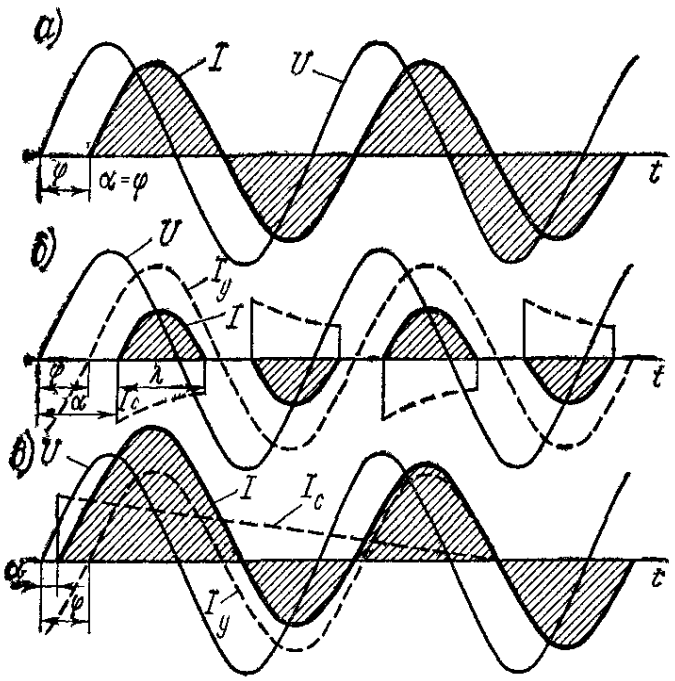


Рис. 23. Мгновенные токи I и напряжения U при работе вентильного прерывателя на активно-индуктивную нагрузку при $\alpha=\varphi$ (*а*); $\alpha>\varphi$ (*б*) и $\alpha<\varphi$ (*в*)

При разности $I_у - I_с$ (рис. 23, *б*) амплитуда пропускаемого тока снижается и его действующее значение будет меньше, чем при синусоидальном токе. Для случая $I_у + I_с$ характерна асимметрия тока в полупериодах (рис. 23, *в*), вызывающая рост намагничивающего потока и тока, который может значительно превышать ток нагрузки (перегрев трансформатора).

Контактные машины включают контакторами или прерывателями. Прерыватели включают ток синхронно ($\alpha = \varphi$). Электромагнитный контактор типа КЛ, включающий ток асинхронно без строгого дозирования энергии и чередования полярности, используется в некоторых старых точечных машинах малой мощности и в некоторых стыковых машинах. В этом контакторе при нажатии кнопки *1* (рис. 24, *а*) за-

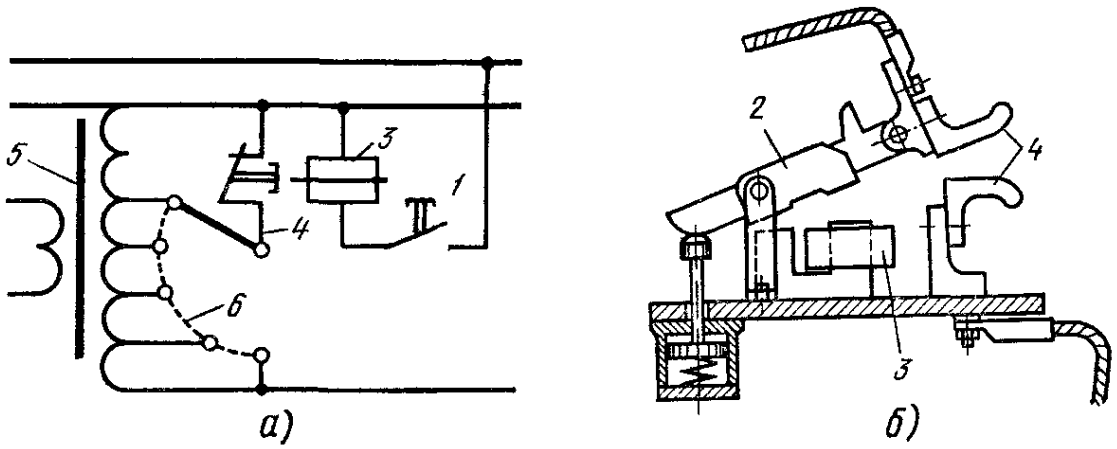


Рис. 24. Контактор (*б*) и схема его подсоединения (*а*)

мыкается цепь катушки *3*, которая притягивает якорь контактора *2* (рис. 24, *б*), через контакты *4* которого подается напряжение сети к первичной обмотке трансформатора *5* (рис. 24, *а*) с переключателем ступеней *6*. Такое включение нагружает трансформатор устанавливающимся током. Из-за образования дуги (при включении) также возможно изменение t_c.

Контакторы игнитронные асинхронные типа КИА выключаются без дугообразования при спаде тока до нуля. Контактор КИА состоит из игнитронов *И1* и *И2*, которые включены встречно-параллельно (анод с катодом и катод с анодом параллельно) и последовательно с первичной обмоткой трансформатора (рис. 25, *а*).

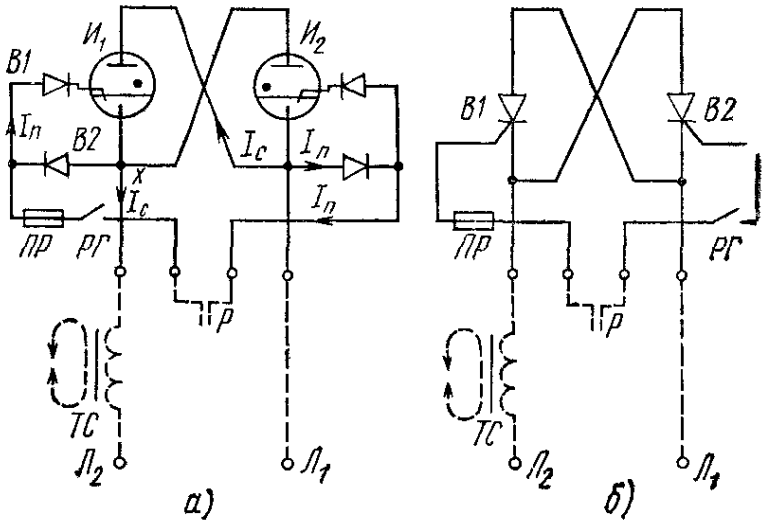


Рис. 25. Игнитронный (*а*) и тиристорный (*б*) асинхронные контакторы

Поджигатели игнитронов включены через селеновые выпрямители *В1-В4*, плавкие предохранители *ПР*: контакты гидрореле *РГ* и регулятор времени. Контакт *РГ* замыкается только при достаточной струе воды, протекающей через игнитроны.

Ток $I_п$ (показан стрелкой) при замыкании реле *Р* и полярности, при которой на анод игнитрона *И2* попадает положительный полупериод питающей сети (игнитрон будет пропускать ток), потечет от пер-

вого подведенного провода *Л1* через *В4*, контакты *Р* и *РГ*, предохранитель *ПР*, *В1*, поджигатель игнитрона *И1* в направлении второго провода *Л2*. Игнитрон загорится, и в первичной обмотке сварочного трансформатора потечет ток I_c, который прекратится в конце полупериода. При изменении полярности тока игнитрон *И1* погаснет и ток потечет от *Л2* через *В2*, *ПР*, *РГ*, *Р*, *В3* в направлении *Л1*, вследствие чего загорится игнитрон *И2*. Из-за больших потерь мощности в игнитронах и ограниченной длительности их работы игнитронные контакторы заменяют тиристорными.

В тиристорном контакте тиристор с *p-n-p-n* слоями представляет обычно кремниевый управляемый вентиль с тремя *p-n*-переходами (рис. 26, *а*). При плюсе на аноде и минусе на катоде два крайних перехода открыты (к *p*-слоям подведены положительные напряжения *U*), а средний *p-n* заперт. Ток в тиристоре при этом мал.

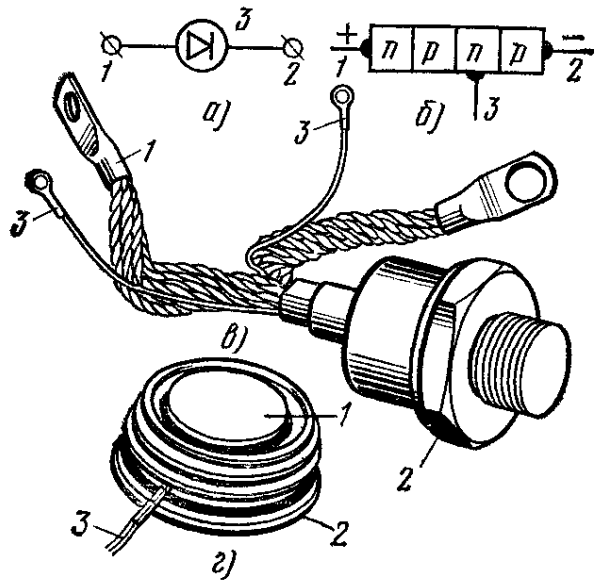


Рис. 26. Обозначение (*а*) и схема тиристора (*б*), а также разновидности тиристоров (*в, г*):

1 — анод, *2* — катод, *3* — управляемый электрод

При некотором предельном напряжении *p-n*-переход пробивается и ток достигает предела, зависящего от приложенного *U* и *R* цепи. Падение *U* на тиристоре мало. При положительном *U* на управляющем электроде, прилегающем к среднему *p-n*-переходу, *U* открытия снижается. С уменьшением нагрузки тиристор остается включенным до тока удерживания и выключается при снятии анодного *U*. Применяют чашечные и таблеточные тиристоры (рис. 26, *в, г*).

Тиристор с анодом *2* на основании и гибким катодом *1* имеет управляющий электрод *3*. Элемент закрыт металлостеклянной крышкой и сварен с чашечкой, соединенной с выводом. Тиристор может включаться при подаче низкого напряжения (0,5—1,5 В) и протекании небольшого тока 80—500 мА (у игнитрона 10—20 В). Он расходует небольшую мощность и постоянно готов к работе от —40 до +50° С. Мощные выключатели создаются на основе параллельного соединения таблеточных тиристоров по специальным схемам.

При параллельной работе для выравнивания тока каждой пары тиристоров используют уравнительные реакторы с двумя витками, включаемые последовательно с тиристорами.

Тиристоры чувствительны к пикам тока и напряжения, что требует соответствующей их защиты. Малые токи управления тиристорами позволяют существенно упростить схемы их включения в тиристорном асинхронном контакторе (см. рис. 25, *б*). Из-за появления постоянной составляющей I_c тиристоры для работы в асинхронном режиме выбирают с большим запасом по току нагрузки.

Серийные тиристорные контакторы типа КТ-1, КТ-02/КТ-03 и КТ-04 на тиристорах ТВ-200 с водяным охлаждением при длительности сварки t_c = 0,5 с и ПВ = 50 и 20% рассчитаны соответственно на 200 и 250, 800 и 850 А, 1300 и 1400 А, а при t_c до 20 с на 700 и 750, 1200 и 1300 А соответственно. Ток импульса управления составляет 25, 0,4 и 0,4 А, а напряжение 15—30, 15—25 и 15—25 В.

Прерыватель имеет собственно контактор и систему управления. В простейшем прерывателе обеспечивается только фазовое регулирование, а тиристоры управляются по независимой схеме без тиратронов и цепей их обслуживания.

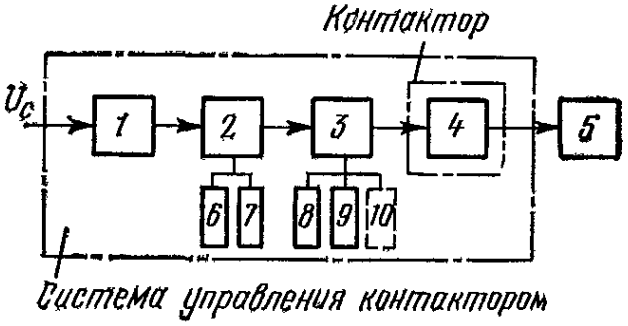


Рис. 27. Блок-схема прерывателя тока для точечных и шовных однофазных машин:

1 — блок пуска и выключения, *2* — блок управления временем; *3* — блок управления сварочным током, *4* — блок контактора, *5* — сварочная машина, *6* — узел программирования времени, *7* — узел синхроинизации, *8* — узел фазорегулирования, *9* — узел автоматической стабилизации тока, *10* — узел модулирования

В блок-схеме прерывателя (рис. 27) блок пуска и выключения *1* имеет аппаратуру пуска и сигнализации, а также источники питания. Блок управления временем *2* имеет узел программирования времени *6* и узел синхронизации *7*. В блоке управления током *3* имеется узел фазорегулирования *8*, узел автоматической стабилизации тока *9* и узел модулирования *10*.

Взамен устаревших прерывателей ПИТ и ПИШ созданы универсальные прерыватели на тиристорах (ПСЛ-200, ПСЛ-700 и ПСЛ-1200) и игнитронах (ПСЛ-300, ПСЛ-600 и ПСЛ-2000). Для первых трех при ПВ-20% и 50% номинальный ток составляет 250 и 200 А, 1500 и 600 А, 1300—1200 А, а для вторых — 750 и 300 А, 750 и 700 А, 2000 и 800 А. Прерыватели стабилизируют ток с точностью 1—2% при изменении напряжения сети от 0,85 до 1,05 его номинала и дозируют длительностью t_c от 1 до 20 периодов (0,02—0,2 с), длительность начального импульса от 0,02 до 2 с, обеспечивают модуляцию переднего фронта от 0,03 до 0,3 с и регулирование фазы включения.

§ 10. Сварочный контур

Сварочный контур состоит из электродов, устройств для их крепления (электрододержателей) и токоподводов — обычно медных проводников большого сечения, которые на изгибаемых участках или целиком набираются из медной фольги.

Сопротивление контактов вторичного контура зависит от их состояния площади, качества и давления. Низкое сопротивление имеют шлифованные и посеребренные контакты. Лужение повышает его, хотя при длительной работе луженые контакты окисляются медленнее, чем медные.

Размеры контура и сопротивление его контактов и проводников определяют внешнюю (технологическую) характеристику машин (рис. 28) или, иначе, зависимости сварочного тока от вторичного напряжения $I_2 = f(U_2)$ на всех ступенях регулирования трансформатора. Эти зависимости определяют включением трансформатора с разомкнутым сварочным контуром ($I_2 = 0$, $U_2 = U_{20}$) и при его замыкании медным проводником большого сечения ($I_2 = I_{max}$ для низкого напряжения) и проводниками более высокого сопротивления, чём медь (прямые I_2R_1 и I_2R_2). Для заданного тока I_2^A и сопротивления R_1 (требуемая мощность заштрихована) характеристики позволяют выбирать требуемую ступень напряжения холостого хода U_{20} (в рассматриваемом случае ступень с U_2^2 для точки B).

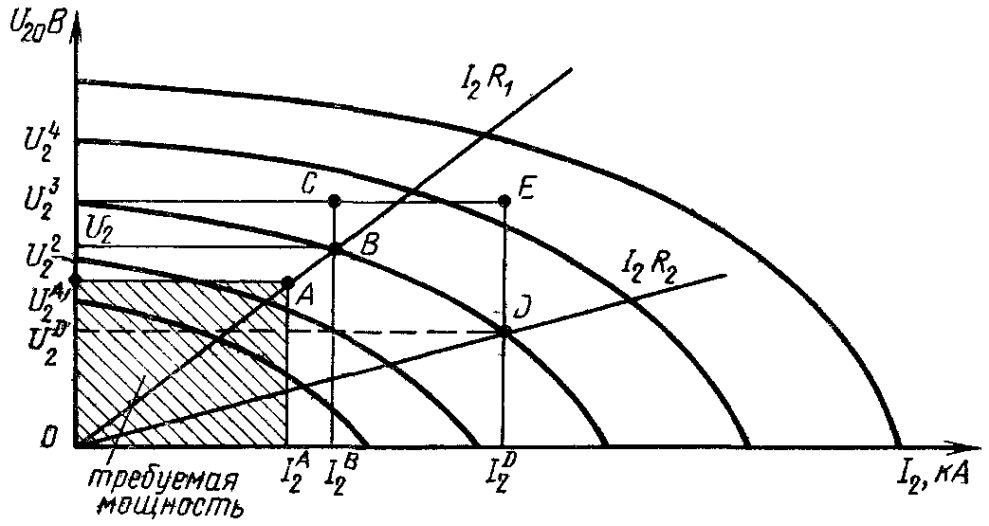


Рис. 28. Внешняя (технологическая) характеристика контактной машины

Внешняя характеристика позволяет оценить полезную и напрасно теряемую при сварке мощность. Полезная мощность определяется протекающим через детали током, их активным $R_д$ и контактным $R_к$ сопротивлением. Она соответствует площади прямоугольника $U_2^A A I_2^A O$ (рис. 28). Трансформатор обеспечивает мощность в соответствии с прямоугольником $U_2^2 B I_2^B O$; при этом теряемая в контуре мощность будет соответствовать прямоугольнику $U_2^3 C B U_2^2$.

При осадке (стыковая сварка) с нагрузкой I_2R_2 полезная и теряемая мощности соответствуют прямоугольникам $U_2^Д D I_2^Д O$ и $U_2^Д D E U_2^3$, т. е. потери при осадке больше, чем при оплавлении. Потери растут с увеличением числа контактов и площади сварочного контура, при введении в него магнитных масс, а также при увеличении длины и уменьшении сечения токоподводов. Поверхностный эффект, неправильное заземление сварочного контура увеличивают эти потери.

Для точечных и шовных машин целесообразны крутопадающие характеристики с примерно равной полезной и теряемой мощностью, а в стыковых — пологие характеристики, обеспечивающие большие токи, необходимые для нагрева и разрушения перемычек.

§ 11. Электроды

Электроды сжимают детали, перемещают их (шовная сварка), подводят ток и отводят часть тепла. Электроды изнашиваются из-за нагрева (при плохом охлаждении) и пластической деформации тем интенсивнее, чем выше температура $T_к$ в их контакте с деталью и давление $p_с$.

При точечной сварке давление $p_с$ достигает 20—25 кгс/мм², а температура $T_к$ — 700—800° С. При шовной сварке $T_к$ несколько выше, а при стыковой и рельефной значительно ниже.

По ГОСТу электрод из медно-кадмиевого сплава при твердости 95 кгс/мм² и 80% электропроводности меди должен выдерживать до первой переточки 300 точек, а до износа 10 000 точек, сплав Бр.НБТ—5000 и 35 000 точек, а бронза Бр.Х—4000 и 2500 точек соответственно. Стойкость электродов из бронзы Бр.НБТ и Бр.Х при сварке на мягком режиме ($T_к$ = 670° С) значительно ниже, чем на жестком режиме ($T_к$ = 400° С). Стойкость соответственно равна 400 и 170 точек против 4000 и 2000.

При сварке легких сплавов материал детали налипает на электрод, а материал электрода — на деталь, вызывая потемнение ее поверхности и выход из строя электрода раньше потери им формы.

При выборе материала электродов учитывают важность для жаропрочных и жаростойких материалов, стойкость при высокой $T_к$ к разупрочнению, для легких сплавов — электропроводность и стойкость к взаимному переносу, а для углеродных и низколегированных сталей — стойкость к разупрочнению и переносу.

Перегрев, подплавление, окисление, деформация при больших $P_с$, смещение электродов при нагреве усиливают их износ.

Чистая медь электро- и теплопроводна, но нежаропрочна. Нагартованная медь из-за низкой температуры рекристаллизации также применяется редко. Чаще используют различные сплавы меди с добавками легирующих элементов (табл. 1). Легирование меди кадмием, хромом, бериллием, алюминием, цинком, цирконием и магнием, мало снижающими электропроводность, повышает ее твердость в нагретом состоянии, а железо, никель и кремний вводят в медь для упрочнения. Электропроводность сплавов оценивается в % по сравнению с проводимостью чистой отожженной меди, имеющей 0,017241 Ом · мм²/м.

Электропроводными являются сплавы с кадмием (0,9—1,2%), магнием (0,1—0,9%) и с добавками бора (0,02%) или серебра (0,1%).

Сплавы по сравнению с чистой медью в 3—6 раз более стойки, а их расход в 6—8 раз меньше.

Электроды со вставками из Mo и *W* обеспечивают высокую стойкость при сварке оцинкованной стали.

Электроды — плиты из сплавов с твердостью НВ 140—160 — оснащаются вставками из металлокерамического сплава (60% *W* и 40% Cu) или бронзы НБТ.

Электрод при точечной сварке имеет цилиндрическую форму диаметром D, которая со стороны крепления обычно пе-

1. Техническая характеристика электродов

Материал	Состав, %	Свойства			Назначение
		ρ, %	НВ	$T_р$, °С	
Медь М1 ($D=50\%$)	99 Cu	93	70—90	150—300	Т, Ш, Р сварка алюминиевых сплавов
Сплав МС ($D=50\%$)	1,0 Ag	90—92	75—90	250—300	
Бронза БрХЦрА 0,3—0,09	(0,4—1,0) Cr (0,03—0,08) Zr	90—95	110—120	340—350	Т, Ш сварка алюминиевых и медных сплавов
Бронза БрК1 (МК)	(0,9—1,2) Cd	80—88	100—120	250—300	То же
Бронза БрХ	(0,4—1) Cr	70—80	110—130	350—450	Т, Ш сварка низкоуглеродистой, низколегированной стали и титановых сплавов
Бронза БрХЦр 0,6—0,05	(0,4—1,0) Cr (0,03—0,08) Zr	80—85	120—130	480—500	То же
Бронза БрНТБ	(1,4—1,6) Ni (0,2—0,4) Be (0,05—0,15) Ti	45—55	170—230	500—550	Т, Ш сварка углеродистой, нержавеющей сталей и жаропрочных сплавов
Бронза БрКН1-4	0,6—1% Si 3—4 Ni	35—40	130—140	420—450	С сварка углеродистой, нержавеющей сталей и жаропрочных сплавов

Примечание. ρ—электропроводность материала электрода по отношению к отожженной меди: НВ—твердость; $T_р$—температура разупрочнения; D—деформация: Ш—шовная, Т—точечная, С—стыковая, Р—рельефная сварки.

реходит в усеченный конус с уклоном 1 : 10 ($D \leqslant 25$ мм) и 1 : 5 ($D \geqslant 32$ мм), а с рабочей стороны плоскую большую (рис. 29, *а*, *б*) или малую (рис. 29, *в*), сферическую (рис. 29, *г*), плоскую смещенную (рис. 29, *д*) или наклонную смещенную (рис. 29, *е*) контактные поверхности.

Рабочий конец электрода может быть коническим (рис. 29, *в*) с малой площадью контакта или цилиндрическим с увеличенной (рис. 29, *ж*). Типовые прямые электроды изготовляют по ГОСТ 14111—69 из хромистой бронзы Бр.Х, бронзы Бр.НБТ и медно-кадмиевого сплава МК, и медно-серебряного МС.

Ориентировочно D, $d_э$ и h определяют из соотношений:

$$D = 0{,}4 - 0{,}6\sqrt{P_с};\quad a_э = (0{,}5 - 0{,}6)\,D;\quad h = (0{,}75 - 0{,}8)\,D.$$

Длина конусной части должна быть не менее 1,25 D.

На электродах первого типа (см. рис. 29, *а*) сваривают черные и цветные металлы при прямом ходе машины; второго типа (см. рис. 29, *б*) — низкоуглеродистую и легированную сталь токами менее 16 кА; третьего типа (см. рис. 29, *в*) — детали в ограниченно доступных местах; четвертого типа (см. рис. 29, *г*) — стальные детали толще 3 мм; пятого типа (см. рис. 29, *д*) — низкоуглеродистую и легированную стали токами до 25 кА вблизи отбортовок; шестого типа см. рис. 29, *е* — детали в подвесных машинах с радиальным ходом и седьмого типа —

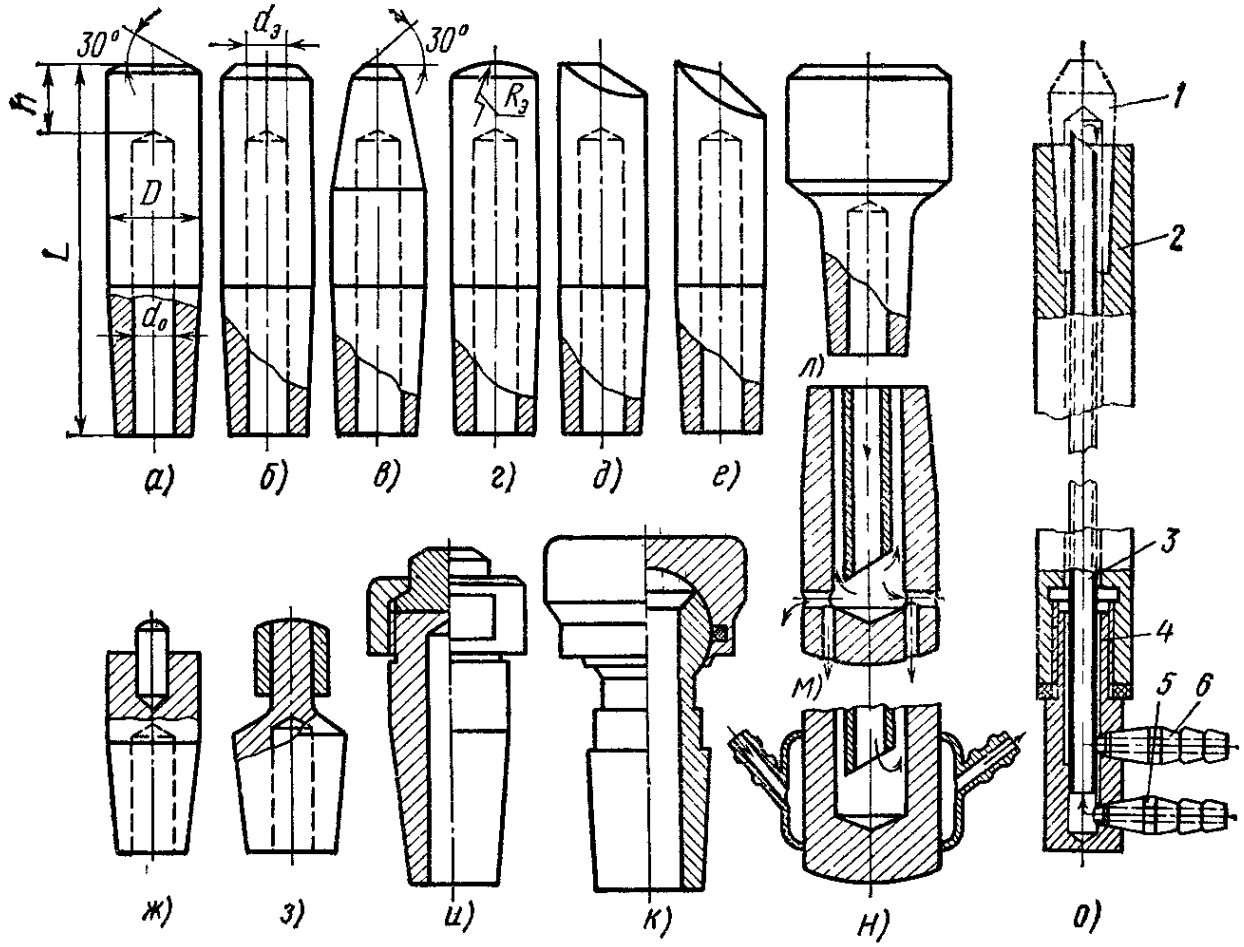


Рис. 29. Электроды и электрододержатели точечных машин

арматуру. У фигурных электродов ось, проходящая через центр рабочей поверхности, смещена относительно оси конуса. В сложных конструкциях на таких электродах сваривается до 60% точек.

Обычно сваривают на электродах с плоской рабочей площадкой. Электроды со вставкой из молибдена или вольфрама (рис. 29, *ж*), или спеченных сплавов впрессовываются, или спаиваются серебряными припоями. Предложены также латунные и стальные электроды с напрессованной (рис. 29, *з*) оболочкой из меди или медные электроды со стальной втулкой поджатой пружиной. Имеются электроды с наконечниками, закрепляемыми гайкой (рис. 29, *и*), или поворачивающиеся на сфере (рис. 29, *к*). При точечной сварке электрод *1* (рис. 29, *о*) закрепляется в электрододержателе *2* и охлаждается водой, поступающей через штуцер *5* по трубке *3* к корпусу электрододержателя и далее к штуцеру *6*. Конец трубки ввернут в головку *4*, соединенную резь-

бой с корпусом электрододержателя, который изготавливается из латуни и других медных сплавов.

При частой смене электродов целесообразны электрододержатели с выталкивателями, в которых при ударе деревянным молотком по головке через трубку и выталкиватель воздействуют на торец электрода. Выталкиватель и головка возвращаются в исходное положение пружиной. Сменная резьбовая втулка на конце электрододержателя с гнездом под электрод повышает длительность работы электрододержателя и точность подгонки при износе.

Формы электрододержателей весьма различны и определяются конструкцией изделия и машины.

Электроды при сварке низкоуглеродистой и аустенитной стали могут дополнительно охлаждаться снаружи (рис. 29, *м*). Двойное охлаждение без выхода воды на деталь (рис. 29, *н*) применяют при сварке легких сплавов и закаливающихся материалов. Износ электрода в большей мере зависит от диаметра его цилиндрической части и угла конуса.

Диаметр $d_э$ при сварке сталей $\delta = 1 - 5$ мм ориентировочно выбирают по δ : $d_э = 2\delta + 2{,}5$ мм и принимают равным 4, 6, 8 и 10 мм (у первого, третьего и пятого типов). С уменьшением δ до 0,5—1 мм отношение $d_э/\delta$ увеличивается до 5—6, а при $\delta = 0{,}1$ мм до 20. Давление на контактной поверхности электрода при $d_э \leqslant 8$ мм и сварке низкоуглеродистой стали близко к 7 кгс/мм², а при $d_э > 8$ мм — к 10 кгс/мм². У деталей из жаропрочных сплавов оно достигает 20—25 кгс/мм².

Иногда $d_э$ определяют по формуле

$$d_э = 2\delta + k,$$

где $k = 4$ при $\delta \leqslant 1{,}5$ мм, $k = 3$ при $\delta = 1{,}5$—7,5 мм и $k = 2$ при $\delta \geqslant 7{,}5$ мм.

Дисковые электроды для шовных машин показаны на рис. 30.

Электроды шовных машин могут иметь симметричные (рис. 30 *а*, *в*) и несимметричные (рис. 30, *б*) скосы, к которым примыкают сферическая или цилиндрическая поверхность. Для низкоуглеродистой стали $\delta < 2$ мм применяют электроды с цилиндрической поверхностью (рис. 30 *г*, *д*). Электродами со сферической поверхностью сваривают легированные стали и специальные сплавы средней и большой толщины, медные и алюминиевые сплавы, сплавы титана и т. д., а также углеродистую сталь $\delta > 2$ мм. Труднодоступные места сваривают узкими электродами со сферой без боковых скосов.

Ширина поверхности контакта b выбирается в зависимости от материала и толщины деталей. Она на 1—2 мм больше диаметра ядра $d_я$.

Толщина B обычно равна $2b$. Поверхность у электродов нагревается до высокой температуры (700—1000° С). Электроды охлаждаются водой, подаваемой по трубкам снаружи или внутрь электродов (рис. 30 *г*, *е*). Электрод *1* (рис. 30, *е*) при этом закрепляется на валу *2* шпильками *3* с гайками. Вода по трубке *5* поступает в полость *4* диска и по радиальным каналам *7* омывает его вблизи от рабочей поверхности, а по каналам *8* подается в полость вала. Течь предупреждается рези-

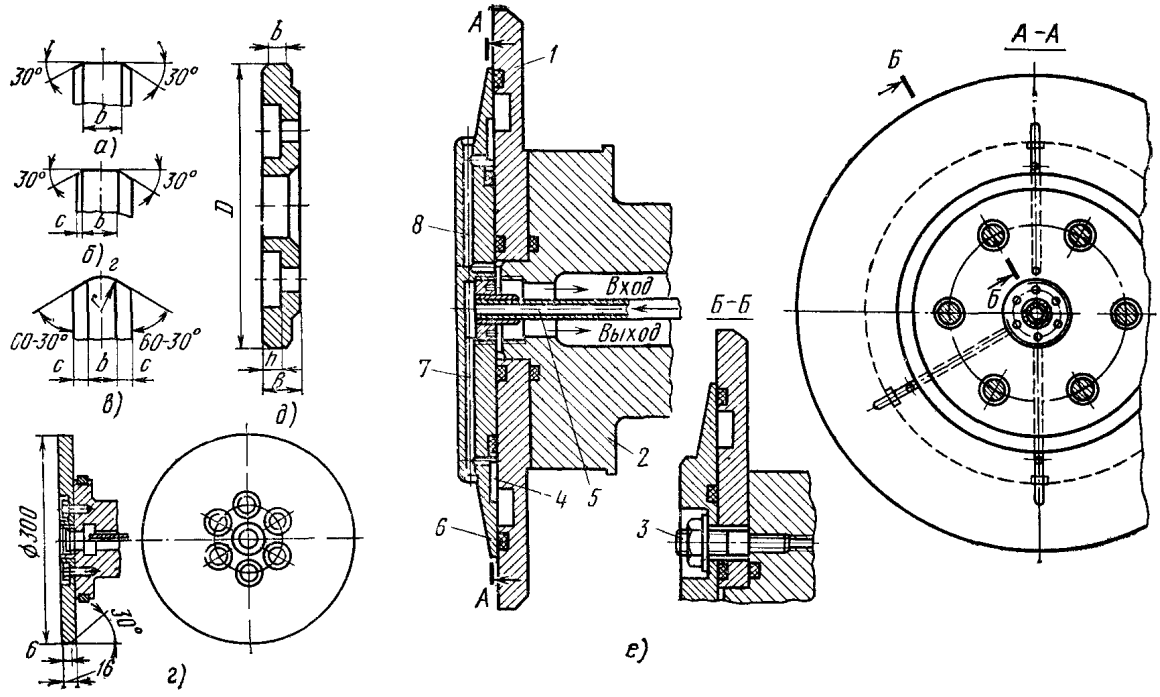


Рис. 30. Дисковые электроды шовных машин

новыми уплотнениями *6*. Электроды из молибдена, ниобия, вольфрама и тантала надо охлаждать воздухом или сжиженными газами (CO_2, O_2, He, Ar). Образующаяся при этом ледяная корка удаляется скребками. Деформацию рабочей части электрода иногда уменьшают боковыми пластинами из немагнитного высокоомного материала (инканеля) или вольфрама.

Тонкостенные изделия с покрытиями сваривают электродами с канавкой, в которую подается проволока из специально подготовленной меди или латуни. В полых деталях применяют электроды-вставки, гладкие оправки или цанги.

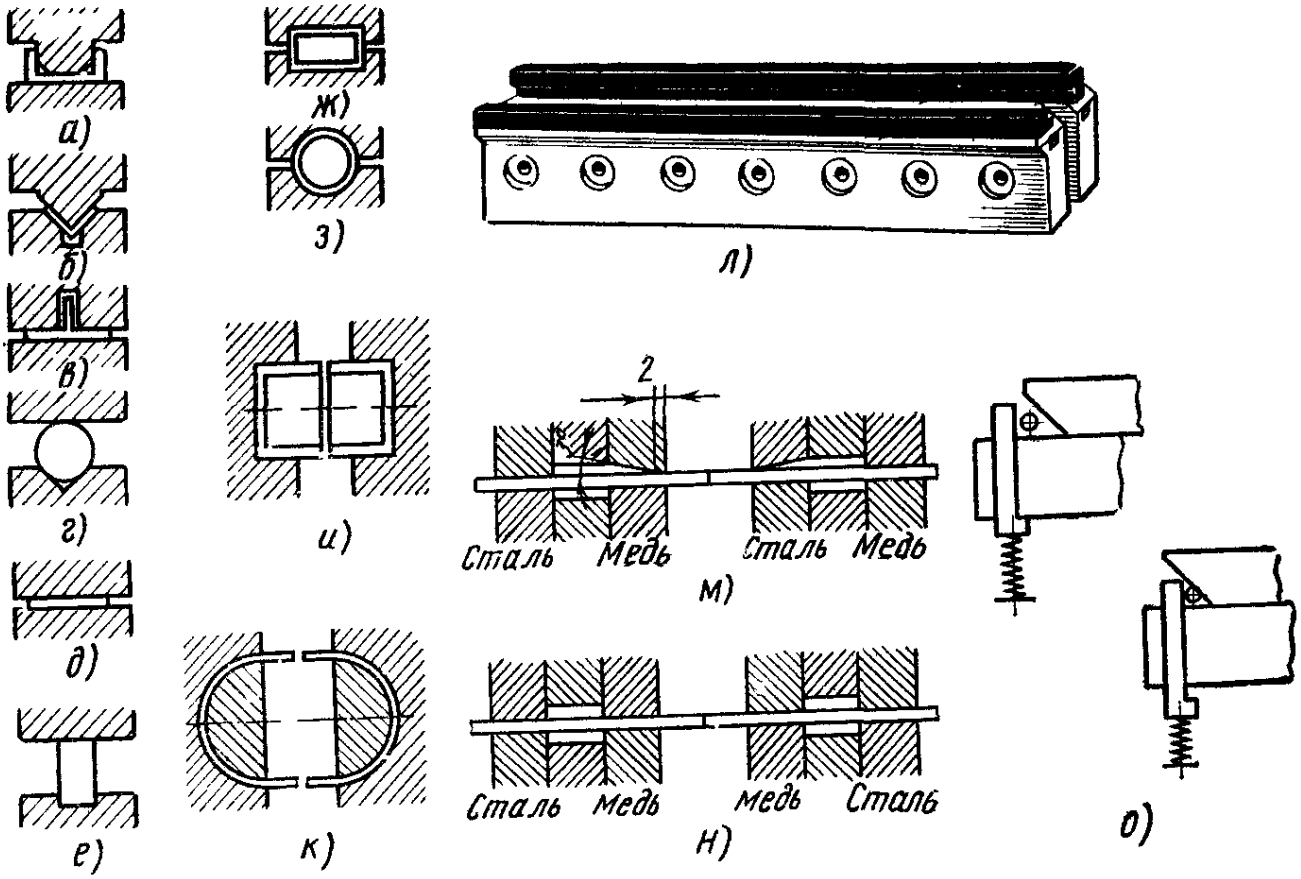


Рис. 31. Электроды стыковых машин

Электроды стыковых машин подводят ток и удерживают детали от проскальзывания при осадке. Их форма обычно соответствует сечению деталей (рис. 31).

Ленты и полосы сваривают на электродах с плоской поверхностью (рис. 31 *д*, *л*), швеллеры (рис. 31, *а*), рельсы и бруски (рис. 31, *е*) — с плоской выемкой трубы и круглые стержни — с призматической (рис. 31, *г*) или полукруглой выемкой (рис. 31, з). Детали сложной формы (рис. 31, *б*, *в*, *ж*, *к*, *и*) сваривают в специальных электродах. На неподводящих ток электродах для повышения коэффициента трения часто делают насечку. В электроды иногда закрепляют, впаивают или вваривают вкладыши (рис. 31, *л*). Проволоку сваривают на специальных электродах (рис. 31, *о*). Полосы сваривают также на подушках с силовыми и токоведущими электродами (рис. 31, *м*, *н*). При сварке тонких полос на токоведущих электродах делают скосы, обеспечи-

вающие локальный подвод тока (рис. 31, *м*). При сварке без упоров проскальзывание предупреждается при ширине электрода 2,5δ детали. У полос эта ширина составляет не менее 10δ. Минимальную площадь контакта электрода с деталью определяют по максимально допустимому давлению 2 кгс/мм² для меди, 4 кгс/мм² для бронзы МЦ-2, МЦ-3 и Бр.НБТ. Температура контакта электродов с деталями достигает 250—300° С. Плотность тока не превышает 7—10 А/мм².

Толстостенные трубы при $\delta < 10$ сваривают на электродах с призматической, а тонкостенные во избежание смятия — с полуцилиндрической выемкой. Зазор в зоне разъема цилиндрической выемки близок к 1—2 мм.

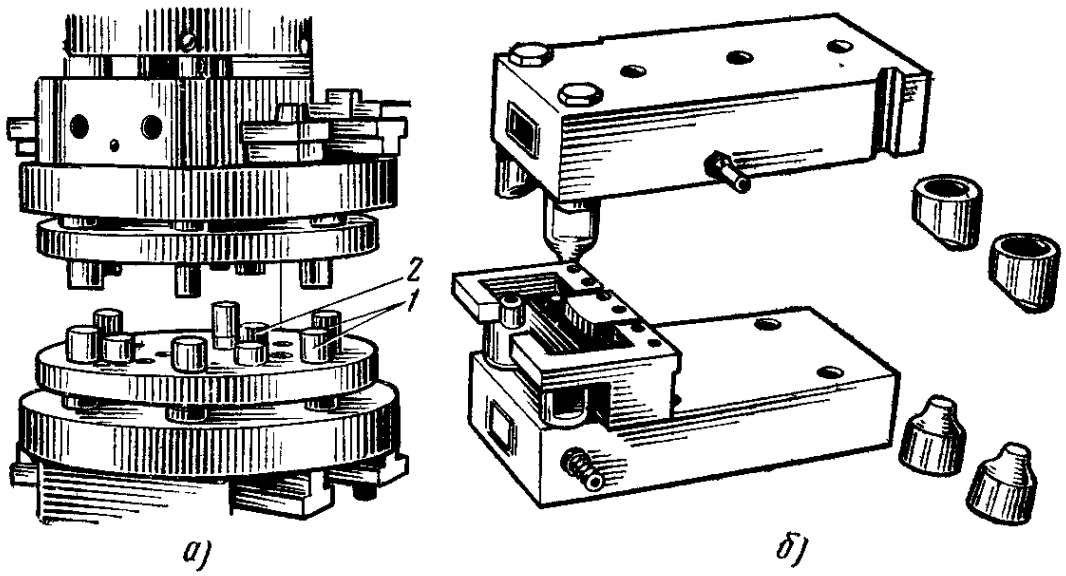


Рис. 32 Электроды рельефных машин

Полосы и стержни из сплавов алюминия сваривают на электродах со вставками из стали 3ХВ8 или ХВГ, имеющими угол 60° для срезания или надрезания высаженного металла.

Электроды для рельефной сварки имеют большие площади контакта, в которых плотность тока меньше, чем при сварке точки. Хорошее охлаждение электродов повышает их стойкость.

Стержни вкрест приваривают плоскими или с радиусной выемкой электродами. Групповую сварку рельефов осуществляют в сложных приспособлениях, которые часто объединяются с установочными устройствами, которые монтируются на промежуточных плитах (рис. 32). Детали фиксируются по штырям *1*, *2* приспособления (рис. 32, *а*), по фиксаторам или выемкам (рис. 32, *б*) или при помощи более сложных устройств.

Площадь контакта электрода мало влияет на локализацию тока, равномерность которого зависит от степени сжатия рельефа.

В Т-образных соединениях используют разжимные электроды (рис. 33, *а*) или изоляционные втулки, в которые вставляется деталь (рис. 33, *г*, *д*, *е*), сжимаемая верхней плитой. Также возможен токоподвод цанговыми зажимами и приложение P_c непосредственно к детали.

Для устранения шунтирования также применяют фиксирование одной детали по фиксатору, вставляемому в ее отверстие (рис. 33, *б*), а второй детали по этому же фиксатору и по ее контуру.

Вставки и плиты охлаждают через засверленные в них каналы. При близком расположении этих каналов во вставках каналы не делаются. Электроды для кольцевых рельефов закрепляют в плитах на конусе или резьбе. Вставки-диаметром, в 3—5 раз большем диаметра

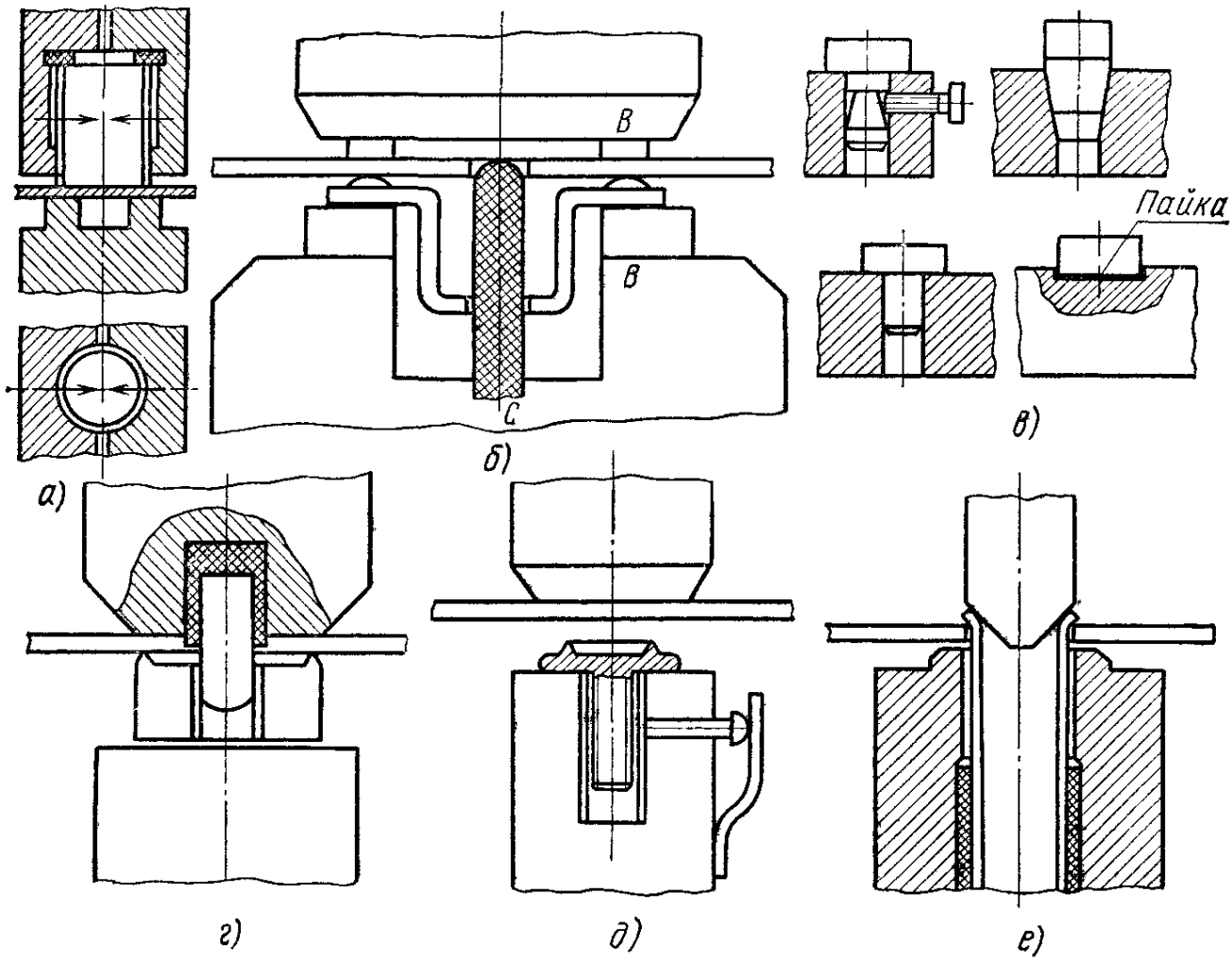


Рис. 33 Приспособления для рельефной сварки (*а, б, в, г, д, е*) и схемы крепления электродных вставок (*в*)

рельефа $d_р$, и высотой (0,3—0,5) d крепятся винтами на конусной посадке запрессовкой, пайкой в выемку глубиной 0,7—0,8 мм, серебряными припоями (рис. 33, *в*).

Равномерность поджатия рельефов обеспечивается автономным ходом электродов, упругими элементами или качающимися шарнирами.

Длительность работы электродов повышается при правильной их эксплуатации. При точечной сварке электрод из электрододержателя выталкивают навертыванием на электрододержатель гайки, упирающейся в электрод, съемником, упирающимся в электрододержатель при навертывании на электрод.

Электроды изготовляют прессованием, прокаткой или механической обработкой, а восстанавливают после износа прессованием, наплавкой

под слоем флюса АН-20, сваркой трением, диффузионной сваркой или аргонно-дуговой сваркой с последующим механическим упрочнением или термообработкой. Их регулярно зачищают фрезами, шлифовальной шкуркой на резиновой подушке, кардолентой или абразивной резиной, а также напильниками, устанавливаемыми в пазы с требуемым углом заточки.

Частота зачистки зависит от материала и подготовки деталей, а также от материала электродов и их охлаждения. Электроды при точечной сварке стали обычно зачищают через 300—1000, а алюминиевых сплавов — через 30—50 точек. Электроды при шовной сварке зачищаются, а их форма сохраняется при обжатии стальными шарошками с насечкой, параллельной их оси или расположенной на спирали. Электроды стыковых машин зачищают шлифовальной шкуркой или механически на станках с последующим шлифованием. Электроды заменяют по мере износа.

Практикуется плановая механическая зачистка и принудительная замена изношенных электродов новыми или прошедшими ремонт. Каждая машина снабжается запасным комплектом электродов, который хранится в деревянных футлярах. На стыковых машинах, например, достаточно одного-двух запасных комплектов, а на точечных — не менее четырех-пяти пар электродов. Работа на изношенных электродах во избежание ухудшения качества соединений не допускается.

§ 12. Привод электродов

Привод электродов сжимает детали с постоянным или переменным P_c (точечная и рельефная сварка) и перемещает их (шовная и стыковая сварка) по определенной программе.

Ручной привод повсеместно заменяется механизированным. Его иногда применяют в стыковых и точечных машинах малой мощности. В стыковой машине система рычагов (рис. 34, *а*) увеличивает усилие в стыке. Перемещение плиты *3* длинным рычагом *1* вручную через серьгу *2* контролируется по шкале *7*, на которой отмечаются припуски на подогрев, оплавление и осадку. При сварке сопротивлением пружинный привод создает давление, регулируемое винтом *6*, после освобождения сжатой пружины. Рычагом *1* (рис. 34, *б*) с эксцентриком *8* плита *3* отводится в исходное положение и пружина *4* сжимается до фиксированного защелкой *5* положения. После закрепления деталей защелка освобождает пружину, и она начинает давить на подвижную станину и детали.

В точечных машинах верхний электрод перемещается обычно по дуге окружности или прямолинейно. В рычажном приводе (рис. 35, *а*) электрод *2* зажимает детали при нажатии педали *1* через систему тяг, рычагов *5* и регулирующую пружину *3*. Конечный выключатель *4* включает ток после сжатия пружины. При достаточной длине пружины износ электродов мало влияет на P_c. В конденсаторных точечных машинах P_c создается грузом P (рис. 35, *б*), перемещаемым при регулировании. Педаль *1* имеет ограничитель *6*. Электрод *2* перемещается прямолинейно. Педаль иногда заменяется электромагнитом.

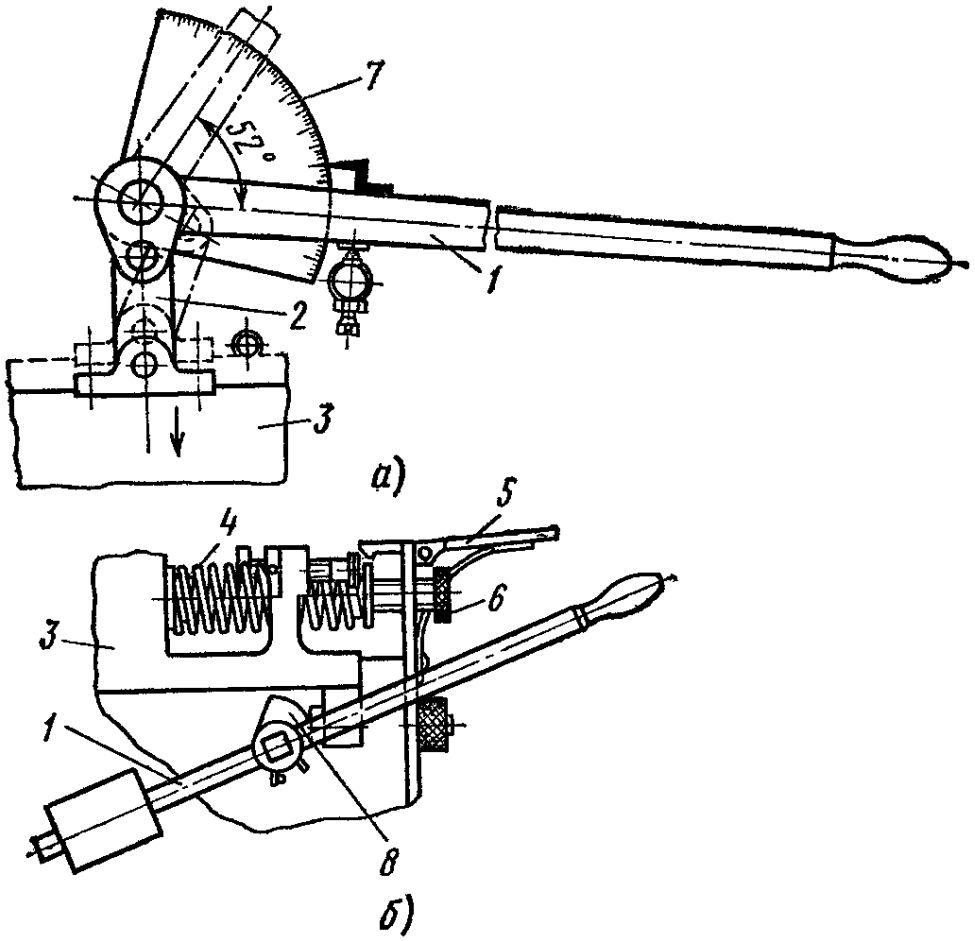


Рис. 34. Рычажный (*а*) и пружинный (*б*) приводы стыковых машин.

1 — рычаг, *2* — серьга, *3* — подвижная плита, *4* — пружина, *5* — защелка, *6* — винт натяга пружины, *7* — шкала, *8* — эксцентрик

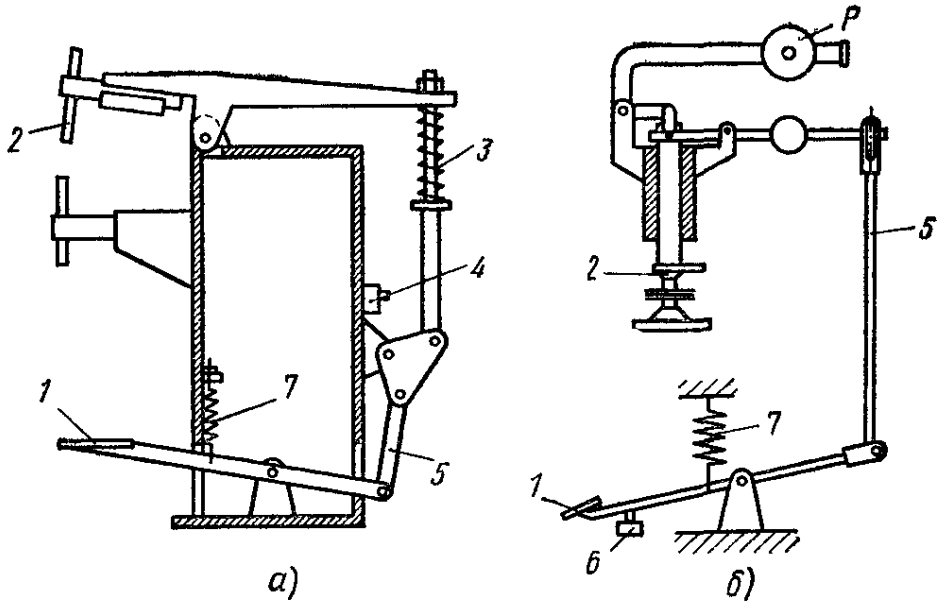


Рис 35 Педально-пружинный (*а*) и грузовой (*б*) приводы точечных машин:

1 — педаль, *2* — подвижный электрод, *3* — пружиna, *4* - конечный выключатель, *5* — рычаг, *6* — ограничитель хода, *7* — пружина возврата

Электромеханический привод стыковых машин (рис. 36) имеет электродвигатель *9* с регулируемым или нерегулируемым числом оборотов и систему зубчатых и червячных передач. Ползун *1* перемещает подвижную плиту от кулачка *3* через опорный ролик *2*. Кулачок вращается через текстропную передачу с вариатором *10*, сменные шестерни и червячную передачу *5*.

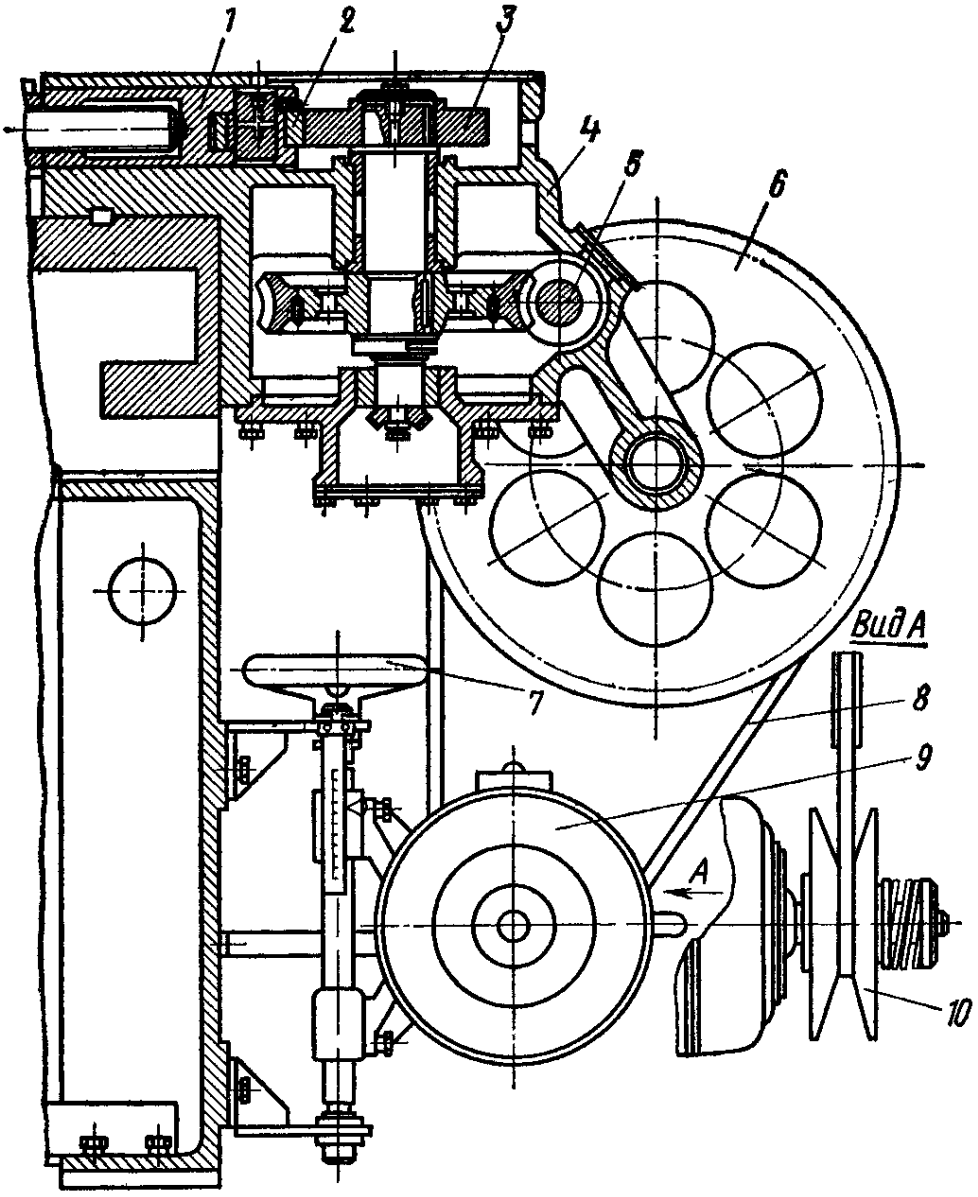


Рис. 36. Электромеханический привод:

1 — ползун, *2* — ролик, *3* — кулачок, *4* — редуктор *5* — червяк, *6* — шкив, *7* — маховик регулировочного винта, *8* — ремень, *9* — электродвигатель, *10* — вариатор

Электроды в шовных машинах приводятся во вращение через зубчатые и червячные передачи или непосредственно от специального электродвигателя.

Пневматический привод обеспечивает широкий диапазон регулирования P_c и большое число ходов в минуту. В поршневом приводе двустороннего действия (рис. 37, *а*) P_c регулируется изменением давления воздуха в верхней полости цилиндра. При на-

личии воздуха в нижней полости P_c пропорционально площади сечения штока *4*, а при отсутствии пропорционально площади поршня. Ход штока ограничивают верхним поршнем *2*, который опускается под давлением воздуха до упоров фиксируемую гайку *1* вниз и уменьшает ход нижнего поршня *3*.

В среднюю и нижнюю полость подается воздух требуемого давления. При подъеме электрода вверх верхняя полость соединяется с атмосферой и сжатый воздух нижней полости поднимет оба поршня до упора в верхнюю крышку. В быстродействующем диафрагменном приводе (рис. 37, *б*) используются диафрагмы, работающие без тре-

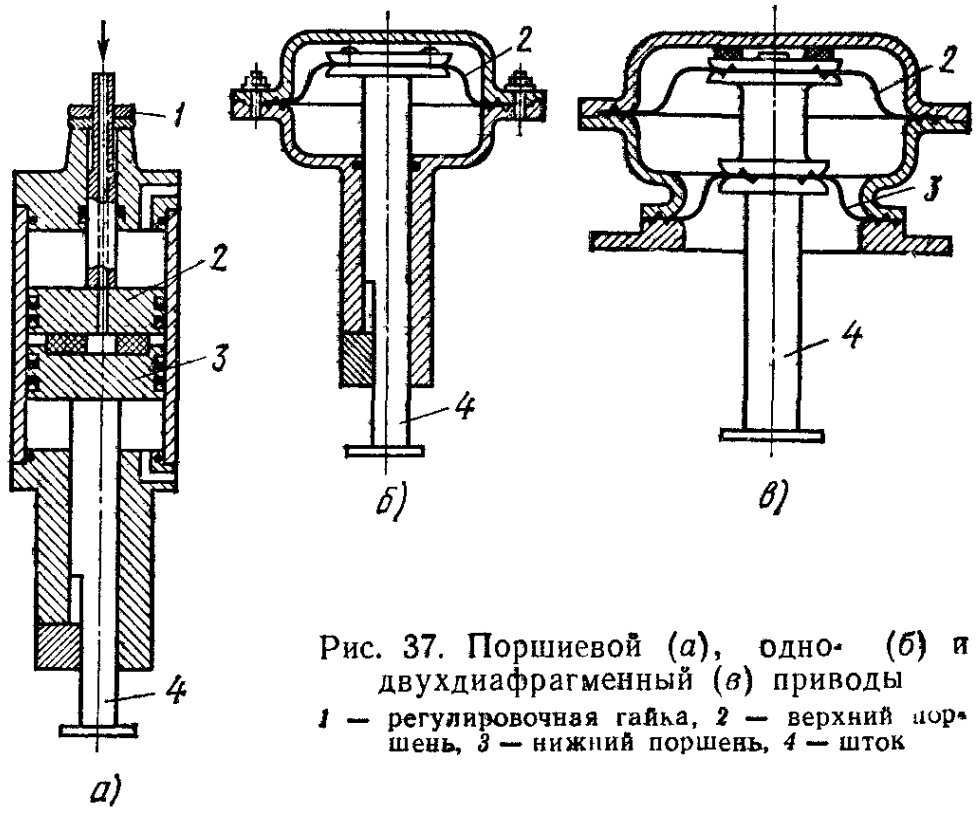


Рис. 37. Поршиевой (*а*), одно- (*б*) и двухдиафрагменный (*в*) приводы
1 — регулировочная гайка, *2* — верхний поршень, *3* — нижний поршень, *4* — шток

ния и стабилизирующие P_c. Трение штока *4* (рис. 37, *в*) о направляющие устраняется в двухднафрагменном приводе, в котором диафрагмы разного размера расширяют диапазон регулирования P_c. Сжатый воздух при опускании подается в верхнюю или в верхнюю и среднюю камеры, а при подъеме — в среднюю, а верхняя сообщается с атмосферой. Дополнительный ход в некоторых точечных машинах обеспечивается электродвигателем *2* (см. рис. 97), который через шестерни *3* и *7* и ходовой винт *8* перемещает ползун *1* с верхним электродом относительно штока *4* пневмоцилиндра.

В пневмогидравлическом приводе (рис. 38) воздух, поступающий в пневмоцилиндр *3*, воздействует через поршень *4* на жидкость, а жидкость на поршень *2*. При подаче в полость *А* преобразователя давления *1* сжатого воздуха поршнем *6* через шток *5* перекрывается полость *В* и создается высокое давление жидкости на поршень *2*.

Гидравлический привод (рис. 39) имеет сравнительно малые диаметры цилиндров, обычно работающих при высоких

давлениях жидкости. Давление масла или другой жидкости, подаваемой насосом *1* из бака *2*, регулируется разгрузочным клапаном *3*. Масло подается через клапан *4* в полость *А*. Аккумулятор *6*, обеспечивает большие расходы жидкости. Масло из полости *Б* цилиндра *5* при движении

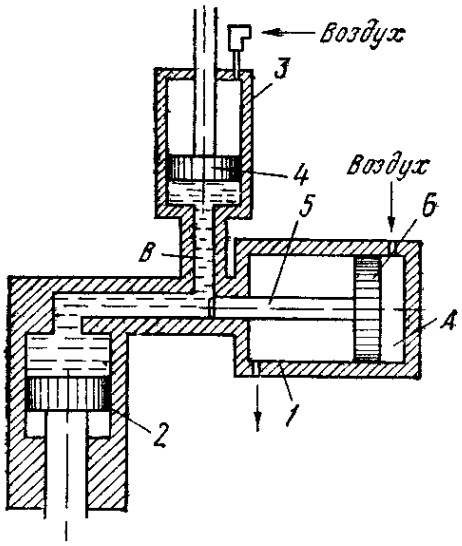


Рис. 38. Пневмогидравлический привод

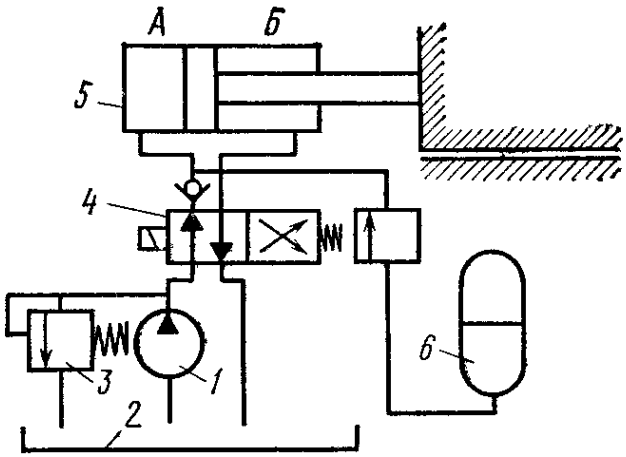


Рис. 39. Гидравлический привод

штока вправо сливается в бак *2*. Гидравлический привод при качественном изготовлении гидроаппаратуры весьма надежен в работе, быстроходен и обеспечивает заданную программу давления.

§ 13. Аппаратура управления

Работой узлов машин в требуемой последовательности управляет электрическая, пневматическая и гидравлическая аппаратура. Аппаратура также используется для контроля и регулирования параметров или самонастройки машины по определенным критериям или по математическому описанию процесса.

Комплексная автоматизация сварочных и вспомогательных операций усложняет управление машинами, повышает требования к быстродействию и иадежности. Поэтому иенадежная контактная аппаратура (реле, пускатели и др.) заменяется бесконтактными элементами.

В системах управления с бесконтактными элементами на базе транзисторов «Логика Т» информация обрабатывается и выходные команды осуществляются статическими (без движущихся контактов) аппаратами, которые при блочной конструкции узлов и соответствующих разъемах не требуют больших затрат на обслуживание.

В обычной контактной схеме при размыкании управляющего контакта *Р3* (рис. 40, *а*) катушка реле *Р1* включится, а при замыкании (рис. 40, *б*) выключится. В аналоговой подобной схеме на транзисторе *Т* (рис. 40, *в*) таким контактом служит переход эмиттер—коллектор (*Э—К*), а база *Б* управляет током, протекающим через транзистор.

Сопротивление $R_{св}$ в обеих схемах включения реле *Р1* ограничивает ток через управляющий элемент. Реле *Р1* работает четко, если весь ток, протекающий через $R_{св}$, ответвляется по цепи *К—Э*. ($R \to 0$ — отсечка) или протекает через катушки *Р1* (*R* велико — насыщение).

В реальной схеме (рис. 40, *г*) обеспечивают оба состояния транзистора, один из источников питания положителен по отношению к общей (нулевой) точке + $E_{см}$ (напряжение смещения +6В — отсечка), а второй отрицателен — $U_п$ (напряжение питания —12, —24 В). Входной сигнал подается между выводом «вход» и нулевой шиной *ОТ*, выходной снимается между «выходом» и нулевой шиной при соответствующей диаграмме изменения напряжения — потенциальной характеристике (рис. 40, *д*).

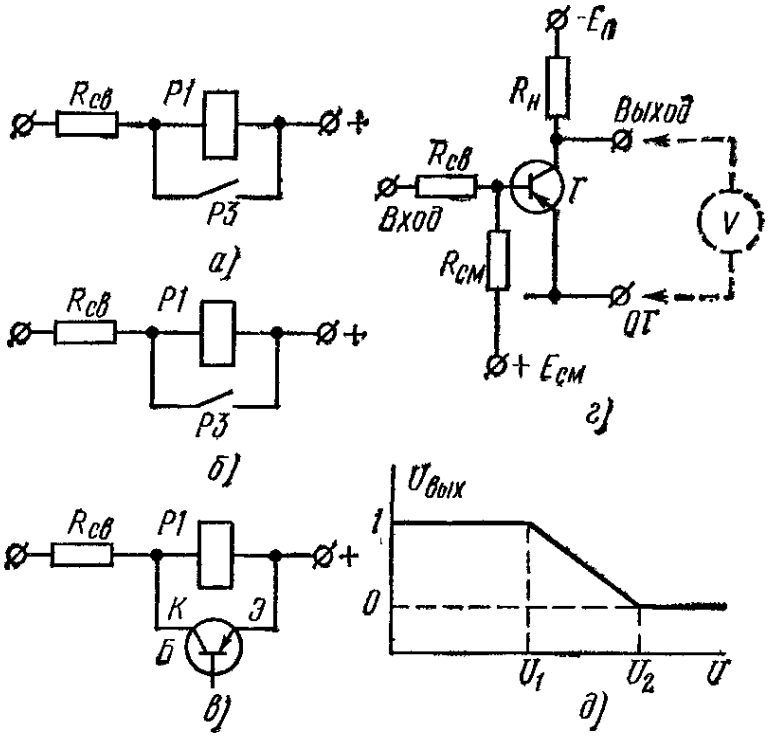


Рис. 40. Схемы контактного включения реле *Р1* размыкающим (*а*), и замыкающим (*б*) контактами, а также бесконтактиого включения траизистором (*в*), и транзисторный ключ (*г*) с его потеициальной диаграммой (*д*):

Р1 и *Р3* — реле *R*, $R_н$, $R_{св}$, $R_{см}$ — сопротивления, *Т* — транзистор, *U* — напряжение, *Э* — эмиттер, *К* — коллектор, *Б* — база

Дискретные значения сигнала 0 и 1 соответствуют низкому и высокому уровню тока (или напряжения). Сигнал 0 обычно ниже 1 В, а сигнал 1 — выше 4 В.

Логические элементы анализируют сигналы, поступающие на его вход. Они выполняют простые операции «И», «ИЛИ», «НЕ», «Память», «Выдержку времени», и «Усиление». В схемах также применяют функциональные элементы преобразования сигналов.

Элемент «И» выдает сигнал тогда, когда на всех его входах присутствуют сигналы, а «ИЛИ» при наличии сигнала на любом из его входов. Элемент «НЕ» выдает сигнал при отсутствии сигнала на входе и, наоборот, не выдает его при наличии входного сигнала. Элемент «Память» сохраняет выходной сигнал, возникший под действием входного сигнала, впредь до прихода следующего сигнала. Элемент «Выдержки времени» передает поступающий сигнал через заданную длительность, а элемент «Усиления» усиливает сигнал. Функциональные элементы преобразуют внешние сигналы системы в удобный для различных элементов вид и обратно при воздействии на управляемую систему. Элементы серии «Логика Т» оформлены в виде неразборных модулей, в которых полупроводниковые приборы, резисторы и другие детали смонтированы на гетинаксовых платах с печатным монтажом и помещены в полистироловый корпус, залитый компаундом на основе эпоксидной смолы.

Базовый элемент серии «Логика» «ИЛИ—НЕ» построен с помощью транзисторного усилительного каскада, работающего в ключевом режиме и диодной сборки «ИЛИ», установленной на входе усилителя (рис. 41, *а*). Транзистор *Т* включен по схеме с общим эмиттером. Входной сигнал отрицательной полярности $U_{вх}$ через один из диодов *Д1—Д3* и резистор $R_{св}$ прикладывается к переходу база — эмиттер транзистора *Т*. Выходной сигнал $U_{вых}$ получается между общей точкой источников питания *ОТ* и коллектором транзистора.

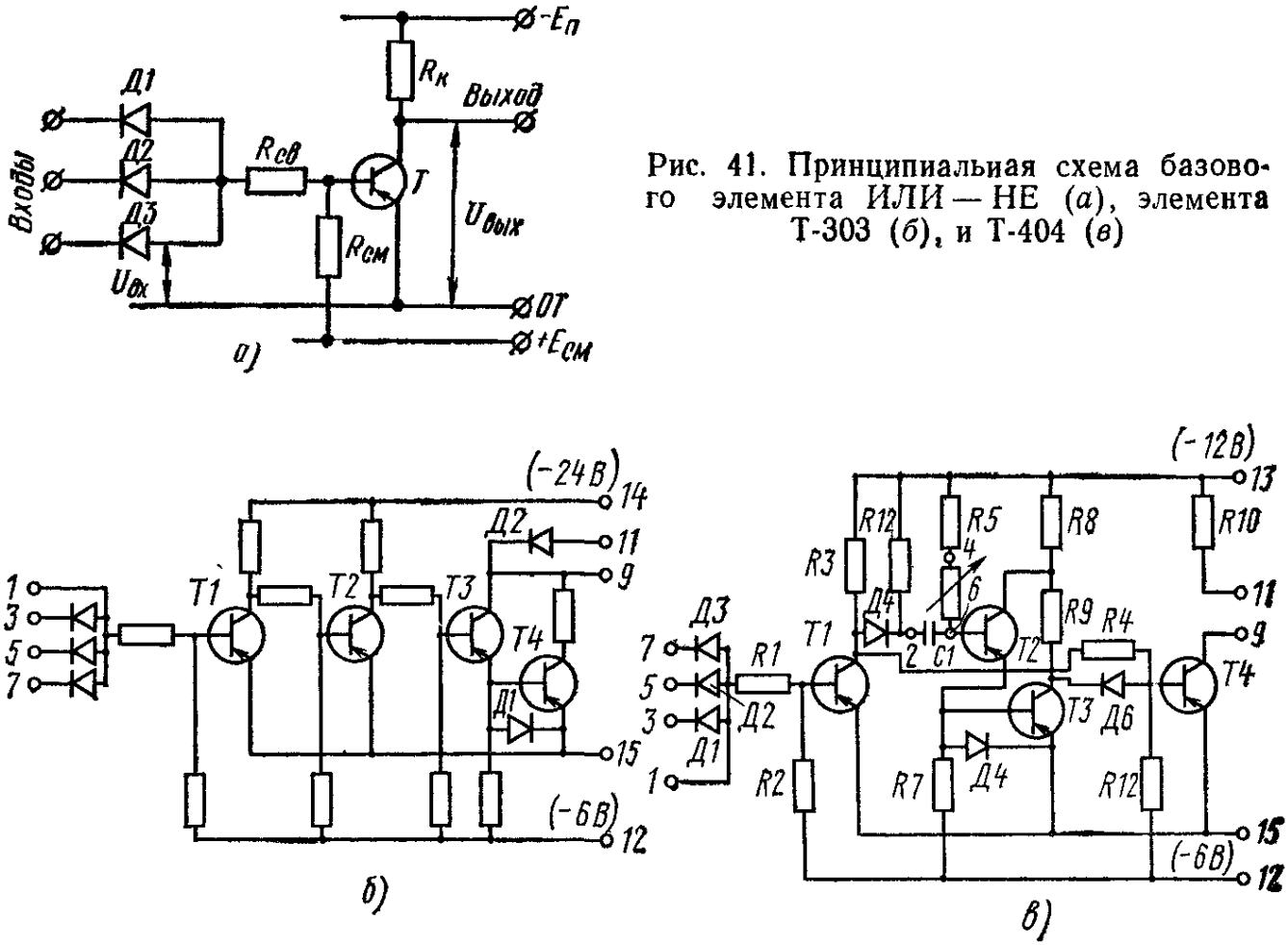


Рис. 41. Принципиальная схема базового элемента ИЛИ — НЕ (*а*), элемента Т-303 (*б*), и Т-404 (*в*)

Транзистор *Т* при нулевом входном сигнале запирается от источника с положительным смещением $E_{см}$ через резистор $R_{см}$, присоединенной к базе. На выходе имеется высокий отрицательный потенциал, соответствующий 1. При входном сигнале 1 к базе транзистора прикладывается отрицательный потенциал и через переход база—эмиттер протекает ток, достаточный для его перевода в режим насыщения. Выходное напряжение имеет низкий отрицательный потенциал и принимается за логический сигнал 0. Следовательно, при 0 на входе на выходе будет 1, и наоборот, т. е. усилительный каскад реализует логическую функцию инверсии (отрицания).

Диодная сборка *Д1—Д3* реализует функцию «ИЛИ». Действительно при 1 на катоде любого диода транзистор перейдет в режим насыщения независимо от сигналов на катодах остальных диодов.

Элемент Т-303 (рис. 41, *б*) обеспечивает появление выходного сигнала с выдержкой времени, задаваемой установкой после подачи

сигнала на один из выводов *3*, *5* или *7*. Принцип действия основан на разряде емкости *C* на сопротивление *R6* и *R5*. При отсутствии сигнала на входе транзистор *T1* заперт, *T2*, *T3* и *T4* насыщены. Заряженный конденсатор *C1* имеет положительную полярность напряжения в точке *6* и отрицательную в точке *2*.

Транзисторы *T2* и *T3* насыщены благодаря базовым сопротивлениям *R5* и *R6*, подключенным последовательно к отрицательному источнику питания. Транзистор *T4* насыщен благодаря его связи через резистор *R4* с закрытым транзистором *T1*. При появлении вводного сигнала транзистор *T1* насыщается и снимает свой сигнал со входа транзистора *T2*, однако благодаря разряду конденсатора *C1* на базовое сопротивление транзисторы *T2* и *T3* закрываются и через диод *Д6* транзистор *T4* поддерживается в состоянии насыщения. Конденсатор *C1* и сопротивление $R6 < 220$ кОм в элементе не установлены и входят в комплект поставки.

Э л е м е н т Т-404 (рис. 41, *в*) — тридцативаттный усилитель мощности предназначен для управления различными электромагнитными устройствами постоянного тока с напряжением 24 В и током срабатывания не более 1,2 А. Входная цепь усилителя выполнена по схеме «ИЛИ» и способна работать от входного тока в 3 мА.

Элемент содержит два предварительных каскада усиления на транзисторах *T1* и *T2*, которые увеличивают входной сигнал до уровня, достаточного для насыщения выходных мощных транзисторов *T3* и *T4*. Нагрузка подключается к выводам *9* и *14*. Диод *Д2* включается параллельно нагрузке и предназначен для защиты выходного транзистора *T4* от перенапряжения при отключении тока в цепи с индуктивной нагрузкой.

В примерах реализации логических функций на элементах серии «Логика Т» (рис. 42) диаграммы работы построены для входных (x, x_1, x_2) и выходных переменных с потенциальным (y) и импульсным (y_n) сигналами.

Функция «Повторение» выполняется логическим элементом «Повторителем». В связи с его отсутствием в серии она реализуется двумя последовательно включенными элементами, инвертором и импульсно-потенциальным ключом, работающими в режиме инверторов (рис. 42, *а*).

Функция «Инверсия» выполняется логическим элементом «Инвертором». Инвертор в серии отсутствует. Ее получают элементом «ИЛИ—НЕ» или «И—НЕ». Для перевода в режим инвертора потенциально-импульсного ключа его управляющий ввод *5* соединяется с общей точкой питающих напряжений *ОТ* (рис. 42, *б*).

Функция «ИЛИ» выполняется логическим элементом «ИЛИ» (Т-106). Этот элемент не может работать на последовательную нагрузку. Поэтому функцию реализуют с помощью элементов «ИЛИ—НЕ» и инвертора, обладающего в 3 раза большей нагрузочной способностью (рис. 42, *в*).

Функция «И» выполняется логическим элементом «И». Из-за низкой нагрузочной способности эту функцию выполняют с помощью инверторов и элемента «ИЛИ—НЕ» (рис. 42, *г*).

Функция «ИЛИ—НЕ» выполняется логическим элементом «ИЛИ—НЕ» (рис. 42, *д*).

Функция «И—НЕ» выполняется логическим элементом «И—НЕ». Эта функция может быть реализована элементом «И» и инвертором (рис. 42, *е*), инверторами и элементом «ИЛИ» или инверторами. Функция «Запрет» реализуется логическим элементом «Запрет» или элементами, входящими в серию (рис. 42, *ж*). Логические элементы имеют ограниченное число входов. Большее число входов реализуется для функции «ИЛИ» и «И» последовательным включением элементов Т-106 и Т-107.

Универсальный для точечной и шовной сварки блок регулирования состоит из блока транзисторных элементов «Логика Т», блока фазовращателя, блока питания и панели управления. На панели имеются ручки переключения «Импульс» и «Пауза», резисторов «Нагрев» и «Модуляция», выключатель модуляции, переключатель «Точечная сварка», «Шовная сварка», а также сигнальные лампы и предохранители. Блок также обеспечивает синхронное включение и выключение тока, его стабилизацию и подстройку под cos φ машины.

В блок регулирования входят элементы Т-101, Т-102, Т-107, Т-403 и Т-404. Схема и диаграммы работы элементов прикладываются к описанию устройства. В современных машинах также используют регуляторы цикла сварки (РЦС). В частности, регулятор РЦС-403 на элементах «Логика Т» (с использованием элемента Т-303), работающий совместно с тиристорным контактором КТ, обеспечивает плавное регулирование: длительности импульса и пауз от 0,04 до 1,7 с, дискретное регулирование t_c от 0,02 до 2,2 с. В ряде машин используют и более сложные регуляторы. Одно из современных реле для регулирования длительности показано на рис. 80.

Пневматическая аппаратура управления состоит из клапанов, редукторов, лубрикаторов, дросселей и др.

Клапаны электропневматические мембранные КПЭМ (рис. 43) обеспечивают впуск и выпуск воздуха. В клапане КПЭМ корпус состоит из трех частей и имеет четыре гнезда с седлами для четырех тарельчатых клапанов *6* с резиновым уплотнением, собранных попарно на двух штоках *1* и *5*. Пружина *3* прижимает клапаны к седлам, а штоки прижимают опорные чашки *12* к мембранам *11*. По отверстиям *4*, *13* и *14* подводится и отводится воздух. В корпусе *2* также есть щели для выброса воздуха в атмосферу. Сверху корпуса на кольце укреплен электромагнит *10* с шариковым клапаном, имеющий колодку *7* с отверстиями для подключения воздуха и его выброса. Шарик *8* прижат пружиной через шток *9* к входному отверстию и перекрывает подачу воздуха в диафрагменные камеры, которые сообщаются в этом положении с атмосферой.

Под давлением пружины и сжатого воздуха нижний клапан открывается и пропускает воздух в отверстие *13*, а верхний клапан перекрывает доступ к отверстию *14* и соединяет его с атмосферой.

При включении электромагнита шарик освобождается от штока и потоком воздуха отбрасывается, перекрывая отверстие, соединяющее внутреннюю полость шарикового клапана с атмосферой. Сжатый воз-

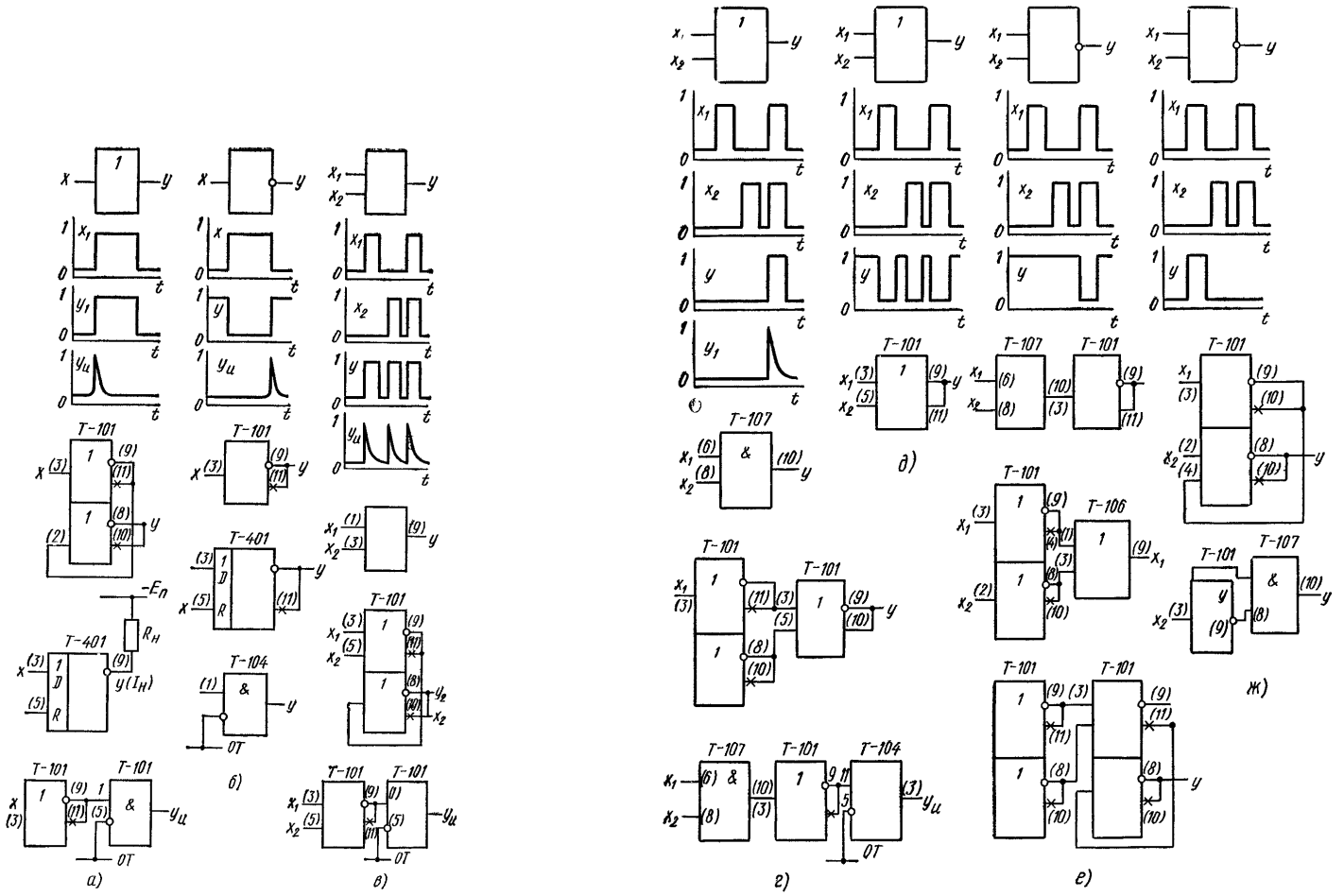
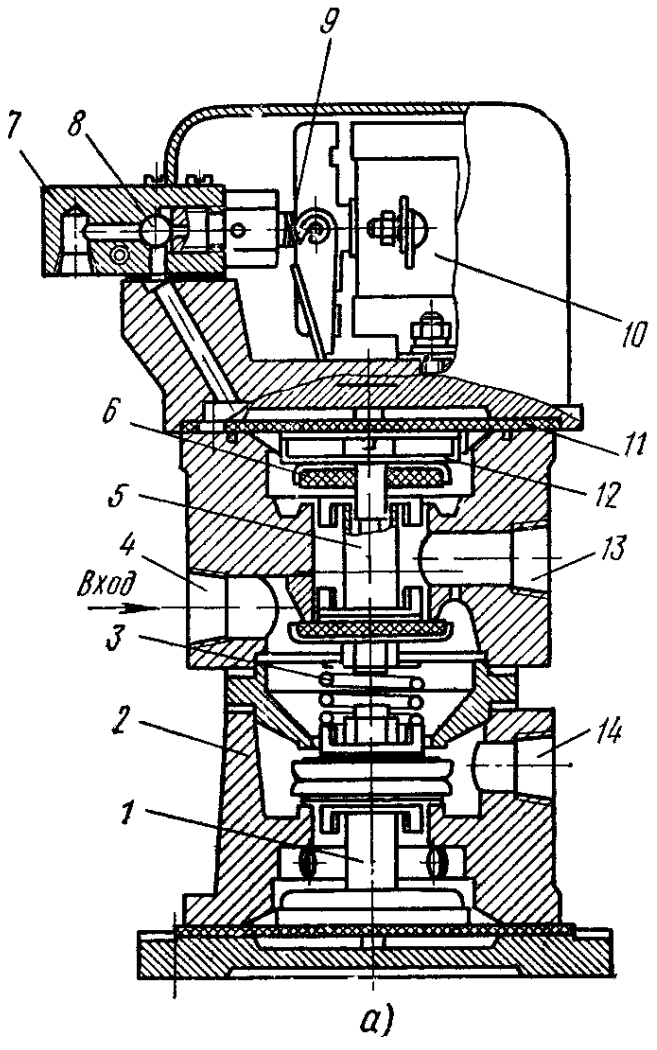


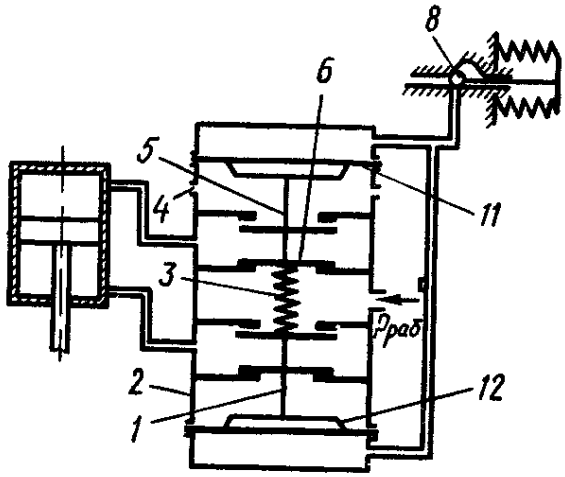
Рис. 42 Графическое изображение с диаграммой работы и примеры реализации функций. «Повторение» (*а*), «Инверсия» (*б*), «ИЛИ» (*в*), «И» (*г*), «ИЛИ — НЕ» (*д*), «И—НЕ» (*е*) «ЗАПРЕТ» (*ж*) на элементах «Логика Т» (сверху вниз)

дух из сети попадает в диафрагменные полости, мембраны прогибаются и передвигают клапаны, открывая и закрывая соответствующие седла; клапаны направляют сжатый воздух из входного отверстия к отверстию *14*, а отверстие *13* соединяют с атмосферой. При выключении электромагнита пружина возвращает клапаны в исходное положение.

В электропневматическом клапане КЭП-15 (рис. 44) воздух из сети через отверстие *13* подается в полость *9*. При отключенном магните шток *3* с закрепленной на нем резиновыми буферами пружиной *2*



а)



б)

Рис. 43 Электропневматический клапан КПЭМ (*а*) и его схема (*б*):

1, *5* — штоки, *2* — корпус, *3* — пружина, *4*, *13* и *14* — отверстия, *6* — клапан, *7* — колодка, *8* — шарик, *9* — шток, *10* — электромагнит, *11* — мембрана, *12* — опорные чашки

поднимается в крайнее верхнее положение и воздух из полости *9* через полость *8* поступает в отверстие *12*, а отверстие *14* через полость *10* и отверстие *15* соединяется с атмосферой. При втягивании якоря *6* воздух через отверстие *7* поступает в полость под мембраной *5*, которая, прогибаясь, смещает шток в крайнее нижнее положение. При этом воздух из полости *9* через полость *10* поступает в отверстие *14*, а отверстие *12* через отверстие *11* соединяется с атмосферой.

В маслораспределителе ВЧ4-2 сжатый воздух, поступающий через отверстие *4* (рис. 45), разделяется, протекая по щелям *9* к отверстию *7* и по каналам *5*, *2* и *8*. При закрытом дросселе *13* давление в стакане *1* и полости *6* одинаково и масло не подается. При дросселировании давление в полости *6* меньше, чем в стакане *1*, и масло по трубке *11* поднимается вверх, отжимает шарик *10* и попадает в трубку *12*. В зоне распылителя давление снижается и масло выгя-

гнвается нз трубки *12* и, проходя через отверстне малого днаметра распылителя, распыляется сжатым воздухом, поступающим по каналу *2* к каналу *8*.

Воздушный редуктор БВ57-1 (рис. 46) предназначен для регулирования и автоматического поддержания давления. Воздух из сети по отверстию *2* н отжатый пружиной *4* через толкатель *3*, клапан *13* поступает в выходное отверстие *12* и через канал *11* в полость *10*, создавая давление на мембрану *9*. При уменьшенин давления у отверстия *12*, а следовательно, н в полости *10* мембрана *9* прогнется и увеличит открытие клапана *13*. Давление в полости *10* уравновесится пружиной *4*. При равенстве давлений мембрана поднимется, вследствие чего клапан откроется. Давление регулируется сжатием пружины винтом *6*. Клапан *8* служит для сброса давления сжатого воздуха. Если расхода нет, то давление в полостн *10* нз-за утечек по клапану *8* нарастает, поднимается мембрана *9* с клапаном *8* и сжатый воздух через отверстие *7* в корпусе *5* выпускается в атмосферу. Клапан *8* позволяет изменить высокое давление на более низкое при отсутствии расхода воздуха.

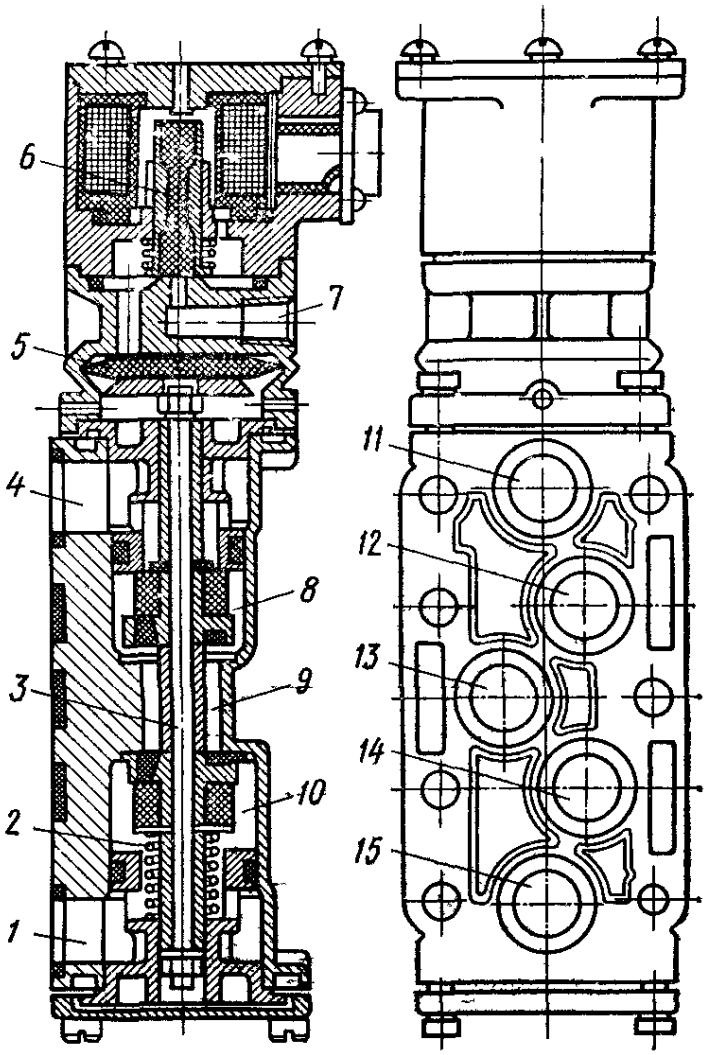


Рис. 44. Электропневматический клапан КЭП-15:

1 — корпус, *2* — пружина, *3* — шток, *4* — уплотнения, *5* — мембрана, *6* — якорь электромагнита, *7*, *11*, *12*, *13*, *14* и *15* — отверстия, *8*, *9* и *10* — полости

Во влагоотделителе воздух очищается от влаги и твердых частнц. Воздух по отверстию *5* (рис. 47) проходит в стакан *2* через щелн в отражателе *4* и движется по винтовой линии. Центробежными силами мелкие частицы воды н масла отбрасываются по стенке *3*, где, собираясь в капли, стекают в спокойную зону, отделенную заслонкой *8*. Осушенный воздух очищается от механических примесей размером более 0,05 мм металлокерамическим фильтром *7* и поступает к выходному отверстию *6*. Вода нз прозрачного стакана *2* выбрасывается сжатым воздухом после открытия запорного клапана *1*.

Гидравлическая аппаратура состоит из распределителей, регуляторов давления, обратных и дросселирующих клапанов и др.

Распределители используют в автоматических машинах для пуска, остановки и возврата гидравлических цилиндров, а также для регулирования скорости перемещения. Распределитель имеет стальной корпус *1* (рис. 48, *а*), в расточке его может двигаться золотник *2* по закаленной, тщательно отшлифованной стали. Перемещаемый электромагнитом или каким-либо другим механизмом золотник может перекрывать или открывать отверстия *А* и *Б*, ведущие к полостям цилиндра, или отверстия *В* и *Г*, ведущие соответственно к насосу и баку.

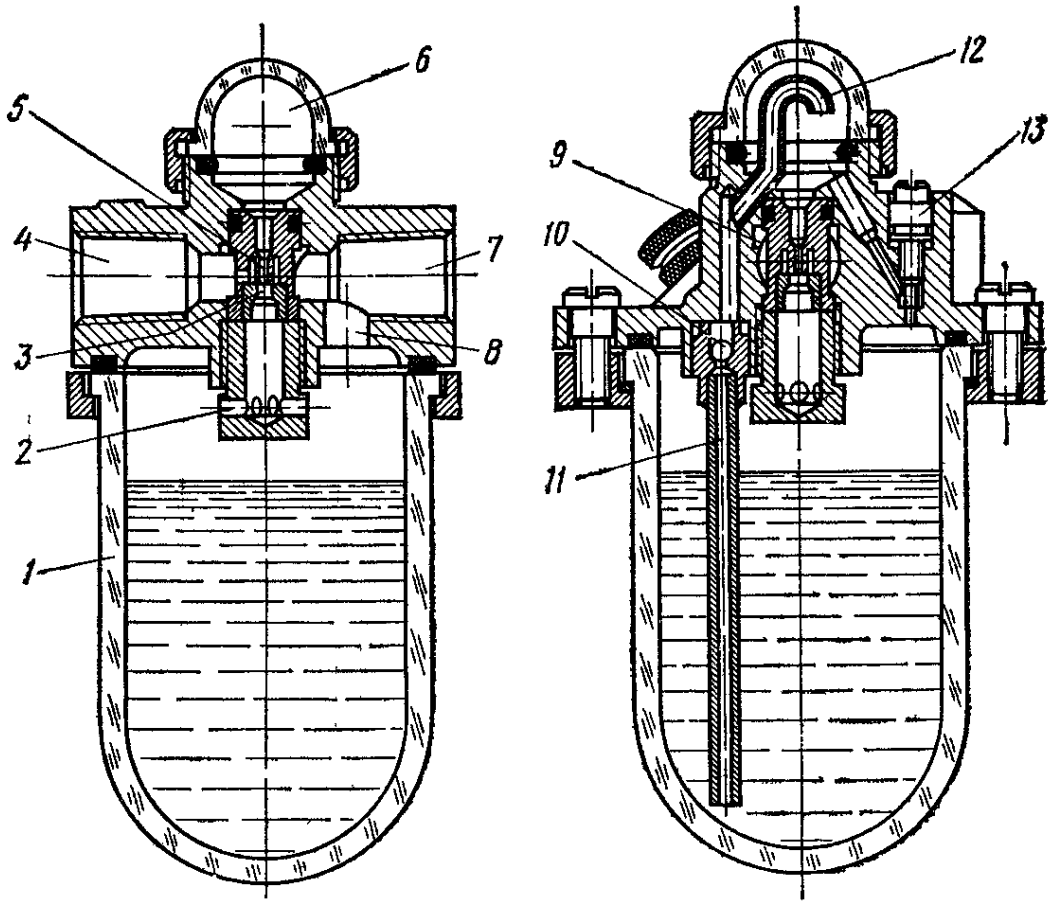


Рис. 45. Маслораспределитель ВЧ4-2:
1 — стакан, *2*, *3*, *5*, *8* — каналы, *4*, *7* — отверстия, *6* — полость, *9* — щель, *10* — шарик, *11*, *12* — трубки, *13* — дроссель

Через отверстие *Е* сбрасываются утечки масла. Электромагнит *3* при включении толкает пилот *4*, который, опускаясь, дает проход для масла от отверстия *Д*. Золотник сжимает пружину *5*. Отключение магнита сопровождается подъемом пилота собственной пружиной, прекращением пуска масла и его стоком через отверстие *Е*. Пружина *5* смещает золотник влево. Золотник расположен в корпусе с небольшими зазорами (4—6 мкм).

Для уменьшения утечки необходима определенная длина сопряжения *l* и перекрытия *l'*. Золотник останавливается в одном из двух положений *1* и *2* (рис. 48, *б*). Левому положению золотника соответствует поле *1*, правому — поле *2*. Стрелки указывают направление движения жидкостей. Пилоту в левом положении соответствует поле *3*, при котором масло отводится от торца золотника, а подвод масла от-

ключен. При включенном магните поле *4* соответствует подаче масла к торцу золотника.

В положении *1* масло по отверстиям *В* (от насоса) и *А* подается в одну из полостей цилиндра, а из другой полости через отверстия *Б* и *Г* сливается в бак, сжимая пружину. В положении *2* (при отключенном электромагните) масло через отверстия *А* и *Г* сливается в бак, а через отверстия *В* и *Б* в полость, из которой оно сливается в бак.

Помимо двухпозиционных имеются распределители с тремя положениями — средним и перекрывающим доступ масла в обе полости цилиндров.

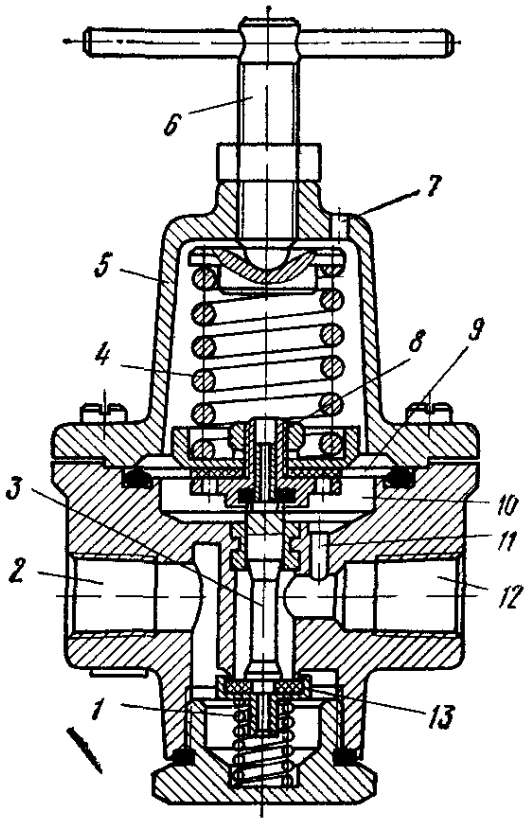


Рис. 46 Воздушный редуктор БВ57-1:

1, 4 — пружины, *2, 7, 12* — отверстия *3* — толкатель, *5* — корпус *6* — винт, *8* — клапан сброса, *9* — мембрана *10* — полость, *11* — канал, *13* — клапан

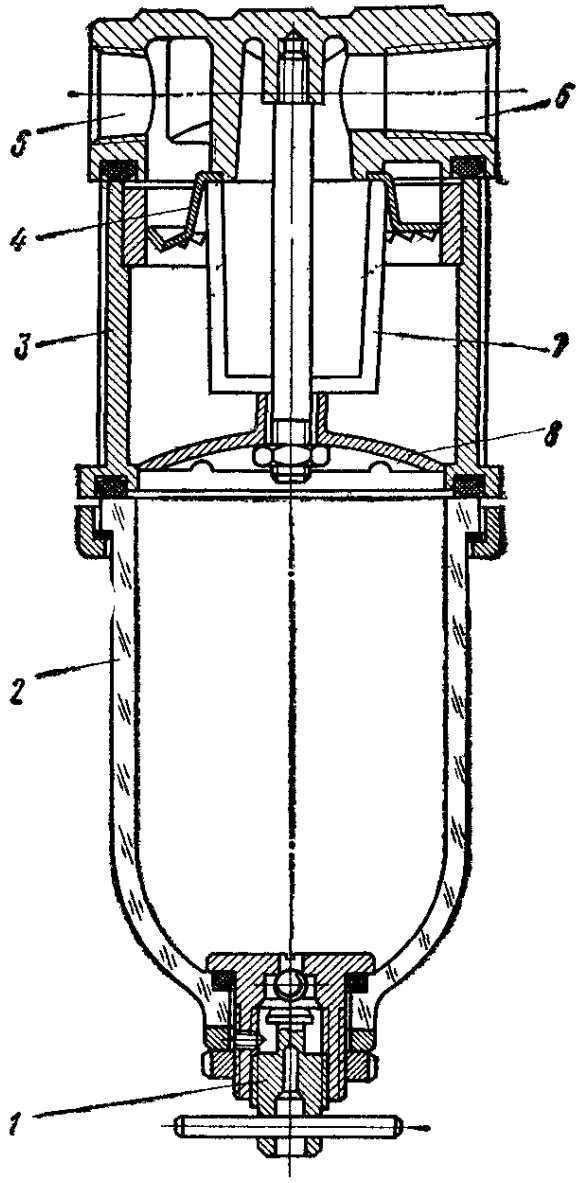


Рис 47 Влагоотделитель:

1 — запорный клапан, *2* — стакан, *3* — стенка, *4* — отражатель, *5, 6* — отверстия, *7* — фильтр, *8* — заслонка

В редукционном клапане давление, создаваемое насосом, понижается до рабочего. В клапане Г57-1 (рис. 49) масло поступает по каналу *11* в полость *10* под золотником *2* и одновременно из полостей *13* и *3* по каналу *1* в полость *15*, из которой через демпферное отверстие *14* в полость *9* и под шариковый клапан *8*, настраиваемый пружиной *7* на рабочее давление. При давлении, меньшем рабочего, золотник *2* удерживается пружиной *12* в нижнем положении и проходное отверстие максимально, а при давлении, большем рабочего, шарик приподн-

нимается и масло из полости *9* поступает на слив. Снижение давления в полости *9* нарушает равновесие золотника, он под давлением масла в полостях *15* и *10* поднимается, перекрывая проход из полости *3* в

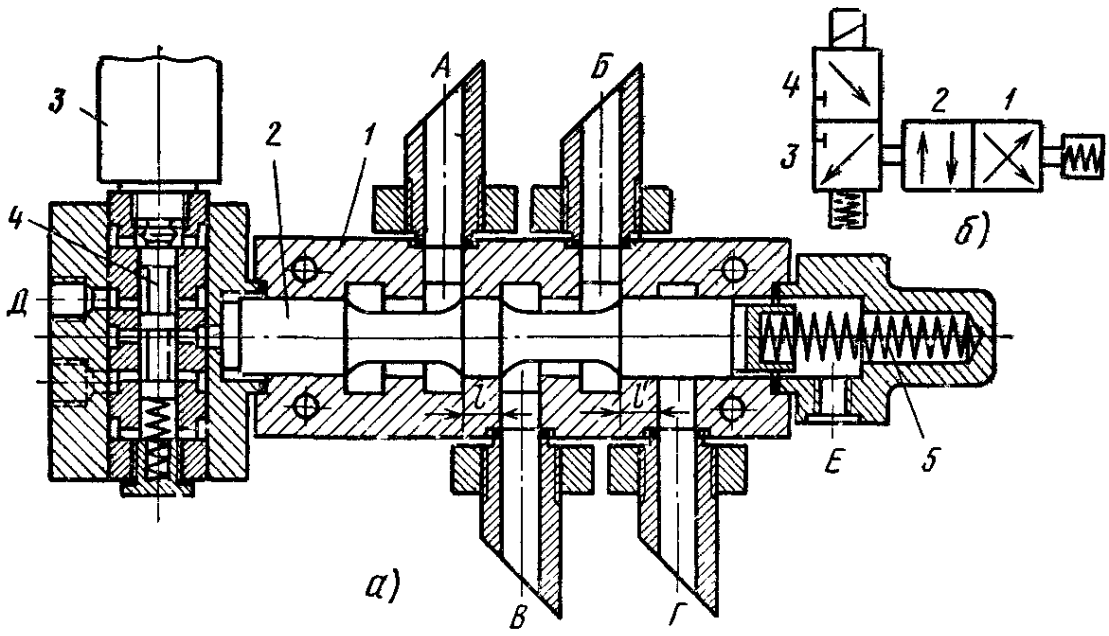


Рис. 48 Двухпозиционный распределитель с гидравлическим управлением (*а*) и его схема (*б*).

1 — корпус, *2* — золотник, *3* — электромагнит, *4* — пилот, *5* — пружина золотника

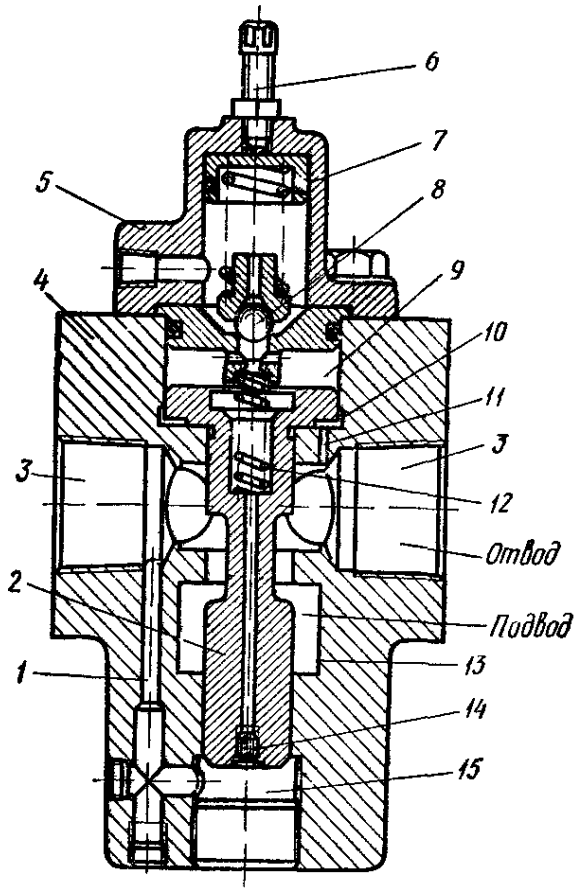


Рис. 49. Редукционный клапан Г57-1:

1, 11 — каналы, *2* — золотник, *3, 9, 10, 13, 15* — полости, *4, 5* — корпус, *6* — винт, *7, 12* — пружины, *8* — шариковый клапан, *14* — демпферное отверстие

полость *13*, в которой давление понижается до рабочего, и шариковый клапан *8* закрывает слив. При этом давление в полостях *9*, *10* и *15* выравнивается и золотник опускается, открывая проход для масла из полости *9* в полость *13*, давление в которой повышается. Рабочее давление настраивается регулировочным винтом *6*.

Гидравлическое реле РГС-1 контролирует проток воды (рис. 50). Корпус *1* гидрореле имеет сквозной канал *D*. В ниппеле *10* имеются два отверстия *E*, а в корпусе — отверстие *C*, через которое внутренняя полость ниппеля *10* соединяется с поддиафрагменной полостью *B*. Наддиафрагменная камера *A* сообщается с атмосферой. При проходе воды через ниппель *10* у выходной кромки из-за сужения создается пониженное давление (меньше атмосферного), которое устанавливается

и в полости *В*. При этом диафрагма *2* с упором *3*, преодолевая сопротивление пружины *5*, опускается вниз. Упор освобождает толкатель микропереключателя *9*, контакты которого размыкаются. При отсутствии воды или ее малом расходе диафрагма поднимается вверх и выключает контакты микропереключателя. Реле устанавлива-

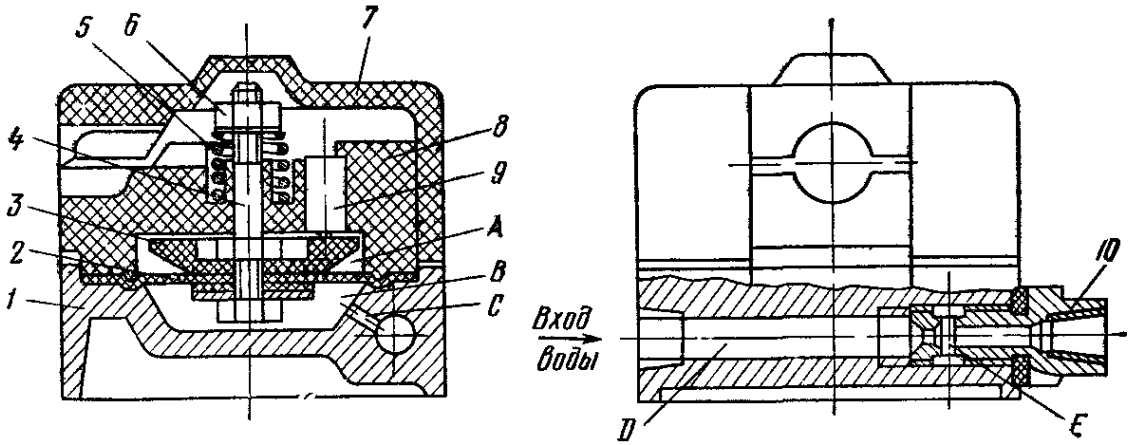


Рис 50 Реле гидравлическое РГС-1:
1 — корпус; *2* — диафрагма, *3* — упор, *4* — шпилька, *5* — пружина, *6* — регулировочная гайка, *7* — крышка *8* — основание, *9* — микропереключатель, *10* — эжектирующий ниппель

ется после ниппеля на сливе воды из системы со сливным шлангом или без него. При этом в эжектируемое отверстие ниппеля ввертывают ниппель или угольник. Реле устанавливают в любом положении, но не ниже уровня слива.

Контрольные вопросы

1 Какие преобразователи тока используют для контактной сварки?
2 Что такое номинальный и кратковременный ток, номинальная мощность и коэффициент повторного включения?
3 Как регулируется напряжение при контактной сварке?
4 Чем отличаются асинхронные контакторы от синхронных прерывателей?
5 Что такое внешняя технологическая характеристика и как по ней оценивают технологические возможности машины?
6 В чем преимущество бесконтактных систем управления и как устроен базовый элемент «Логика Т» «ИЛИ—НЕ»?

ГЛАВА IV

ТЕХНОЛОГИЯ СТЫКОВОЙ СВАРКИ

Стыковой сваркой соединяют проволоку, стержни, трубы, полосы, рельсы, цепи и другие детали (рис. 51).

§ 14. Разновидности стыковой сварки

Различают стыковую сварку сопротивлением, непрерывным и прерывистым (импульсным) оплавлением, а также сварку оплавлением с подогревом.

и в полости *В*. При этом диафрагма *2* с упором *3*, преодолевая сопротивление пружины *5*, опускается вниз. Упор освобождает толкатель микропереключателя *9*, контакты которого размыкаются. При отсутствии воды или ее малом расходе диафрагма поднимается вверх и выключает контакты микропереключателя. Реле устанавлива-

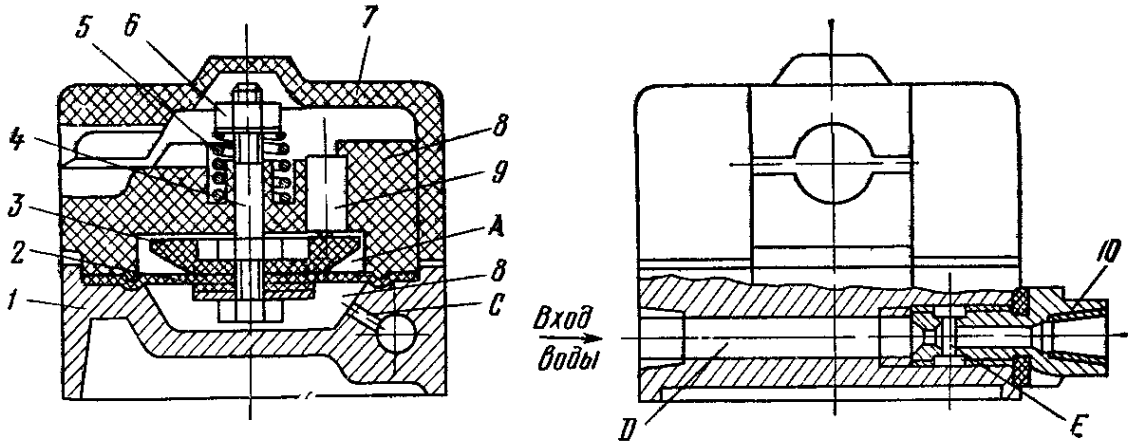


Рис 50 Реле гидравлическое РГС-1:
1 — корпус; *2* — диафрагма, *3* — упор, *4* — шпилька, *5* — пружина, *6* — регулировочная гайка, *7* — крышка *8* — основание, *9* — микропереключатель, *10* — эжектирующий ниппель

ется после ниппеля на сливе воды из системы со сливным шлангом или без него. При этом в эжектируемое отверстие ниппеля ввертывают ниппель или угольник. Реле устанавливают в любом положении, но не ниже уровня слива.

Контрольные вопросы

1 Какие преобразователи тока используют для контактной сварки?
2 Что такое номинальный и кратковременный ток, номинальная мощность и коэффициент повторного включения?
3 Как регулируется напряжение при контактной сварке?
4 Чем отличаются асинхронные контакторы от синхронных прерывателей?
5 Что такое внешняя технологическая характеристика и как по ней оценивают технологические возможности машины?
6 В чем преимущество бесконтактных систем управления и как устроен базовый элемент «Логика Т» «ИЛИ—НЕ»?

ГЛАВА IV

ТЕХНОЛОГИЯ СТЫКОВОЙ СВАРКИ

Стыковой сваркой соединяют проволоку, стержни, трубы, полосы, рельсы, цепи и другие детали (рис. 51).

§ 14. Разновидности стыковой сварки

Различают стыковую сварку сопротивлением, непрерывным и прерывистым (импульсным) оплавлением, а также сварку оплавлением с подогревом.

При сварке сопротивлением ток включается после закрепления деталей в электродах и их сжатия. Ток и давление при нагреве могут изменяться по определенной программе или быть постоянными.

Локальность нагрева и деформации в стыке достигаются малым начальным (1—3 кгс/мм^2) и большим конечным давлением.

При сварке оплавлением закрепленные в зажимах детали сближаются под напряжением с постоянной или возрастающей $v_{опл}$. Возникающие электрические контакты-перемычки разрушаются при плавлении взрывообразно с выбросом паров и частиц металла и образованием на торцах небольших кратеров с расплавом. Избыточное давление паров металла и обновление торцов снижают интенсивность окисления расплава. После определенного укорочения (оплав-

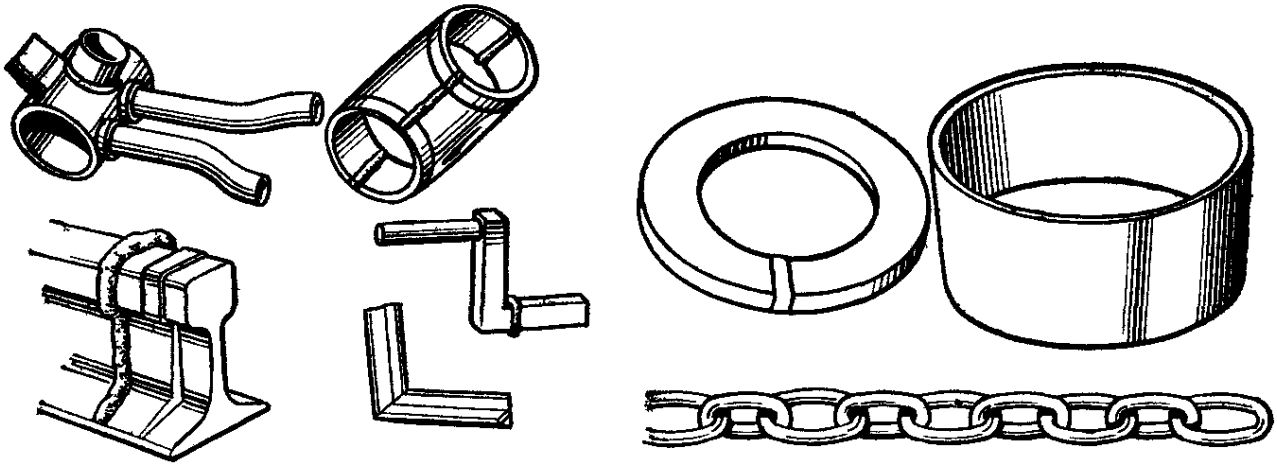


Рис 51. Детали после стыковой сварки оплавлением

ления) деталей и образования на их торцах достаточно равномерного слоя расплава детали сжимаются с большой скоростью и расплав с окислами и перегретый металл околостыковой зоны деформируются, образуя грат.

Возможно оплавление с периодическим возбуждением дуги искровым разрядом или оплавление при повышенных в 3—4 раза напряжениях, форсирующих образование дуг при разрыве контактов. Кратковременно горящая дуга повышает температуру расплава на торцах с выравниванием их поверхности.

Коэффициент использования тепла при оплавлении повышают программированием U_{20} или U_{20} и $v_{опл}$ одновременно.

При сварке импульсным оплавлением закрепленные в электродах детали сближаются под напряжением с медленно нарастающей скоростью при колебательном движении с амплитудой 0,3—1,0 мм и частотой 3—35 Гц. Периодическое повышение $v_{опл}$ увеличивает длительность существования контактов в твердом состоянии, вызывая их частичное поверхностное плавление, а снижение $v_{опл}$ ускоряет выброс расплава без образования глубоких кратеров и больших потерь тепла с выброшенным металлом.

Длительность импульсов тока в начале достигает 0,5, а пауз — одного периода. По мере прогрева паузы уменьшаются, средняя величина тока растет. Перед осадкой ток протекает без пауз. По сравнению

с оплавлением при низких напряжениях средний ток увеличивается в несколько раз, в 10—15 раз уменьшается необходимая для возбуждения оплавления мощность W, в 4—5 раз уменьшается припуск на оплавление $\Delta_{опл}$. Импульсное оплавление локализует нагрев и расширяет высокотемпературную зону, предупреждая этим быструю кристаллизацию расплава.

При сварке оплавлением с подогревом в машине детали могут периодически сближаться со скоростью 5—6 мм/с и кратковременно (0,5—4 с) сжиматься под током при небольшом давлении (0,3—0,8 кгс/мм²) или нагреваться импульсами тока при программировании давления. После подогрева до определенной температуры детали оплавляются и осаживаются. Подогрев, расширяя зону нагрева и замедляя кристаллизацию расплава, уменьшает требуемую W, конечную $v_{опл}$ и $\Delta_{опл}$. Оплавление после подогрева осуществляется с постоянной или нарастающей по определенной программе скоростью, заметно меньшей в начале, чем скорость сближения при подогреве или равной ей.

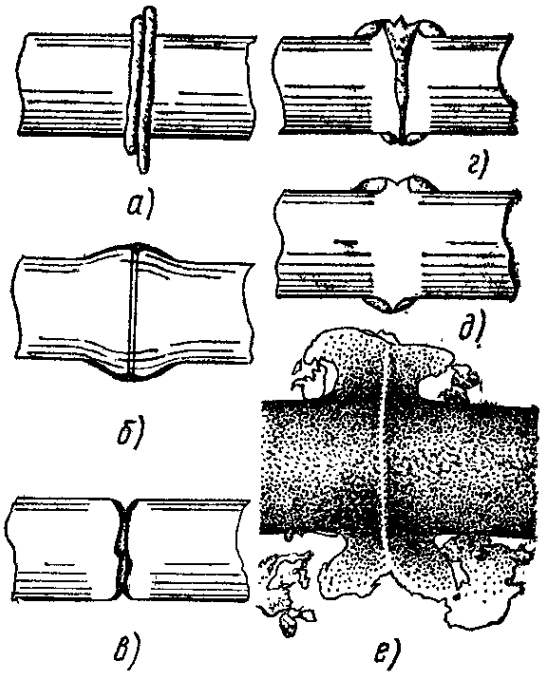


Рис. 52. Схемы стыковой сварки сопротивлением (*а, б*) и оплавлением (*в* — начальная, *г* — промежуточная, *д* — конечная стадии), а также макроструктура стыка, сваренного оплавлением (*е*)

Сварку сопротивлением производят с большими (100 — 200 А/мм²) или умеренными (25 — 100 А/мм²) плотностями тока j_c. Большие токи при небольшом давлении обеспечивают быстрый нагрев металла до $T_{пл}$ и направленную деформацию в стыке (рис. 52, *а*). Так сваривают детали небольшого сечения без защитной среды при j_c = 150 — 200 А/мм². При меньших j_c соединение имеет более плавное очертание (рис. 52, *б*). Стали при j_c до 100 А/мм² и медь до 120 А/мм² сваривают после тщательной подгонки торцов и при специальных схемах деформации или в защитной среде. Детали большого сечения сваривают в защитных средах, вакууме, после специальной подготовки в схемах всестороннего напряженного сжатия или при закладывании пластичных прокладок.

§ 15. Формирование соединения и его прочность

Окисление при стыковой сварке предупреждается или значительно уменьшается защитными средами, уменьшением длительности и расширением зоны нагрева, а также перегревом расплава при оплавлении на его конечной стадии (см. § 2).

В стыке деталей из низкоуглеродистой стали, сваренном сопротивлением, зерно крупнее, чем в самом металле. Сварка в углеводород-

ной среде сопровождается науглероживанием стыка, а на воздухе — обезуглероживанием и скоплением феррита с мелкими окислами. После сварки оплавлением стык углеродистых сталей имеет плохотравящийся металл (рис. 52, *е*), который образуется в результате особых условий деформации и охлаждения расплава и металла, находящегося в двухфазном состоянии.

Быстрая осадка, уменьшая окисление и предупреждая кристаллизацию расплава, способствует хорошему взаимодействию частиц соединяемых поверхностей. Расплав на торцах (рис. 52, *в*), спрессовываясь, заполняет неровности и, утончаясь, частично вытесняется на поверхность (рис. 52, *г*, *д*). С увеличением осадки измельчается зерно стыка и перегретой зоны, растет площадь сварки и дробятся окислы, если они возникли и наклепывается металл. Светлая полоска или скопления карбидов в стыке не ухудшают его прочности, хотя пластичность соединений из-за особых условий его деформации при осадке понижается. Строчечность и другие дефекты стали, мало меняя прочность, заметно понижают пластичность.

Равномерный слой расплава и защитные среды позволяют существенно уменьшить величину осадки. Газовая среда около торцов при интенсивном оплавлении углеродистой стали содержит только 0,3—1% кислорода и 0,5—2% CO и CO_2. Оплавление в камерах или в электропроводных флюсах уменьшает окисление, однако это усложняет процесс.

При сварке некоторых материалов (например, низкоуглеродистых хромистых сталей с 15—25% Cr) возможны структурные изменения с порчей границ зерен, не устраняемые термообработкой, или насыщение нагретого металла газами. Обычно неблагоприятен как длительный нагрев, снижающий свойства из-за перегрева, так и кратковременный, приводящий к появлению закалочных структур.

Часто у деталей большого компактного сечения перегрев предупреждают охлаждением водой после сварки, а повышение твердости тонких полос замедленным охлаждением.

§ 16. Выбор разновидности сварки

Наиболее широко применяют сварку оплавлением. Сваркой сопротивлением из-за возможного окисления при нагреве соединяют детали из низкоуглеродистой стали сечением до 200 мм² и меди до 100 мм² (стержни, бруски и др.).

Детали бóльшего сечения сваривают после специальной подготовки или при схемах всестороннего сжатия с переменным усилием или с программированием тока.

Непрерывным оплавлением сваривают детали компактного сечения до 1000 мм², а также листы и трубы до 10 000 мм². При программировании напряжения и использовании регуляторов возможна сварка деталей компактного сечения до 20 000 мм². Подогрев, снижая требуемую мощность, позволяет сваривать изделия из закаливающихся сталей площадью до 25 000 мм². Импульсным оплавлением сваривают детали компактного сечения площадью до 400 000 мм² и более.

§ 17. Подготовка к сварке

Подготовка предусматривает конструктивное оформление деталей, правку, обработку концов и очистку контактных участков. Оплавлением хорошо свариваются специально подготовленные детали (рис. 53, *а*). Кольцевой выступ при сварке сопротивлением (рис. 53, *б*) локализует нагрев, изолирует поверхность стыка от доступа кислорода. У труб (рис. 53, *в*) и прутков конус (рис. 53, *е*), сфера (рис. 53, *г*) или конус с притуплением (рис. 53, *ж*) облегчают сварку сопротивлением

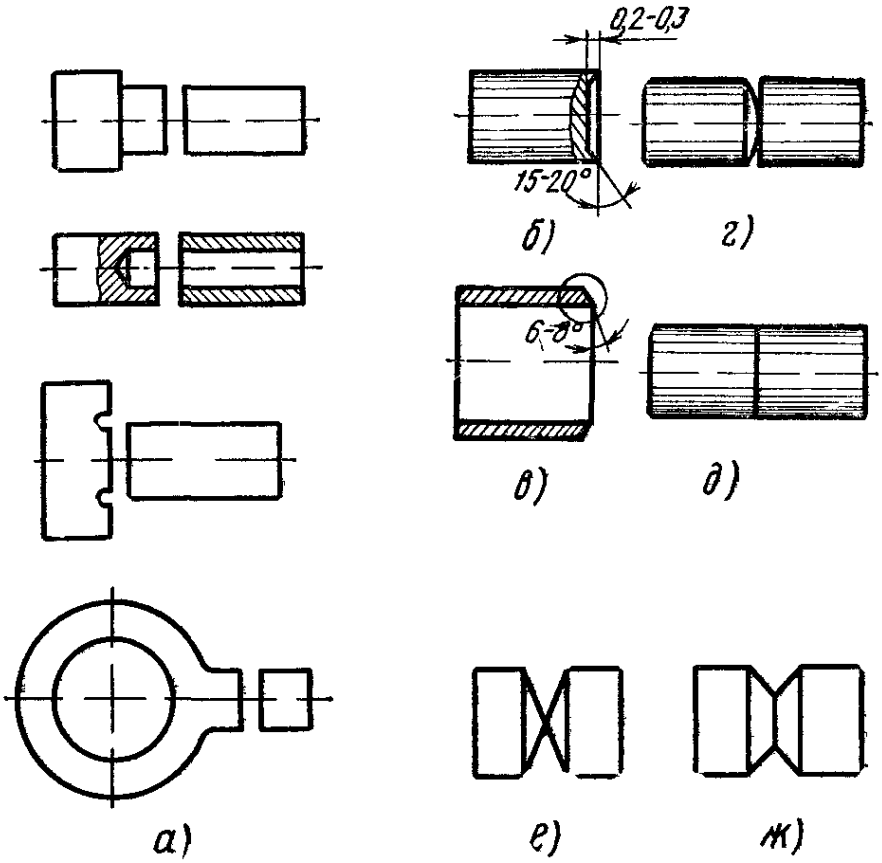


Рис. 53. Подготовка деталей к сварке оплавлением (*а*) и сопротивлением (*б* — *ж*)

и удаление окислов. Равномерный подогрев деталей с перпендикулярными торцами (рис. 53, *д*) без тщательной их подгонки и импульсного включения тока затруднен.

Трубы и другие сложные детали иногда калибруют. Для сварки оплавлением пригодны детали после резки на механической или термической резке с очисткой от заусенцев и шлака. Различие в диаметрах не должно превышать 15%, а по толщине 10%. Максимальный зазор между торцами свариваемых соприкасающихся деталей не должен превышать 15% от $\Delta_{опл}$. Если зазор больше, то на такую же величину увеличивают $\Delta_{опл}$. Уменьшение сечения деталей заточкой облегчает возбуждение оплавления. Подогрев иногда стабилизируют предварительным оплавлением, устраняющим перекосы. При плохой зачистке сопротивление $R_{эл}$ и потери W растут, а I_c уменьшается, что приводит к пригарам и износу электродов, а также нарушается центрирование деталей.

Зачистка в ряде производств автоматизирована. Окалину удаляют металлической дробью, травлением, нагревом газовым пламенем, резанием. Мелкие детали очищают в галтовочных барабанах.

Детали с горячекатаной окалиной иногда сваривают при больших усилиях зажатия $P_{заж}$, с частичным ее разрушением. Ржавчину удаляют, так как она разлагается в зоне нагрева и повышает окислительную способность среды.

§ 18. Сварка сопротивлением

Режим сварки сопротивлением определяется установочной длиной $l_1 + l_2$, длительностью нагрева t_c, программами усилия сжатия P_c и плотностью тока j_c. При чрезмерной j_c и малом P_c отмечается выплеск, а при малой — непровар. Проволоку из углеродистой стали правят и сваривают при $j_c = (12 \div 15) + \frac{90 \div 120}{t_c}$ с термообработкой соединений при $j_т = 0{,}6 - 0{,}8 j_c$. С увеличением d проволоки от 1 мм до 5 мм j снижается от 400—450 А/мм² до 80—100 А/мм², а t_c увеличивается от 0,5 до 2 с. Обычно сваривают при малом начальном и большом конечном P_c. Начальное P_c подбирают, исходя из плавления металла торцов, а конечное с учетом улучшения структуры металла соединения. Возможна также сварка с постоянным давлением, близким у стали к 2—4 кгс/мм², меди к 1,5—2 кгс/мм², алюминия к 1—1,5 кгс/мм². Усилие зажатия $P_{заж}$ в 2—3 раза больше P_c.

Потери металла на подогрев при большой j для низкоуглеродистой стали составляют $(0{,}5 - 1{,}0)d$, алюминия и латуни $(1—2)d$ и меди $(1{,}5—2{,}5)d$. Припуск на осадку в 1,5—1,7 раза меньше этих потерь. Длительность осадки под током $l_{ос.т}$ при повышенном давлении близка к $0{,}05d$. У высокопрочных проволок конечное давление достигает 10—15 кгс/мм². Мощность W при ПВ-50% ориентировочно выбирают равной d проволоки или исходя из 0,3—0,5 кВ·А/мм².

Равномерность нагрева достигается специальной подготовкой торцов (см. рис. 53 *е—ж*). Скос на 10—30° у жаропрочных проволок обеспечивает при начальном давлении 1—3 кгс/мм² равномерный нагрев, а после деформации на 20—25% при давлении до 30—40 кгс/мм² доброкачественные соединения. Также целесообразны скосы на трубах. Проволоку часто сваривают при плоских торцах, полученных резкой на дисковых ножах с отверстиями, перпендикулярными плоскости реза и близкими к d проволоки. Плоскости ножей должны плотно прилегать друг к другу, а подвижный нож должен быть в 2—3 раза толще неподвижного. Повышенная j локализует нагрев торцов. Полезна предварительная опрессовка торцов, включение тока, снижение давления при нагреве до 0,5—0,8 $T_{пл}$ и повторное повышение давления.

Разнородные металлы иногда сваривают через биметаллические или спеченные пластины, а тугоплавкие металлы через пасту из гидридов металла или порошок металла.

Более теплопроводный из разнородных материалов сваривается при бо́льшей установочной длине, которая оценивается по равномерности нагрева. У цветных металлов $l_1 + l_2$ увеличивают, раздвигая

токоведущие электроды, а соосность обеспечивают промежуточными изолированными вставками, которые уменьшают зону деформируемого металла около стыка.

При такой схеме медные витки сваривают со срезанием грата ножами при начальном давлении 0,3—0,8 кгс/мм² и конечном — 35—45 кгс/мм². Плотность тока составляет 110—180 А/мм², а укорочение (2,0—3)δ, из которого на подогрев расходуется (0,5—0,6)δ, а на нагрев под током — (1,4—2,4)δ. Витки сечением 1,8 × 1,2 и 4,5 × 12,5 мм² при подогреве укорачиваются на 2 и 4,2 мм, а при осадке — на 3,2 мм и 6,4 мм соответственно. По такой же схеме соединяют провод из чистой меди диаметром 7—16 мм при j = 380 А/мм² и средней температуре нагрева 0,7—0,75 $T_{пл}$. Начальное давление составляет 0,1—0,3 кгс/мм², а конечное — 35—40 кгс/мм². Концентрированный нагрев контактной зоны и большие скорости осадки $v_{ос}$ = 150 — 250 мм/с исключают разупрочнение металла и обеспечивают высокие пластические и электрические свойства соединений.

Детали сечением более 300 мм² сваривают в защитных газах. Трубы диаметром 32 × 4 мм из стали 20 и ряда хромистых сталей сваривают в смесях азота с водородом, очищенных от кислорода и влаги при скосе кромок 6°, усилии подогрева 650 кгс и осадке 4000 кгс длительности 4 с и токе 11—12 кА. Средняя удельная мощность близка к 0,1 кВт/мм². Трубы на участках нагрева тщательно зачищают от окислов, ржавчины и грязи; газ подают в камеры через фильтры, исключающие интенсивное омывание нагретого металла.

Иногда стыки изолируют материалами, плавящимися при более низкой температуре. Без расплавления стыки соединяют тогда, когда сварка в жидком состоянии невозможна.

§ 19. Сварка оплавлением

Режим стыковой сварки оплавлением определяется установочной длиной $l_1 + l_2$, припусками на оплавление $\Delta_{опл}$ и осадку $\Delta_{ос}$, их скоростями $v_{опл}$ и $v_{ос}$, токами $I_{опл}$ и $I_{ос}$ (или напряжением U_{20}), а также длительностью осадки под током $t_{ос.т}$ и усилием зажатия $P_{заж}$. Подогрев задают температурой $T_п$ или длительностью $t_п$ и количеством импульсов тока и пауз.

Используют две разновидности процесса: при ограниченной W и большом $t_{опл}$, а также при ограниченном $t_{опл}$ и большом W. В первом случае сваривают детали компактного сечения, толстостенные трубы и профили, а во втором полосы, трубы малого диаметра, стержни и другие детали массового производства.

Оплавление, обеспечивающее необходимый нагрев в зоне деформации, сопровождается образованием на торцах неровностей, покрытых расплавом. При недостаточной интенсивности оплавления и малых $t_{опл}$ возможна кристаллизация и окисление металла торцов.

Величина неровностей на торцах и толщина расплава перед осадкой непосредственно связаны с теплофизическими свойствами оплавляемого материала, его нагревом, размерами оплавляемых деталей, $v_{опл}$, W и стабильностью импульсов. Чем выше температура металла

2 **Ориентировочные плотности тока оплавления $j_{опл}$ и осадки $j_{ос}$, А/мм²**

Деталь	Материал	$j_{опл}$ среднее	$j_{опл}$ максимальное	$j_{ос}$
	Высокопроизводительные режимы			
Полоса и труба толщиной 2—6 мм, пруток ∅ 6—30 мм	Низкоуглеродистая сталь	15—10	20—15	60— 40
	Хромистая сталь	20—15	25—20	55— 35
	Алюминиевые сплавы	35—20	45—25	170—130
	Медные сплавы	40—25	50—30	300—200
	Работа при номинальной мощности			
Полоса, труба, пруток	Низкоуглеродистая сталь	2— 4	6— 8	25— 20
	Хромистая сталь	6— 8	12—15	50— 40
	Алюминиевые сплавы	5—12	10—20	80— 60
	Медные сплавы	20—15	15—25	200—100

и больше реализуемая мощность, тем при данной $v_{опл}$ быстрее разрушаются перемычки и тем ровнее торцы. Интенсивное оплавление, особенно важное при кратковременном оплавлении перед осадкой, требует большой плотности тока (табл. 2). При длительном оплавлении и широкой зоне нагрева кристаллизация расплава замедляется, требования к интенсивности оплавления снижаются и допускаются более длительные перерывы в оплавлении, а плотность тока снижается.

При минимально возможных для данного $v_{опл}$ напряжениях U_{20} прогрев металла улучшается. Однако при резком повышении U_{20} (в 3—4 раза) локализуется нагрев около торцов как за счет образования малых перемычек, так и за счет подогрева кратковременно горящими дугами, что резко (в 2—3 раза) уменьшает припуск на осадку.

Кратковременное непрерывное оплавление тонкостенных деталей (листов, труб, профилей и др.) осуществляется при мощности 0,15—0,25 кВ·А/мм² (ПВ = 20%).

Обычно ток отключают в стадии осадки. Увеличение $t_{ос.т}$ у деталей большого сечения снимает упрочнение, а у деталей малого сечения приводит к перегреву или даже пережогу.

Для высокопроизводительных кратковременных режимов конечная $v_{опл}$ низкоуглеродистых сталей близка к 4—6 мм/с. Иногда ее для более равномерного прогрева расплава за 0,2—0,6 с до осадки увеличивают от 4—6 мм/с до 7—10 мм/с. При длительном оплавлении деталей большого сечения конечная $v_{опл}$ иногда снижается до 1—3 мм/с. Низкоуглеродистую и низколегированную стали обычно оплавляют по графику $S = k_0 t^2 (k_0 = 0{,}5 - 1{,}5)$, а стали с высоким сопротивлением (например, хромоникелевых) — по графику $S = k_0' t^{5/2}$ ($k_0' = 2{,}5 - 3$) с начальной постоянной скоростью, равной 0,3—0,5 мм/с, устраняющей перекосы.

В наибольшей мере оплавлению удовлетворяет экспоненциальная кривая типа

$$S = k_0 (e^{nt} - 1),$$

где k_0 — выбирается в диапазоне 0,30—0,50; n — 0,25—0,40.

Приближенно $v_{опл}$ с повышением температуры нагрева деталей повышается пропорционально используемой мощности I^2R.

$$v_{опл} = \frac{k_{опл} I^2 R}{F(T_0 - T_н)}, \text{ мм/с},$$

где $k_{опл}$ — коэффициент, зависящий от теплоемкости, плотности и тепловыделения; T_0, $T_н$ — средняя температура деталей в конце и (T = 2000° С) в момент оплавления; F — площадь оплавляемых деталей, мм^2.

Требуемые графики сближения должны быть плавными. При неправильно выбранной $v_{опл}$ ток часто прерывается. Так, если начальная $v_{опл}$ мала, то ток прерывается даже после ее небольшого увеличения (рис. 54, *а*).

Повышение скорости на начальном участке (показано пунктиром) устраняет перерывы. Перерывы при чрезмерной скорости сопровождаются выгоранием контакта и прекращением оплавления после увеличения тока (рис. 54, *б*). Уменьшение $v_{опл}$ устраняет эти перерывы. Перерывы, снижающие эффективность нагрева, особенно вредны в конце оплавления.

При непрерывном протекании тока возможно его понижение или рост. Понижение тока (рис. 54, *в*) указывает на малое нарастание скорости сближения и ухудшение защиты расплава. Это устраняется увеличением скорости. При высокопроизводительных режимах ток возрастает к концу оплавления очень быстро (рис. 54, *д*). Его плотность к концу достигает 15—20 А/мм^2. Среднее за период напряжение при устойчивом оплавлении меняется очень мало. Оно близко к напряжению холостого хода.

Стабильность оплавления окончательно проверяется по осциллограммам напряжения и тока (рис. 54, *е*). На осциллограммах нормального оплавления в каждом полупериоде заметно от 4 до 10 пиков тока и напряжения, свидетельствующих о стабильности оплавления. Для контроля стабильности разработаны приборы типа АСК. Наиболее полные данные о процессе сварки даст одновременная запись перемещения, тока и развиваемого при осадке давления.

Оплавляют обычно при минимально возможном U_{20}, которое обеспечивает требуемую j и хороший прогрев при малых $\Delta_{опл}$. Программное снижение U_{20} еще более улучшает прогрев, повышает j и удлиняет существование перемычек, способствуя более спокойному их разрушению и получению меньших неровностей на торцах. При этом $v_{опл}$ поддерживается близкой к 0,2—0,25 мм/с и только в конце она повышается до 0,8—1,2 мм/с. Для лучшего возбуждения оплавления на концах деталей делают скосы, а U_{20} принимают бо́льшим, чем в средней части процесса. Напряжение U_{20} определяют, исходя из $z_{к.в}$ и $\cos\varphi_{к.в}$ машины (с учетом $l_1 + l_2$). Для устойчивого возбуждения оплавления необходим 3—5-кратный запас (n) мощности по сравнению с необходимой для оплавления

$$n I_{опл}^2 R_{опл} = \frac{U_{20}^2}{2z_{к.в}(1 + \cos\varphi)}.$$

Ток $I_{опл}$ определяют, исходя из выбранного процесса (см. табл. 2), а $R_{опл}$ с учетом формулы $R_{опл} = k_т \frac{v^2}{Fv_{опл}}$. При оплавлении деталей большого сечения $j \leqslant 5$ А/мм^2.

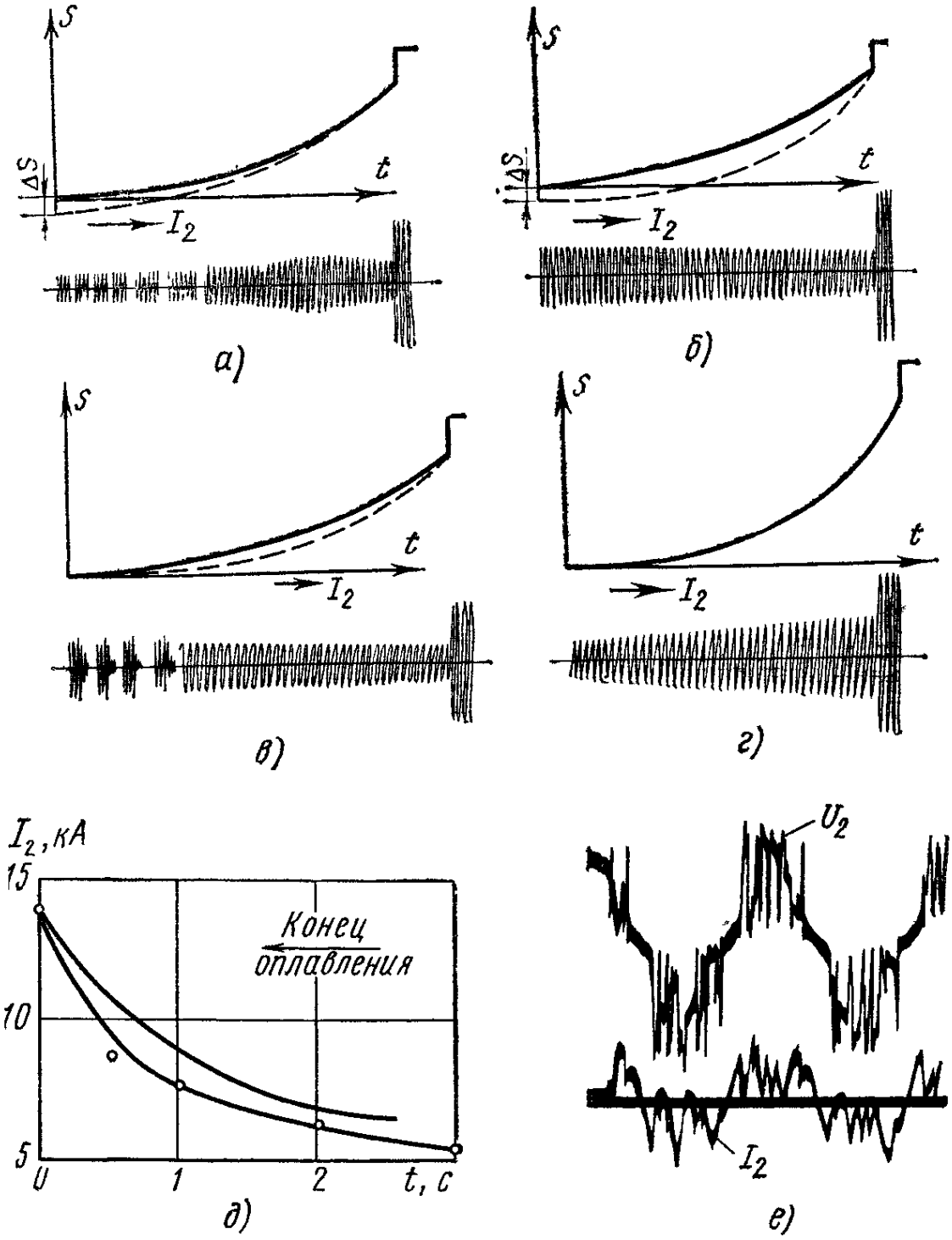


Рис 54. Схемы осциллограмм сварочного тока I_2 (*а — г*) с исходными ——— и скорректированными (— — — — — —) графиками сближения деталей при непрерывном оплавлении, а также изменение тока перед осадкой при оплавлении (*д*) по графикам $S=kt^2$ (нижняя кривая) и $S=kt^3$ (верхняя) и осциллограммы тока I_2 и напряжения U_2 в течение трех полупериодов (*е*)

При программном снижении U_{20} используют регуляторы. Длительность оплавления при начальном U_{20} составляет 25—30% от общей $t_{опл}$. В конечной стадии $v_{опл}$ повышается. При повышенной $v_{опл}$

$t_{опл}$ = 1,5—3 с, а длительность ее повышения 6—9 с. С увеличением толщины δ и сечения F деталей $t_{опл}$ достигает 2—3 мин. Плавные программы снижения U_{20} от 4 до 1,75 В через 10 с после начала оплавления за 80 с для полос F = 300 × 10 мм² и от 6,25 до 2,1 В через 40 с за 130 с для рельсов F = 64 см² характеризуются почти трехкратным уменьшением U_{20}. Программное регулирование позволяет снизить $v_{опл}$ и U_{20} в 3—4 раза при одновременном снижении потребляемой мощности. Режимы сварки некоторых деталей даны в табл. 3.

3. Режимы сварки непрерывным оплавлением деталей большого сечения

Изделие	Материал	δ, мм	F, мм	U_{max}, В	U_{min}, В	$U_к$, В	$\Delta_{опл}$, мм	$v_к$, мм/с	$\Delta_{ос}$, мм	$t_с$, с	Потребляемая W, кВ·А
Полосы шириной 200—400 мм профиль	Ст3	12—14	—	7,0	4,0	4,8	25	1,5	7	80	100
		22—28	—	7,0	4,0	5,5	30	1,2	9	140	150
		45—50	—	7,0	5,0	5,8	34	0,9	10	170	275
Прокат	Низкоуглеродистая сталь	—	60× 60	7,0	5,0	6,0	30	1,5	9	120	35—40
		—	80× 80	7,0	5,0	6,0	32	1,5	10	140	60—85
		—	100×100	7,0	5,5	7,0	35	0,8	13	170	75—80
		—	200×200	7,5	5,5	7,0	45	0,8	15	300	280
Рельсы Р-58, Р-43, Р-50 Р-65 Р-75	Среднеуглеродистая сталь	—	—	7,0	3,8	4,5	26	0,9	9	100	55
		—	—	7,0	4,0	5,0	30	0,9	10	120	65
		—	—	7,0	4,5	5,8	32	0,9	12	150	70
		—	—	7,0	4,8	5,8	36	0,9	12	170	80
Заготовки	АМг6	—	1800	5,0	2,0	—	36	24	24	42	40
		—	5600	6,3	3,5	—	40	10	32	75	160
		—	15300	13,6	8,0	—	75	10	45	140	320
		—	22000	15,4	10,0	—	75	10	45	170	400

Примечание. При сварке заготовок из сплава АМг6 начальная скорость 0,5—0,8 мм/с, скорость оплавления 3,0—3,5 мм/с

Мощность и напряжение ориентировочно выбирают по рис. 55, *а* и *б* для сварки с регулируемой скоростью оплавления. При непрерывном оплавлении мощность ориентировочно равна 0,2—0,3 кВ·А/мм², а при сварке с подогревом 0,1—0,2 кВ·А/мм². Плотности сварочного тока при непрерывном оплавлении и осадке даны в табл. 2.

Точный расчет параметров режима сварки затруднен. Поэтому параметры выбирают по опытным данным (рис. 55, *в*) с последующей проверкой качества соединения и оценкой записей основных параметров процесса.

Напряжения выбирают с учетом типа машины, формы детали (лист, круг, квадрат), площади ее поперечного сечения, физических свойств материала, требуемой производительности и качества сварки. При кратковременном оплавлении увеличивают U_{20}, повышают

$v_{опл}$ и несколько увеличивают припуск на оплавление $\Delta_{опл}$. Напряжение повышается также при увеличении размеров сварочного контура и большом количестве переходных контактов в нем. У кольцевых трансформаторов минимальное U_{20} из-за низкого сопротивления $z_{к.з}$ меньше, чем у броневых. При увеличении $t_{опл}$ и уменьшении $v_{опл}$ требуемое U_{20} понижается.

Установочная длина $l_1 + l_2 = \Delta_{опл} + \Delta_{ос} + \Delta_к$. Установочную длину $l_1 + l_2$ выбирают с учетом получения широкой зоны нагрева без уменьшения жесткости нагретых концов деталей. Чем больше $l_1 + l_2$ и выше j, тем больше требуемое U_{20}, выше сопротивление контура с деталями и больше W. Если $l_1 + l_2$ мала, то детали нагреваются неравномерно, растут потери тепла в токоподводящие электроды, сокращается зона нагрева и увеличивается давление осадки. По мере износа электродов $l_1 + l_2$ увеличивается, и из-за недостаточной жесткости нагретых концов деталей возможно их смещение при осадке. У прутков и труб $l_1 + l_2 = (0{,}75 - 1)d$, а у полос $(3 - 4)\delta$.

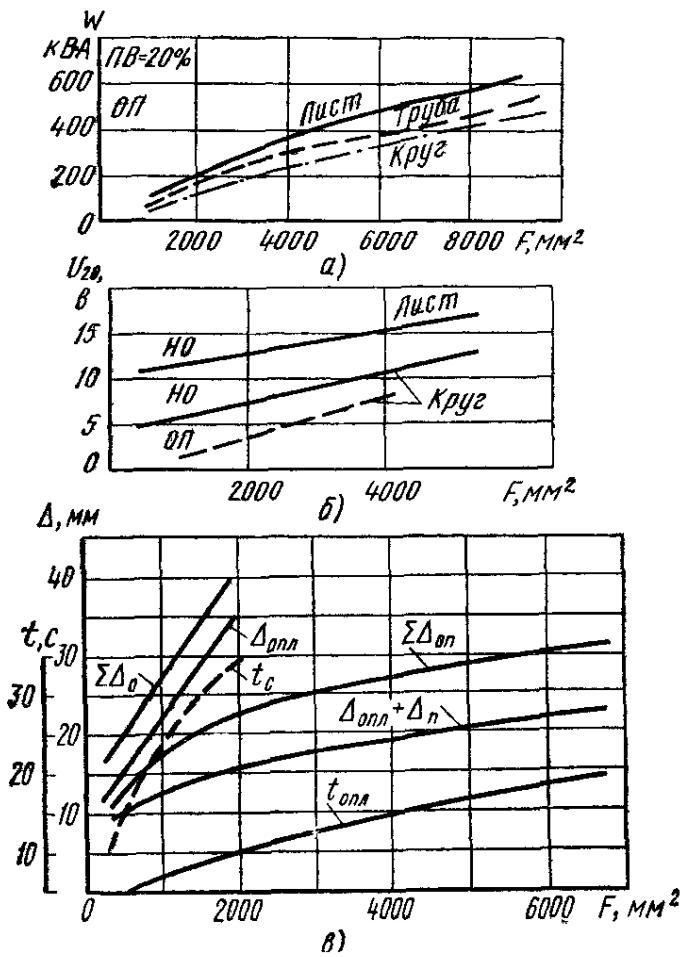


Рис. 55. Зависимость мощности (*а*) и напряжения (*б*) при сварке непрерывным оплавлением (НО) и оплавлением с подогревом (ОП), а также общего припуска при сварке с подогревом $\Sigma\Delta_{опл}$ и непрерывным оплавлением $\Sigma\Delta_0$, $\Delta_{опл}+\Delta_п$, $\Delta_{опл}$, $t_с$, $t_{опл}$ от площади деталей F (*в*)

Металлы, обладающие бóльшей теплопроводностью, сваривают при бóльшей $l_1 + l_2$. Для сохранения жесткости часть установочной длины деталей закрепляется изолированными от тока губками.

Припуски на подогрев и оплавление $\Delta_{под}$ и $\Delta_{опл}$ должны быть достаточны для равномерного разогрева деталей и создания на торцах слоя расплава. Обычно $\Delta_{опл}$ составляет 0,7—0,8 от общего припуска Δ, а $\Delta_{ос} = 0{,}3 - 0{,}2\Delta$. Припуск на осадку под током составляет $(0{,}5 - 1{,}0)\Delta_{ос}$. Иногда ток выключают после окончания осадки. Если металл перегревается, то $t_{ос.т}$ ограничивают. Для деталей малого сечения или тонких деталей из алюминия $t_{ос.т} = 0{,}01 - 0{,}06$ с. Большая $t_{ос.т}$ необходима для металлов с пластичными окисными пленками. При большой длительности $t_{ос.т}$ скорость осадки в конце понижают.

Кратковременное оплавление при повышенных мощностях (напряжения) требует увеличенного $\Delta_{опл}$. С увеличением $\Delta_{опл}$ при достаточ-

ной установочной длине облегчается создание равномерного слоя расплава, но могут увеличиваться неровности и $\Delta_{ос}$. Если $l_1 + l_2$ мало, то с увеличением $\Delta_{опл}$ зона нагрева может сокращаться.

Скорость и длительность оплавления зависят от U_{20}, требуемой j, степени подогрева и марки стали. Скорость постепенно возрастает, достигая иногда 6—10 мм/с. Низкоуглеродистые и некоторые другие стали допускают снижение конечных скоростей при соответствующем увеличении $t_{опл}$. Средняя $v_{опл}$ у деталей из низкоуглеродистой стали составляет 1—2,5 мм/с, а у легированных 2,5—3,5 мм/с и более. При сварке с подогревом эта скорость изменяется в широких пределах (2,5—4,5 мм/с) в зависимости от интенсивности и длительности нагрева. При производительной работе $t_{опл}$ деталей компактного сечения составляет около 1 с на 30 мм^2, а листов и труб 2—4 с на 1 мм толщины.

Скорость осадки $v_{ос}$ выбирают, исходя из условий предупреждения кристаллизации и окисления расплава. При производительной работе начальная скорость осадки для чугуна составляет 20—30 мм/с, низкоуглеродистой стали 30—60 мм/с, сложнолегированных сталей 80—100 мм/с, алюминия и других легкоокисляющихся металлов и сплавов 100—200 мм/с. Она тем больше, чем тоньше свариваемые детали. Эта скорость после осадки на 30—40% может быть уменьшена в 2—3 раза.

При недостаточной жесткости машины большие $v_{ос}$ (100—300 мм/с) могут вызвать значительные колебания зажимов после осадки, приводящие к надрывам или разрушению соединений. Одновременно с увеличением $v_{опл}$ растут требуемые давления осадки.

Давление осадки $p_{ос}$, определяющее качество соединения и зависящее от степени нагрева деталей и скорости осадки $v_{ос}$ ориентировочно выбирается в расчете на исходное сечение деталей F по табл. 4. Оно вначале медленно, затем резко возрастает, причем к концу осадки рост $p_{ос}$ замедляется более резко у толстых полос, что обусловлено снижением скорости деформации $v_д$ в стыке.

Давление $p_{ос}$ существенно зависит от режима сварки. Оно уменьшается с увеличением δ, расширением зоны нагрева, что обусловлено уменьшением фактических $v_д$, уменьшением $v_{ос}$.

Фактические $v_д$ в стыке весьма велики, превышая на несколько порядков скорости испытания металлов, вследствие чего сопротивление деформации выше, чем $\sigma_д$ металла при температурах сварки. Чем меньше скорости осадки и шире зона нагрева, тем меньше при заданном $\Delta_{ос}$ сопротивление деформации металла стыка при осадке.

Уменьшение $\Delta_к$ при сварке полос $\delta = 3$ мм от 4δ до 2δ повышает $p_{ос}$ на 15—10%. С повышением содержания углерода от 0,2 до 0,5% $p_{ос}$ увеличивается на 8—10%.

Для полос из алюминиевых сплавов при срезании грата ($v_{ос} >> 100$ мм/с) $p_{ос}$ ориентировочно выбирают в зависимости от δ и $\sigma_т$

$$p_{ос} = \left(\frac{2{,}5}{\delta} + 1\right)\sigma_т.$$

4. Ориентировочные давления при сварке различных материалов

Материал	$p_{ос}$, кгс/мм²		
	Непрерывным оплавлением		Оплавлением с подогревом
	производительная работа	номинальная работа	
Низколегированная сталь	9—10*	5—8	4—6
Среднеуглеродистая сталь	10—11*	6—9	4—6
Высокоуглеродистая сталь	11—12*	7—10	4—6
Чугун	8—10	6—8	4—6
Ферритная сталь	10—18	8—15	6—8
Низколегированная сталь	10—11	5—10	4—6
Аустенитная сталь при $\frac{Ni}{Gr}>1$	15—18	12—15	10—12
Аустенитная сталь при $\frac{Ni}{Gr}<1$	18—22	15—20	12—14
Медь	25—40*	—	—
Титан	3—6*	—	3—4
Латунь	14—18*	—	—
Бронза	14—18*	—	24

* Уточняется в зависимости от толщины и сечения деталей, $v_{ос}$, зоны нагрева и схемы.

Если расстояние $\Delta_к$ между ножами электродов уменьшается, то $p_{ос}$ при надрезе грата увеличивается по сравнению с давлением при свободной деформации $p'_{ос}$:

$$p_{ос}=\frac{0,1\sigma_{0,2}}{\Delta_к-0,2}+p'_{ос}.$$

Величина осадки $\Delta_{ос}$ выбирается с учетом материала, площади деталей и ширины зоны нагрева. Она растет с повышением интенсивности окисления и кристаллизации металла торцов, а также с увеличением пути, по которому могут быть удалены образовавшиеся загрязнения. Чрезмерная $\Delta_{ос}$ снижает пластичность соединения. Величины $\Delta_{ос}$ и $p_{ос}$ в основном определяются прочностью и пластичностью металла в зоне деформации, а также схемой деформации. Структуру соединения иногда улучшают повторной осадкой. Давление растет с увеличением $v_{ос}$.

Усилие зажатия $P_{заж}$, зависящее от усилия осадки $P_{ос}$, материала деталей и электродов, устанавливают по коэффициенту трения между деталями и губками f_1 и f_2 или коэффициенту зажатия $k_{заж}$:

$$P_{заж}=\frac{P_{ос}}{f_1+f_2};\quad k_{заж}=\frac{P_{заж}}{P_{ос}}.$$

Коэффициент $k_{заж}$ зависит от состояния поверхности и материала электродов, а также от $P_{заж}$. Протекающий через электроды ток плотностью 1—3 А/мм² снижает на 10—25% $k_{заж}$ по сравнению с $k_{заж}$ при его отсутствии. При наличии масла на поверхностях, износе электродов и изменении $v_{ос}$ коэффициент почти не меняется.

У горячекатаных полос из низкоуглеродистой стали $\delta = 3—4$ мм на электродах из Бр. НБТ коэффициент близок к 2,3 а у более толстых полос к 2,6—2,7. Травление полос повышает $k_{заж}$ на 10—15%. У полос из нержавеющих сталей при отсутствии тока он близок к 2—2,1, а с током у полос из стали 1Х18Н10Т он снижается до 1,4, стали ОХ18Т1 — до 1,65 и стали Х14АГ14 — до 1,85.

При сварке полос из алюминия и его сплавов в свободной схеме деформации $k_{заж} = 2,7$, при надрезании грата ($\Delta_н = 2$) — 1,7. Насечка на стальных электродах снижает $k_{заж}$ до 0,8—1.

U_{20} и $P_с$ после подогрева обычно ниже, чем при непрерывном оплавлении, а $v_{опл}$ постоянно или медленно нарастает. Скорость сближения деталей при подогреве достигает 10 мм/с. Подогревают до определен-

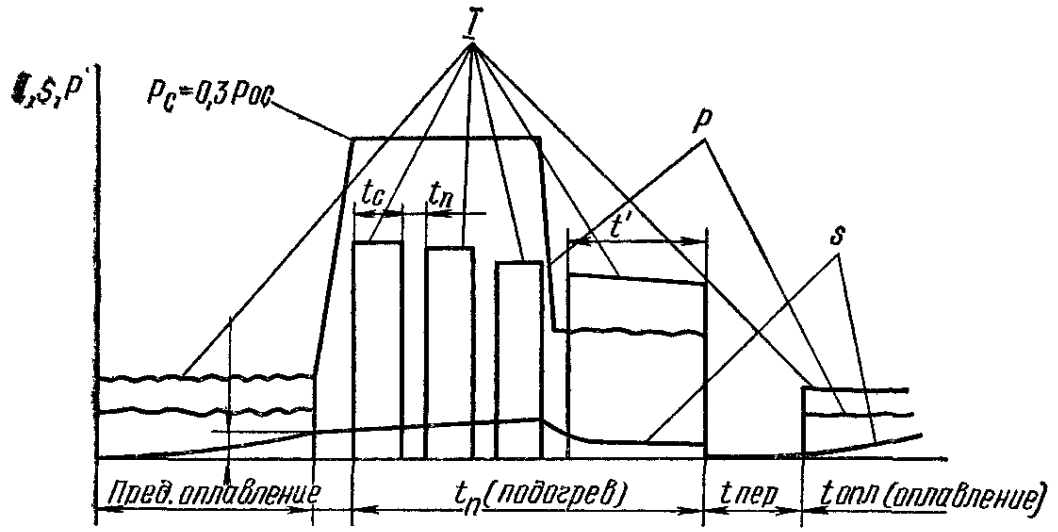


Рис. 56. Циклограмма подогрева с предварительным оплавлением:
I — сварочный ток, *s* — перемещенне, $P_с$ — усилие сжатня, $t_с$ — длнтельность нмпульса сваркн, $t_п$ — длнтельность паузы

ной температуры, достаточной для начала оплавления, или по жесткой программе. Стабильность подогрева зависит от состояния торцов, переходных сопротивлений, колебания напряжения сети, стабильности импульсов тока и усилий. Автоматическое управление даже с обратными связями по температуре не всегда обеспечивает стабильный нагрев. При жесткой программе из за схватывания торцов меняется длительность пауз $t_п$ и импульсов тока $t_с$.

Равномерность и стабильность подогрева труб обеспечивают компенсацией колебания напряжения сети и сопротивления сварочного контура авторегулятором типа $I_с^п = \text{const}$ и подогревом с предварительным оплавлением без возвратно-поступательного перемещения при программном изменении давления и длительностей $t_с$ и $t_п$ (рис. 56). Торцы труб выравниваются при оплавлении на 1,5—1,7 мм с нагревом до 150° С. Для устранения значительной пластической деформации торцов при высоких температурах $P_п$ снижают до 0,3 $P_{ос}$. После снятия внешнего усилия подогрев осуществляется без пауз. Переход к оплавлению обеспечивается снижением скорости сближения или повышением U_{20}. Уменьшение пау-

зы между предварительным оплавлением и подогревом до 0,3 с облегчает возбуждение оплавления. Подогрев при замкнутых торцах и удлинении последнего импульса при снятом $P_п$ (800—900° С) и размыкании с усилием $P_{ос}$ при последующем быстром (через 0,5 с) оплавлении обеспечивает стабильные свойства соединений при малых $\Delta_{опл}$. Желаемая температура подогрева близка к 950° С. Для повышения качества целесообразно удаление ржавчины в зоне нагрева.

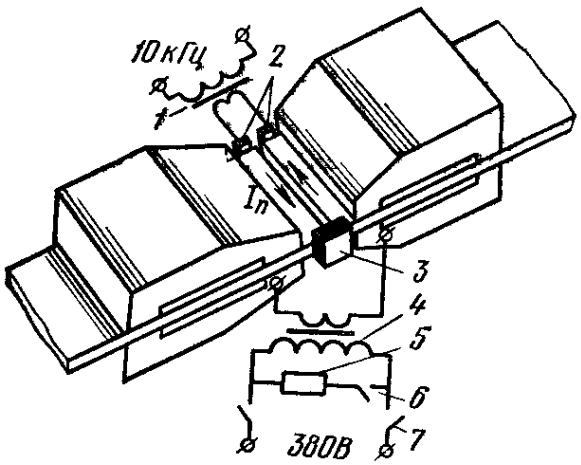


Рис. 57. Принципиальная схема высокочастотного подогрева в машине для стыковой сварки оплавлением: *1* — высокочастотный трансформатор, *2* — контакты, *3* — перемычка, *4* — первичная обмотка сварочного трансформатора, *5* — сопротивление, *6* — управляющий контакт, *7* — сварочные контакты

Подогрев возможен токами высокой частоты при индукционном или контактном подводе тока. При сварке полос пропускание высокочастотного тока вдоль кромок с использованием обратного провода или без него (рис. 57) позволяет получать на торцах расплав и качественные соединения за малое время. Возможен подогрев толстых полос перед кратковременным оплавлением и доброкачественная сварка легированных сталей в защитных средах.

Импульсное оплавление осуществляется при $j = 5—10$ А/мм², а для расширения зоны нагрева у деталей большого сечения при $j = 1$ А/мм². Увеличение j локализует нагрев. Потребляемая W при импульсном оплавлении снижается до 0,02—0,03 кВ·А/мм² и в 5—6 раз уменьшается припуск на оплавление.

Импульсное оплавление в 1,5—2 раза быстрее, чем оплавление с программированием напряжения. Импульсным оплавлением сваривают как обычные перлитные, так и различные легированные сплавы и стали.

§ 20. Сварка оплавлением различных материалов

Соединения низкоуглеродистых сталей по прочности и пластичности близки к исходному металлу. Пластичность соединений из средне-и высокоуглеродистых сталей повышают подогревом и регулируемым охлаждением или последующей термообработкой. При программном снижении напряжения или импульсном оплавлении возможно снижение пластичности при низких температурах.

Чрезмерный перегрев углеродистых сталей и быстрое охлаждение приводят к образованию крупноигольчатой ферритной (видманштетовой) структуры и рыхлостей в околостыковой зоне. Крупноигольчатая структура устраняется нормализацией. С увеличением содержания углерода снижается $T_{пл}$ и расширяется интервал твердожидкого состояния, что может служить причиной околостыковой пористости и ликвидации элементов. При этом прочность (рис.

58, *а*) и твердость (рис. 58, *б*) исходного металла и соединений растут, а их пластичность δ и ударная вязкость $a_н$ снижаются. В околостыковой зоне твердость выше, а в стыке ниже. Твердость в стыке повышают увеличением $P_{ос}$. Подогрев и замедленное охлаждение в течение 15—30 с до A_{c_1} позволяют резко снизить твердость металла околостыковой зоны.

В высокоуглеродистых сталях после охлаждения стык имеет структуру мартенсита с остаточным аустенитом. Твердость соединений снижают замедленным охлаждением, отпуском после охлаждения деталей или изотермическим отпуском сразу после сварки с пластической деформацией стыка растяжением или сжатием. Нагрев

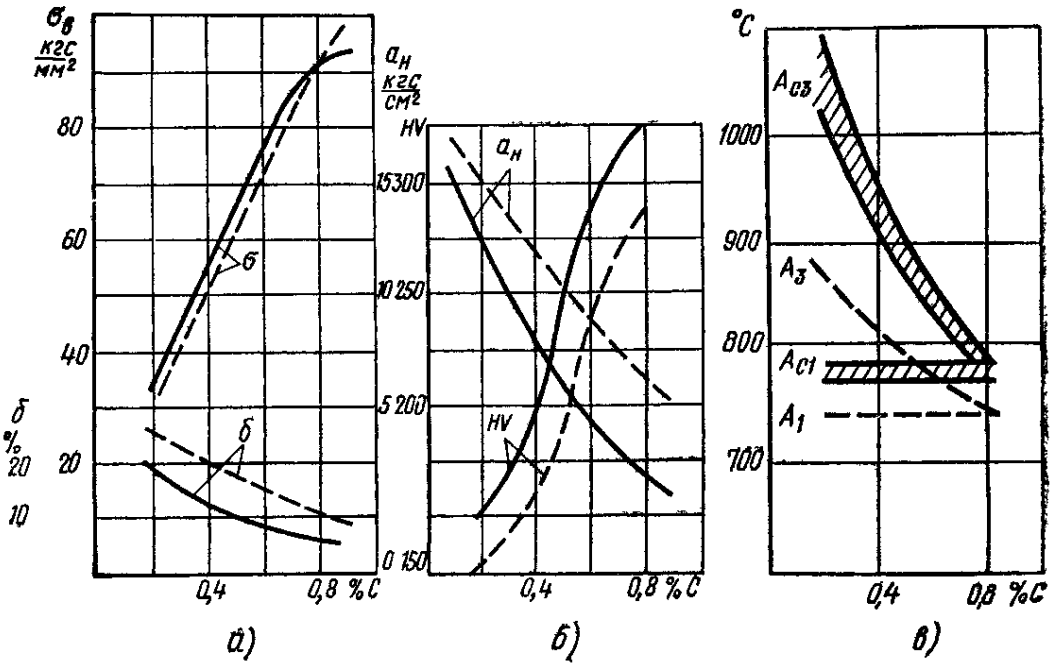


Рис. 58 Смещение критических точек A_1 и A_3 при скоростях нагрева 100—500 °С/с (*в*) и механические свойства (*а*, *б*) соединений (————) и исходного металла (— — — — — —) полос при различном содержании углерода:

$\sigma_в$ — прочность и удлинение, δ, $a_н$ — ударная вязкость и *HV* — твердость

под термообработку в сварочной машине целесообразно осуществлять при охлаждении стыка не ниже 500—600° С. При термообработке учитывают особенности фазовых превращений, связанные с нагревом. Скорости нагрева достигают 300° С/с. При таких скоростях отмечается резкое смещение критической точки A_{c_3} и небольшое смещение точки A_{c_1}. (рис. 58, *в*). Режим термообработки выбирается по металлу околостыковой зоны, где наиболее высокая твердость.

При сварке оплавлением область оптимальных режимов сужается с уменьшением содержания углерода, поэтому трудно сваривается чистое железо. С увеличением содержания углерода допустимые скорости оплавления и осадки снижаются, поэтому чугун относится к легко свариваемым оплавлением материалам.

При сварке чугуна конечная $v_{опл}$ и $v_{ос}$ могут быть вдвое меньшими, чем у стали. Это обусловлено более толстым слоем, расплава и более протяженной зоной двухфазного состояния. Большое газо-

выделение снижает опасность окисления. Оплавленные поверхности чугуна более ровные не зависимо от его состава и $v_{опл}$. Поэтому $\Delta_{опл}$ также меньше, чем у стали. С увеличением содержания С и Si глубина кратеров несколько возрастает. Свободный цементит в стыке не обнаруживается при $\Delta_{ос}$, большей слоя расплава, однако при чрезмерной $\Delta_{ос}$ возможны трещины. Ферритный чугун с шаровидным графитом хорошо деформируется в нагретом состоянии, вследствие чего диапазон оптимальных $\Delta_{ос}$ шире. Непрерывное оплавление чугуна без программирования U_{20} приводит к его отбелу.

Чугун можно соединять оплавлением с предварительным прерывистым до 700—800° С подогревом или программным снижением напряжения, а также импульсным оплавлением.

Хромистые стали свариваются труднее углеродистых при $\Delta_{опл}$, увеличенном в 1,5—2,5 раза, и конечных $v_{опл}$ = 7—10 мм/с.

Низкоуглеродистые стали с 15—25% Cr после нагрева выше 1000° С становятся хрупкими.

Полосы из стали ОХ13 свариваются как на мягких, так и на жестких режимах вполне удовлетворительно. После сварки достаточен к кратковременный (15 с) электронагрев соединения при 650—680° С. Полосы с высоким содержанием углерода также свариваются удовлетворительно, однако после сварки необходим длительный (10—20 мин) отпуск. Ферритные стали Х17Т и Х25Т требуют жестких режимов и больших обжатий. Ударная вязкость их соединений после электронагрева не превышает 2 кгм/см^2. Снижение пластичности обусловлено ростом зерен и труднообратимыми изменениями на их границах. Хромистые стали сваривают при $\Delta_{ос} = (2 \div 1{,}7)\delta$, ($\delta = 4 \div 6$ мм) и $v_{ос} =$ = 80—120 мм/с.

Никелевые стали свариваются легче хромистых. Никель снижает критическую скорость охлаждения и усиливает закаливаемость. Никель, мало окисляясь и имея умеренную электропроводность, может свариваться как оплавлением, так и сопротивлением. Рост зерен при нагреве требует ограничения пребывания при высоких температурах и большой пластической деформации. В никелевых сплавах трудности связаны с наличием хрома и алюминия, дающих тугоплавкие окисные пленки. Полезен предварительный подогрев, большие конечные $v_{опл}$ и $v_{ос}$. Давление осадки вследствие высокой жаропрочности и больших $v_{ос}$ достигают 40—50 кгс/мм^2. Подогрев снижает требуемые давления. Стали с 3,5% Ni закаливаются на воздухе, а при 8% становятся мартенситными. При сварке никелевых сталей уменьшают начальные скорости оплавления, увеличивают давление, длительность осадки под током. После сварки обычно требуется высокий отпуск. Медленное охлаждение может сопровождаться отпускной хрупкостью. Никелевые стали целесообразно сваривать после нормализации, приводящей к измельчению зерна и растворению карбидов.

Кремниевые стали, содержащие до 2% Si, свариваются удовлетворительно. При более высоком содержании кремния они свариваются хуже из-за образования крупных зерен и окисления.

Марганцовистые стали, содержащие до 2,5% Мп, свариваются, как углеродистые. Интенсивная закалка соединений (при

2,5% Mn твердость стыка 225 HV) устраняется последующей термообработкой. Сложнолегированные стали свариваются с большими $\Delta_{опл}$, $\Delta_{ос}$ и $v_{опл}$.

Медленный прогрев хромоникелевой стали из-за ее низкой теплопроводности компенсируется повышенным тепловыделением в деталях. Высокая прочность и быстрое образование прочных окисных пленок при нагреве требуют больших скоростей оплавления с перегревом расплава и ускоренной осадки с повышенными давлениями.

В стыках некоторых хромоникелевых сталей при осадке наблюдается скопление труднорастворимых карбидов (например, карбида титана), снижающих ударную вязкость. В сталях с ниобием и бором возможно резкое снижение пластичности околостыковой зоны. Термообработка с нагревом в губках машины до 1050—1150° С и выдержкой 3 мин восстанавливает пластичность таких соединений.

Аустенитная сталь 0Х18Н12 и стали, содержащие до 5—6% феррита, а также стали Х18Н10Т, Х17Н15М3, Х23Н18 и Х17Н13М2Т свариваются вполне удовлетворительно, причем первая обладает очень хорошей свариваемостью. В структуре околостыковой зоны стали Х23Н18 заметны рекристаллизованные зерна, а в соединениях стали Х17Н13М2Т однородная мелкозернистая структура. Также хорошо сваривается, несмотря на наличие кремния, аустенитная сталь Х25Н20С2. Труднее свариваются стали с содержанием феррита более 5—6%. Так, сталь 1Х21Н5Т, содержащая до 50% феррита, сваривается в узком диапазоне режимов и требует после сварки для повышения углов загиба нагрева до 500° С в течение 10—15 с.

Качество соединений (угол загиба α, $a_н$) в большей мере зависит от $\Delta_{опл}$, $\Delta_{ос}$ и $t_{ос.т}$ (рис. 59, *а—е*), а также от других параметров (табл. 5).

5. Режимы сварки полос из нержавеющих сталей

Сталь	δ, мм	$\Delta_{опл}$ мм	$t_{опл}$, с	$v^{к}_{опл}$, мм/с	$\Delta_{ос}$, мм	$v_{ос}$, мм/с	$t_{ос.т}$, с	U_{20}, В	$\Delta_{к}$ мм	$P_{ос}$, кгс/мм²
Х18Н10Т	4,0	16	12	7	6,0	140	0,20	10,5	10	26
Х14АГ14	3,7	16	10	5	5,5	60	0,32	10,5	9	21
0Х18Т1	4,5	17	9	6	6,5	160	0,26	12	10	20
1Х21Н5	3,5	13	12	8	5,0	140	0,10	10	9	19

Алюминий и его сплавы обычно сваривают со срезанием грата ножами (рис. 60, *а*) или с принудительным формированием (рис. 60, *б*, *в*), что обеспечивает благоприятную структуру соединения при повышенном давлении с устранением расслоя и рыхлости, наблюдаемых при обычных схемах осадки. В состоянии отжига большинство алюминиевых сплавов свариваются хорошо. Начальные значения твердости определяются исходным состоянием сплава, а ширина зон — величиной теплового режима сварки.

Упрочняемые нагартовкой в холодном состоянии и неупрочняемые при термической обработке сплавы типа АД, АМц,

АМг удовлетворительно свариваются в отожженном и нагартованном состоянии. О т о ж ж е н н ы е с п л а в ы (Д16, В92 и др.), упрочняемые термической обработкой после сварки, имеют повышенную прочность и твердость. Для восстановления их свойств часто необходим отжиг. Упрочненные сплавы этой группы свариваются с кратковременным нагревом и принудительным формированием соединения. После сварки обычно применяют общую термическую обработку с закал-

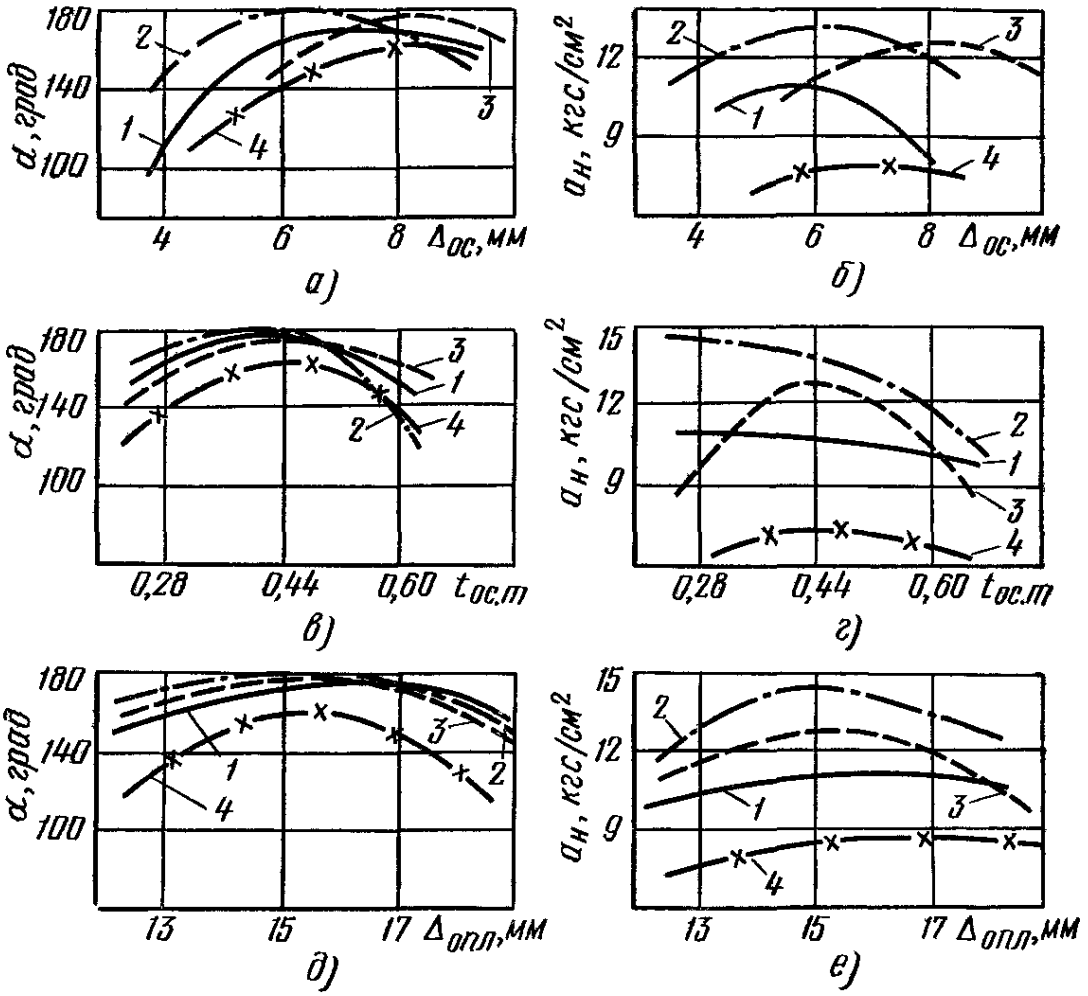


Рис. 59. Зависимость угла загиба α и ударной вязкости $a_н$ сварных образцов из сталей Х18Н10Т (*1*), Х17Н13М2Т (*2*), Х23Е18 (*3*) и 1Х21Н5Т (*4*) от припуска на осадку $\Delta_{ос}$, длительности осадки под током $t_{ос.т}$ и припуска на оплавление $\Delta_{опл}$

кой и упрочнением. Наиболее трудно свариваются сплавы, упрочненные термической обработкой с последующей нагартовкой.

С уменьшением толщины свариваемых деталей повышается давление осадки и ее скорость. Это обусловлено тем, что при сварке со срезанием грата величина давления зависит не только от конечного расстояния $\Delta_к$ и площади, но и от длины среза. Давление тем выше, чем медленнее разупрочняется околостыковая зона.

При сварке термообработанных деталей большого сечения применяют подогрев (при большом $l_1 + l_2$ и $j = 5—7$ А/мм²) в течение 30—40 с для сплавов АМц и Д16 до температур 200° С и для сплава АМг до 300° С, который не разупрочняет существенно исходный металл. Перед подогревом торцы выравнивают предварительным оплавлением,

а затем сдавливают при давлении 2—5 кгс/мм². После подогрева при $U_{20} = 1 - 3$ В оплавление возбуждают при $v_{опл} = 0{,}5—1$ мм/с, далее при 3—5 мм/с и, наконец, при 10—25 мм/с. Давление осадки близко к 15—25 кгс/мм². Еще более эффективно импульсное оплавление.

Медь и ее сплавы соединяются хуже алюминия из-за более высокой теплопроводности и температуры плавления. Оплавление осуществляется по графику $S = k_0 t^{3/2}$ при конечной скорости 20 мм/с и средней — 8 мм/с. Оплавление протекает бурно с дугообразованием и сильным звуковым эффектом. Осадка осуществляется со скоростью 200 мм/с при давлении 40—95 кгс/мм². Удельная мощность на прутках небольшого сечения достигает 2,5 кВ·А/мм². Наиболее часто медь сваривают сопротивлением. В настоящее время широко распространена холодная сварка меди.

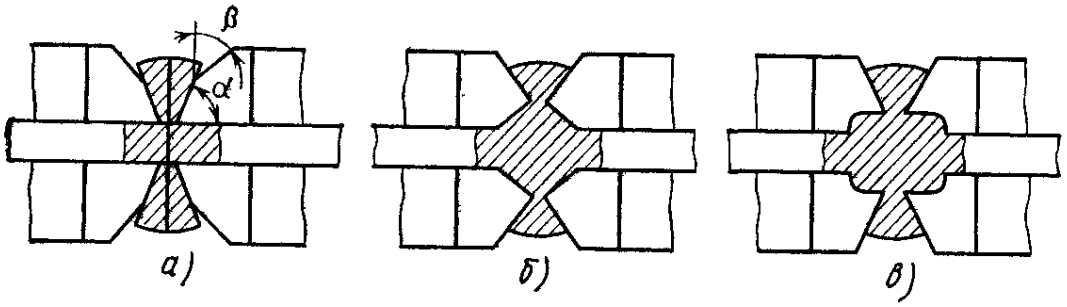


Рис. 60. Схема сварки с принудительным формированием соединения

Значительно легче свариваются латунь и бронза. Для их сварки требуются большие конечные скорости оплавления и осадки. Прогрев осуществляется при небольшой постоянной скорости (0,7—1 мм/с), которая постепенно повышается до 2 мм/с, а затем резко возрастает до 15 мм/с. Скорость осадки близка к 300 мм/с, а давление $p_{ос} \approx 25$ кгс/мм². Для снижения твердости применяют термообработку.

Стыковая сварка циркония, тантала, ниобия из-за высокой температуры плавления и активного взаимодействия с кислородом, азотом и частично водородом сопровождается растворением этих газов в металле и интенсивным горением расплавляемых частиц с появлением большого количества окислов в виде хлопьев и дыма. Эти металлы обычно сваривают стыковой сваркой в защитных камерах с нейтральным газом при отсосе образующихся окислов. При кратковременном нагреве ниобий и молибден можно сваривать без защиты. Свариваемость редких металлов зависит от способа их получения. Легко свариваются спеченные в вакууме, деформированные, отожженные мелкозернистые металлы.

Титан сваривают в камерах с аргоном по режимам, установленным для стали, но с увеличенным припуском на оплавление. Некоторые сплавы сваривают на воздухе. Многие сплавы титана после сварки подвергают термообработке. Из-за высокого сопротивления при 1200—1300° С деформация распространяется на металл, нагретый до более высокой температуры, что локализует осадку и позволяет сваривать сплавы титана при небольших $\Delta_{ос}$.

Молибден в виде спеченных в вакууме или водороде штабиков удовлетворительно сваривается непрерывным оплавлением на воздухе с большими ускорениями при оплавлении. Хорошие результаты дает также сварка в горящем водороде. Крупные зерна околостыковой зоны, сообщающие хрупкость соединению, должны быть раздроблены при осадке, поэтому $\Delta_{ос}$ на 40—70% больше, чем у стали. Скорость осадки должна быть более 50—60 мм/с.

§ 21. Термическая обработка и зачистка грата

Сварные соединения, отличающиеся по структуре от исходного металла, подвергают высокому отпуску, нормализации с отпуском, аустенизации (хромоникелевые стали) или отжигу (заготовки инструмента).

Местная термообработка в машине, связанная с появлением зон отпуска, осуществляется после завершения структурных превращений при еще нагретом стыке, концентрирующем тепловыделение. Стали в состоянии улучшения (после закалки и отпуска) сваривают по возможности быстро с последующим местным отпуском соединения. Режим термообработки соединений уточняется на основе замеров твердости и исследования микроструктуры.

Отпуск легированной и нормализация низкоуглеродистой стали делают их структуру более равновесной и снижают твердость. Снижение твердости в зоне сварки зависит от состава стали и происходит более резко после отжига, чем после отпуска. Существенное ускорение отпуска (в 2—5 раз) возможно при нагреве соединений с их пластической деформацией.

Грат зачищается вручную или механическими различными устройствами-гратоснимателями сразу после сварки, после охлаждения соединения или после его термообработки. Способ съема грата выбирают с учетом вида производства, требуемой производительности и конструктивных особенностей детали. Эти способы рассмотрены далее.

§ 22. Краткая технология сварки

Параметры режима сварки уточняются в зависимости от требований к качеству.

Так, стыки и околостыковая зона термоупрочненной арматуры железобетона должны иметь высокую прочность. В стыках проволоки для волочения необходима высокая пластичность. Соединения полос при изготовлении спиральных труб должны иметь высокую прочность, а соединения таких же полос при прокате — высокую пластичность.

Поэтому в каждом конкретном случае параметры ориентировочных режимов (табл. 6 и 7) корректируют в зависимости от исходной структуры (строчечность, повышенная твердость и т. д.), подготовки торцов (после точения припуск на оплавление меньше, чем после рубки). Проволоку и ленту толщиной более 1 мм и сечением до 15—20 мм^2 сваривают сопротивлением. При хорошей подготовке и программировании

6. Ориентировочные припуски (мм) и длительность (с) сварки полос (по данным Международного института сварки)

δ	$\Delta+\Delta_к$	Δ	$\Delta_к$	$\Delta_{опл}$	$\Delta_{ос}$	$\Delta/2$	$\frac{\Delta+\Delta_к}{2}$	$t_{опл}$
1	11,0	6,0	5,0	4,4	1,6	3,0	5,5	1,75
1,5	15,0	8,0	7,0	5,8	2,2	4,0	7,5	2,25
2,0	20,5	11,0	9,5	8,0	3,0	5,5	10,25	4,0
3	29,0	15,5	13,5	11,2	4,3	7,75	14,5	6,25
4	38,0	20,0	18,0	14,7	5,3	10,0	19,0	9,0
5	45,0	23,0	22,0	16,7	6,3	11,5	22,5	12,0
6	50,0	25,0	25,0	18,0	7,0	12,5	25,0	16,0
8	60,0	30,0	30,0	22,0	8,0	15,0	30,0	25,0
10	66,0	32,0	34,0	23,0	9,0	16,0	33,0	34,0

7. Ориентировочные припуски (мм) и длительность (с) сварки круглых деталей (по данным Международного институтта сварки)

d	$\Delta+\Delta_к$	$\Delta_{опл}+\Delta_{ос}$	$\Delta_к$	$\Delta_{опл}$	$\Delta_{ос}$	$\frac{\Delta}{2}$	l_1	Длина электрода	$t_{опл}$
4	7,0	3,0	4,0	2,0	1,0	1,5	3,5	10	1,25
5	8,5	3,5	5,0	2,5	1,0	1,75	4,25	10	1,5
6	10,2	4,2	6,0	3,0	1,2	2,1	5,1	10	1,8
8	13,6	5,6	8,0	4,0	1,6	2,8	6,8	10	2,5
10	17,0	7,0	10,0	5,0	2,0	3,5	8,5	10	3,25
15	25,5	10,5	15,0	7,5	3,0	5,25	12,75	12	6,0
20	33,5	13,5	20,0	10,0	3,5	6,75	16,75	15	9,0
30	49,5	19,5	30,0	15,0	4,5	9,75	24,75	20	19,0
40	65,5	25,5	40,0	20,0	5,5	12,75	32,75	25	40,0
50	81,5	31,5	50,0	25,0	6,5	15,75	40,75	30	90,0

давления с током возможна сварка проволоки сечением 200 мм² и более. Плотность тока j у проволок диаметром $d = 0{,}5$ — 3 мм достигает 700—250 А/мм², а у прутков $d = 20$ мм — 40—50 А/мм². У медных проволок $d = 0{,}4$—2 мм, $j = 2500$—1000 А/мм². Стабильность нагрева достигается постоянством графиков давления и энергии. Проволоку из легированных сталей с хромом, алюминием и кремнием на волочение чаще сваривают непрерывным оплавлением с последующей термообработкой.

При сварке проволок смещение осей не должно превышать (0,05—0,07)d. Режимы сварки проволок и стержней выбирают по табл. 7. У проволок с $d < 8$ мм из стали $l_1 + l_2 = 1{,}4\,d$, а у алюминия $3d$ и меди $4d$. Грат на проволоках запиливают, а на стержнях снимают гратоснимателями с резцовыми вращающимися головками. Легированные стали зачищают после дополнительного подогрева или после термообработки.

Стержни диаметром $d < 20$ мм со специальной подготовкой (см. рис. 53, *е*, *ж*) сваривают сопротивлением (при $d > 10$ мм можно сваривать также непрерывным оплавлением), а при $d > 30$ мм оплав-

лением с подогревом. Для стержней при $d > 80$—100 мм целесообразно оплавление с программированием напряжения или импульсное оплавление.

Прутки быстрорежущей стали с углеродистой сваривают оплавлением с подогревом при $t_с = 0{,}08$—$0{,}2$ с и $t_п = 0{,}12$—$0{,}3$ с (большие значения для $d = 60$—80 мм). При отклонениях возможно появление в зоне стыка ледебурита. Число замыканий n определяется в зависимости от d, первичного тока I_1 (для однотипных машин) и свойств материала, учитываемых коэффициентом (0,9—1,1).

$$n = \frac{(0{,}9—1{,}1)\,(60+2d)\,d}{I_1}.$$

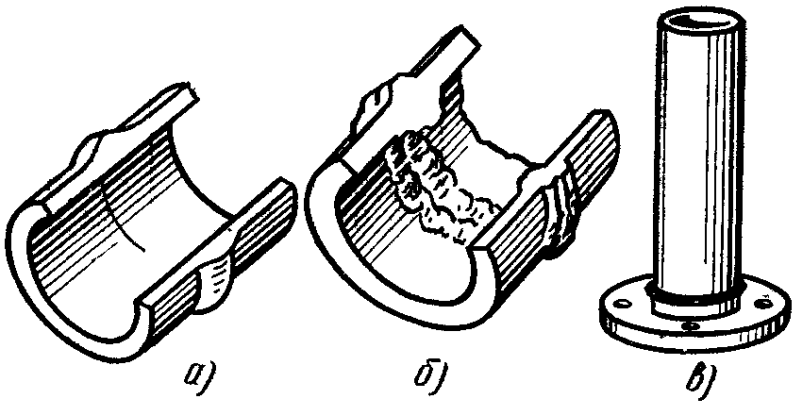


Рис. 61. Труба, сваренная сопротивлением (*а*) и оплавлением (*б*), а также сварное соединение трубы с фланцем (*в*)

Возможен подогрев без перемещения заготовок.

Прутки с $d < 16$ мм для сталей Р6М3К5, Р9М4К5 и Р12 можно сваривать непрерывным оплавлением при малых $\Delta_{опл}$ (табл. 8). Стали повышенной теплостойкости требуют более длительных $t_п$ и $t_{опл}$.

8. Режимы сварки прутков из быстрорежущих сталей различных марок с углеродистой сталью

d, мм	Р9, Р12, Р18, Р9К5				Р6М3, Р6М3К5, Р9М4, Р9М4К5 (Р12)				Р9Ф5, Р9К10, Р10К5Ф5, Р14Ф4 Р18Ф2			
	$\Delta_п$, мм	$\Delta_{опл}$, мм	W, кВ·А	$P_с$, кгс	$\Delta_п$, мм	$\Delta_{опл}$, мм	W, кВ·А	$P_с$, кгс	$\Delta_п$, мм	$\Delta_{опл}$, мм	W, кВ·А	$P_с$, кгс
8—9,5	1,0	2,1	7	254	—	2,2	9	381	1,6	1,6	6	318
10—12,0	1,1	2,3	10	380	—	2,4	12	570	1,7	1,7	9	475
12,5—15,0	1,2	2,4	15	600	—	2,5	17	900	1,8	1,8	13	750
16—19	1,3	2,5	25	980	1,2	2,7	30	1470	1,9	1,9	22	1180
20—24	1,4	2,7	35	1470	1,3	2,9	40	2200	2,1	2,1	31	1840
25—31	1,5	3,0	50	2280	1,4	3,1	60	3420	2,2	2,2	43	2850
32—39	1,7	3,3	60	3560	1,5	3,5	70	5350	2,4	2,4	54	4450
40—49	2,0	3,6	100	5420	1,7	3,9	110	8100	2,7	2,7	87	6750
50—62	2,3	4,0	120	7850	2,0	4,3	150	11700	3,0	3,0	105	9800
63—80	2,8	4,5	130	12000	2,3	5,0	150	18000	3,5	3,5	115	1500

Трубы сваривают с сохранением проходного отверстия. Сварка сопротивлением в защитной среде (рис. 61, *а*) при калибровке концов труб обеспечивает это требование.

При сварке оплавлением грат в прямых трубах (рис. 61, *б*) из углеродистой и низколегированной сталей удаляют продувкой. У при-

варенных фланцев (рис. 61, *в*) возможна проточка грата на токарных станках.

В трубах из высоколегированных сталей горячий грат удаляют протяжками или дорнами (рис. 62, *а*) со смещенными режущими кромками. Протяжку с изолированными ножами вставляют в трубу за стыком на расстоянии 100—200 мм, а дорн — на расстоянии до 1 м. Дорн при сварке фланцев может находиться вне трубы.

Начало и длительность продувки кислородно-воздушной смесью для предупреждения вымывания металла стыка строго регламентируют. Из-за скопления грата в гибах при продувке гнутые трубы зачищают снарядами (рис. 62, *б*).

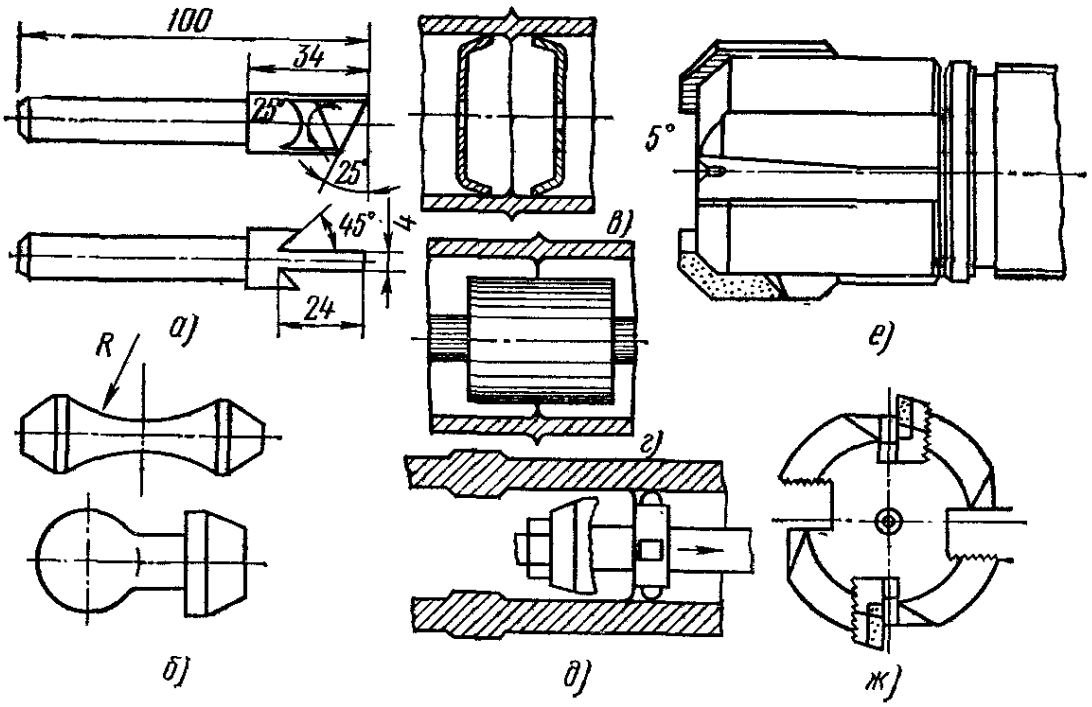


Рис. 62. Дорны (*а*) и снаряды (*б*) для зачистки грата внутри труб, а также вставки (*в, г*) для его сбора и головки для зачистки (*д, е, ж*)

Продувка газами при оплавлении, уменьшая грат и защищая торцы, позволяет сваривать при малой $\Delta_{ос}$. В трубах большого диаметра для сбора грата применяют различного рода вставки (рис. 62,*в, г*). Наружный грат срезают разъемными закладными кольцами, сдвигаемыми вдоль трубы, или токарной обработкой.

Для труб из легированных сталей необходим азот высокой чистоты (до 0,005% O_2), удаляющий при давлении 1,0 ат не только расплавленные частицы, но и защищающий торцы от окисления. Это позволяет уменьшить $\Delta_{ос}$ для труб ∅ 32—38 мм с 4—6 до 2—2,5 мм. Трубы, свариваемые с продувкой, должны очищаться от окалины и ржавчины на участке нагрева. Трубы из стали 20 ∅ 32—38 мм с δ 3—4, 5 мм на машинах ЦСТ-200 рекомендуется сваривать при $U_{20} = 5{,}2$—6 В, $\Delta_{опл} = 13$ мм, припуске на ускоренное оплавление $\Delta_{опл.у} = 3$ мм, $t_{опл} = 15$ с, $v_{опл.ср} = 0{,}8$ мм/с, $v^{к}_{опл} = 5{,}0$ мм/см, $\Delta_{ос} = 2{,}5 \pm$ $\pm$ 0,5 мм, $t_{ос.т} = 2{,}0$ мм, а трубы из стали 12Х1МФ при $U_{20} = 6{,}0$—

6,5 В, $\Delta_{опл} = 17$ мм, $\Delta_{опл.у} = 3$ мм, $t_{опл} = 17$ с, $v_{ср} = 1{,}0$, $v^{к}_{опл} = 8$ мм/с и тех же $\Delta_{ос}$. В обеих сталях $l_1 + l_2 = 60$—70 мм. Трубы из нержавеющей стали 1Х18Н12Т ∅ 32 × 4 мм сваривают без продувки при $U_{20} = 6{,}5$—7 В, $\Delta_{опл} = 15$ мм, $v_{опл.ср} = 1{,}0$, $t_{опл} = 14$ с, $\Delta_{опл} = 5$ мм и $\Delta_{ос.т} = 4$ мм.

Стабилизация подогрева без возвратно-поступательного перемещения позволяет уменьшить $\Delta_{опл}$ до 4—5 мм на трубах ∅ 32—42 мм и δ 3—4 мм. При этом легко удаляется грат (из-за малой его величины и широкой зоны нагрева), стабилизируется качество и расширяется диапазон регулирования параметров оплавления.

Трубы большого диаметра (107—153 мм) с толщиной стенки 7—20 мм из сталей 20Х и 12Х1НФ сваривают на машине К-190Т с программированием напряжения (табл. 9). Уменьшение $t_{опл}$

9. Режимы сварки труб из стали 20К и 12Х1НФ на машине К-190Т

d, мм	δ, мм	Сталь	$U^{в}_{1}$, В	$U^{н}_{1}$, В	$v_{н}$, мм/с	$v_{к}$, мм/с	$\Delta_{ос}$, мм	$t_{с}$, с	$P_{ос}$ (ати) не менее	$\sigma_{в}$, кгс/мм²	$a_{н}$, кгс·м/см²
159	20	12Х1МФ	430	320	0,2	1,2	12	120	80	—	—
133	10	12Х1МФ	420	280	0,25	2,5	10	80	60	58,1	1,2—28,0 / 12,5
159	12	20К	420	320	0,2	1,7	11	80	60	51,2	5,0—25,4 / 12,3
108	12	20К	230	290	0,3	3,0	8	60	50	53,3	—

Примечание. Угол загиба 180° С при 20° С.

и $l_1 + l_2$ не устраняет перегрев в околостыковой зоне. Для повышения пластичности соединений их после зачистки интенсивно охлаждают водой из спрейера. Наружный грат срезают усилием осадки после освобождения подвижного зажима, используя ножи гратосъемника, закрепленные на вкладышах подвижной колонны. Внутренний грат удаляется устройством с дорном, установленным за сварочной машиной и связанным мощными штангами (рис. 62, *д*). Съемная медная втулка служит для сбора расплавленных частиц. Возможны и другие вставки для сбора расплавленных частиц (рис. 62, *в*, *г*). Вместо меди также используют трудно свариваемые жаропрочные сплавы или втулку покрывают силиконовой смазкой. В ряде случаев грат срезают ножами (рис. 62, *е*, *ж*).

Полосы сваривают на плоских электродах с односторонним верхним (трансформатор расположен сверху зажимов) или нижним токоподводом. В первом случае прогрев полос хуже, так как расплавленный металл выбрасывается вниз и теплоотдача от грата меньше. При сварке тонких (до 0,3 мм) полос используются машины с принудительным выбором люфтов и точной настройкой электродов как в плане, так

и по высоте. Целесообразно принудительное формирование стыка (см. рис. 60, *а*, *б*) или спрессовывание грата бронзовыми электродами. Цветные металлы сваривают со срезанием или надрезанием (см. рис. 60, *а*) и последующим протягиванием стыка между электродами или ножами гратоснимателя.

Качество соединений и режимы сварки зависят от точности обрезки полос и их установки в электродах. Оплавление тонких полос из-за малых перемычек и тонкого расплава требует повышенных конечных скоростей $v^{к}_{отл}$. Повышение напряжения с увеличением ширины полос обеспечивает требуемую плотность тока. При этом несколько увеличивают $\Delta_{опл}$ и $\Delta_{ос}$. Полосы также сваривают при ускорении перед осадкой или с применением высокого (20—28 В) напряжения.

При $\Delta_{к}$, составляющее (2,0—3,0)δ, усиливается теплоотвод в электроды, локализуется нагрев и уменьшается смещение торцов.

Установочная длина должна быть минимально возможной

$$l_1 + l_2 = \Delta_{опл} + \Delta_{ос} + \Delta_{к} \simeq (10 - 11)\delta.$$

При точной автоматической установке $\Delta_{опл}$ и $\Delta_{ос}$ для полос шириной 400—2000 выбираются одинаковыми (по ширине 400 мм). Если установка неточна, то $\Delta_{опл}$ увеличивают на выравнивание торцов при начальной постоянной $v^{н}_{опл} = 0,4 - 0,5$ мм/с, что стабилизирует тепловое состояние полос по ширине. С понижением теплопроводности материала увеличивается $t_{с}$.

Минимальная $\Delta_{опл} = (8—2,5)\delta$. Режимы сварки полос толщиной 0,3—0,8 мм из низкоуглеродистой стали (табл. 10) предусматривают сварку на электродах подрезанием грата или спрессовыванием. Тонкие полосы также сваривают постоянным током.

10. Режимы сварки полос из низкоуглеродистой стали

δ, мм	$\Delta_{опл}$ мм	$\Delta_{ос}$, мм	$t_{ос.\ т}$ в периодах	$\Delta_{к}$, мм	$v_{к}$, мм/с
0,3	2	1,5	1—1,5	(0,1)0,3	6
0,5	2,5	1,8	1,5—2	(0,1)0,5	6
0,8	5	2,0	2—3	4	5,5
1,0	6	2,5	3—4	4	5,5
1,5	7	2,8	4—6	6	5,0
2,0	9	3,0	6—8	8	5,0

Примечания. 1. $v_{ос} \geqslant 80$ мм/с.

2. В скобках даны значения $\Delta_{к}$ при сварке со стальными электродами.

3. При сварке полос $\delta = 1,5 \div 2$ мм возможно повышение U_{20} в 2,5—3 раза при сокращении $t_{опл}$ на 20—30% и $t_{ос.\ т}$ до 2—3 периодов.

Стыки полос толщиной 1—6 мм и шириной до 500 мм зачищают двухрезцовыми встроенными консольными гратоснимателями (рис. 63).

Гратосниматель, зачищающий горячее соединение без отжатия полосы, обычно имеет перемещаемую вдоль стыка жесткую скобу, на концах которой установлены головки с регулируемыми по высоте резцами. При изменении толщины полос регулируется верхний резец.

Для широких полос или частом изменении их толщины применяют плавающий гратосниматель, у которого вместо жесткой скобы использованы балки *3* и *11* (рис. 63), связанные гидроцилиндром *12* и шарниром, закрепленным на каретке *13*, которая перемещается цилиндром *14* по направляющим рамы *1*. На концах балок расположены ролики *6* и *7* с головками *5* и *8* и регулируемыми резцами *4* и *9*. Плоскость реза для предупреждения спрессовывания грата наклонена под небольшим углом к оси стыка. Расстояние между зажимами равно $l_1 + l_2$.

Положение головок относительно полос настраивается пружиной *2*. При накатывании роликов на полосу резцы разжимаются на требуемый зазор и зачищают грат до заданной высоты. После зачистки резцы разводятся цилиндром *12*.

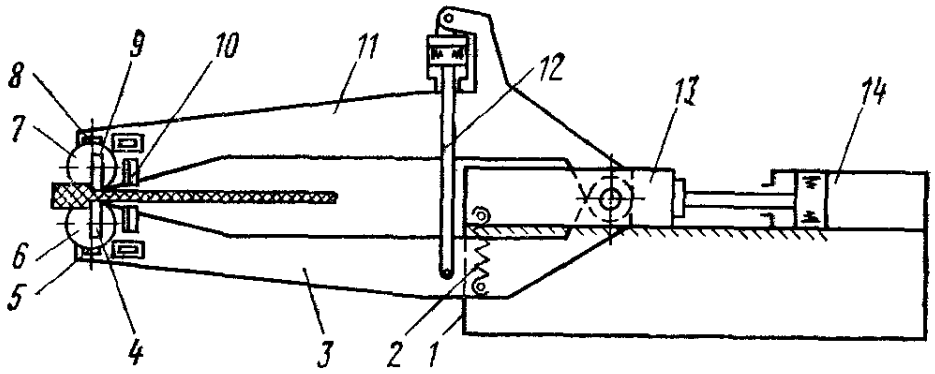


Рис. 63. Схема гратоснимателя для зачистки грата на полосах

Смещение головок от оси предупреждается боковыми роликами. Скребки на головках зачищают электроды от грата. Резцы сечением 18 × 50 мм с пластинами из твердого сплава ВК8 (иногда из Т5К10 или Т7К12) толщиной 10 мм, имеющими передний угол 10°, задний 5° и фаску под нулевым углом на передней грани, имеют ширину близкую к толщине среза (~4 мм). Такого рода резцы в среднем могут зачищать до 2000 стыков. Выкрашивание резцов предупреждают обдувом воздухом или покрытием окислами или смесью графитового порошка с индустриальным маслом, что предупреждает схватывание с режущей кромкой и отделение стружки на сходе со стыка. Тонкие полосы зачищают гратоснимателями, монтируемыми рядом с машиной и имеющими гребенки с двумя-тремя зубьями, у которых $\gamma = 10°$, $\alpha = 5°$.

Скорость резания составляет 5—20 м/мин. Температура грата снижается с уменьшением толщины полос и их ширины. Грат зачищают заподлицо с полосой с утолщением на (0,05—0,1)δ или с утонением. Режущие кромки в плавающих гратоснимателях повернуты на 10° к

осевой плоскости резца. Длительность зачистки на встроенных консольных гратоснимателях составляет 2—6 с, а на работающих с перехватом стыка плавающих — 6—12 с.

Стыки полос из алюминия зачищаются губками, которые снабжены стальными вставками или целиком делаются из стали 3Х2В8. Грат на легированных сталях также удаляют шлифованием. Закаливающиеся стали после сварки подвергают термической обработке.

В целях более легкого отделения грата электроды регулярно через 5—7 сварок покрывают силиконовой смазкой.

При термической обработке в машине для равномерного нагрева необходимо равномерное зажатие полос. Термообработку осуществляют при конечном расстоянии или с перехватом стыка при его увеличении в несколько раз. Нагрев при термообработке совмещают с пластической деформацией металла стыка.

Режимы сварки полос (рис. 64) на автоматизированных машинах ВНИИМЕТМАШ характеризуются ограниченными длительностями оплавления на повышенных напряжениях.

Р е л ь с ы сваривают с программированием напряжения при длительном оплавлении и небольшой мощности или импульсным оплавлением. Грат срезают протягиванием горячего стыка через специальные профильные ножи. После зачистки применяют нормализацию или отпуск. Отпуск осуществляется при 650° С.

З а г о т о в к и б о л ь ш о г о с е ч е н и я сваривают при программировании U_{20} и $v_{опл}$ или импульсным оплавлением (табл. 11).

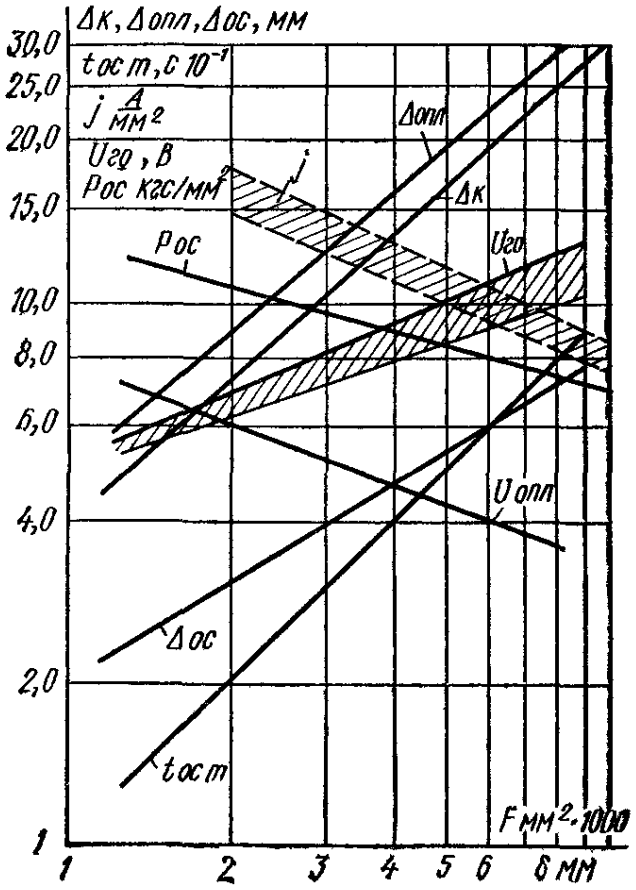


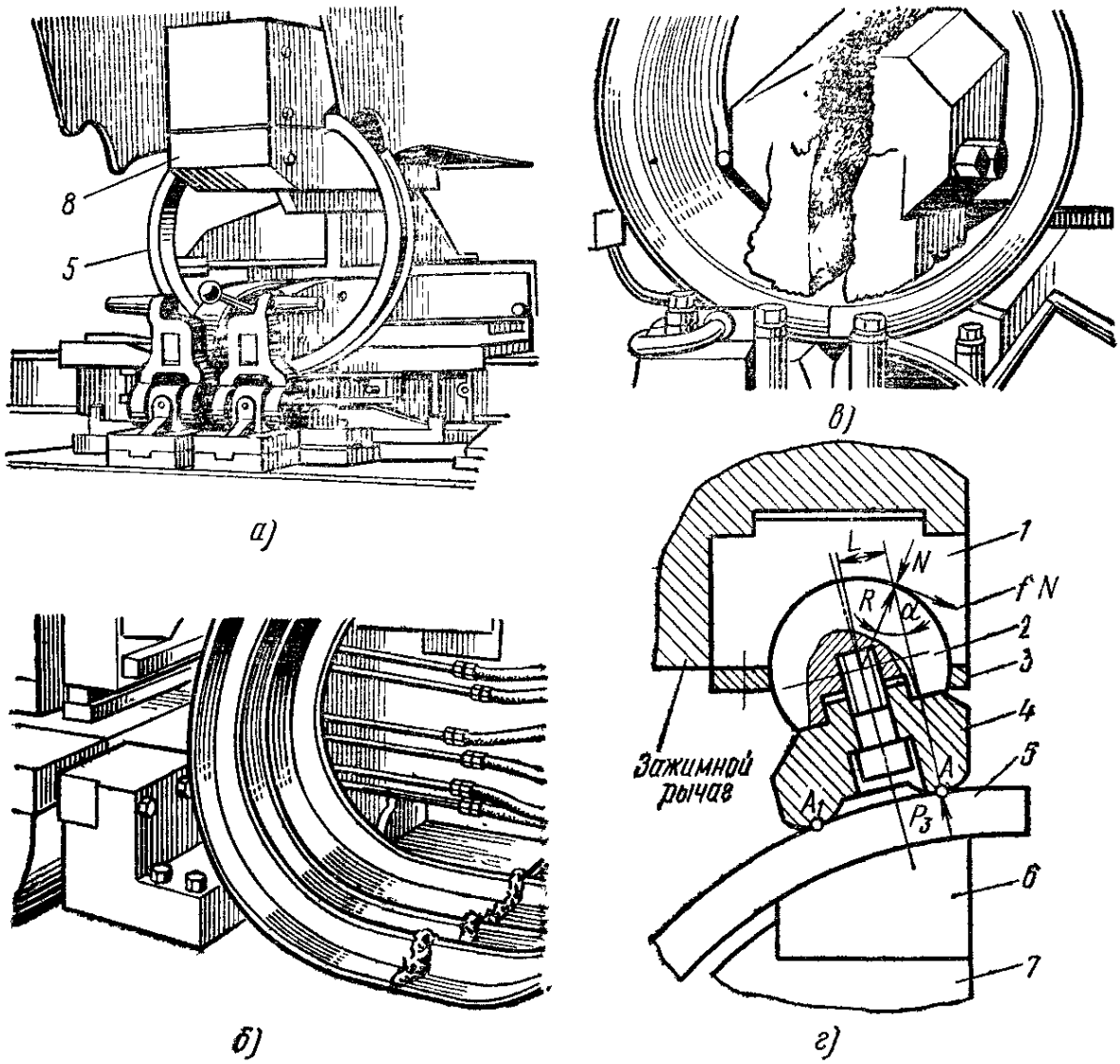
Рис. 64. Графики для определения ориентировочных припусков на оплавление ($\Delta_{опл}$) и осадку ($\Delta_{ос}$), давления осадки ($p_{ос}$), конечного расстояния ($\Delta_к$), коиечиой скорости оплавлеиия $v_{опл}$ и плотности тока (j) в зависимости от толщины полос и напряжения (U_{20}) от сечения полос (F) при сварке непрерывным оплавлением на высокопроизводительных режимах

К о л ь ц е о б р а з н ы е н е б о л ь ш и е д е т а л и (кольца, подшипники и др.) сваривают непрерывным оплавлением или оплавлением с подогревом.

Для уменьшения тока шунтирования на свариваемое кольцо надевают разъемный сердечник, резко увеличивающий его индуктивное сопротивление. При сварке колец из цветных металлов деталь сама может стать вторичным витком трансформатора (рис. 65, *а*). Кольца сваривают непрерывным оплавлением с выпрямлением концов на участке (рис. 65, *б*) или без выпрямления (рис. 65, *в*).

11. Режимы сварки импульсным оплавлением

Металл	Сечение, мм²	U_{20}, В		$\Delta_{опл}$, мм	Частота колебаний, Гц	Амплитуда колебаний, мм	$v_к$, мм/с	$v_{ос}$, мм/с	$t_{св}$, с	Потребляемая мощность, кВ·А
		максимальное	минимальное							
Перлитная сталь	300×20	6,3	—	7	25	0,4	0,9	7	35	230
	100×100	8,9	—	8	35	0,3	0,9	8	70	320
	270×400	6,8	—	6	35	0,3	0,5	12	450	600
АМг6	12 000	13,2	8,0	45	3,5	0,3	13,0	45	120	200
ХН38ВТ	1 400	5,0	4,3	4	4—8	0,8—1	3,8	16	28	200
ВЖ101	2 000	6,8	5,0	5	4—8	0,8—1	4,0	20	55	220



Рнс. 65. Зажимы, нспользуемые прн сварке колец

Кольцевые детали также могут закрепляться самоустанавливающимся вкладышем через обойму *1* (рис. 65, *г*), в которой вращается сфера *2*, удерживаемая прижимом *3*. Кольцо прижимается к токоведущему вкладышу *6* упора *7*. Для каждого диаметра и профиля колец *5* используются свои сменные вставки *4*.

Малые жесткие кольца из легированных сталей сваривают оплавлением после подогрева вне машины или в машине, а иногда из двух полуколец с двумя стыками.

Большие кольца обычно сваривают при подогреве в машине с программированием U_{20} или с импульсным оплавлением. Звенья цепи диаметром до 20 мм при подготовке торцов на усеченный конус могут свариваться сопротивлением, а с плоскими торцами оплавлением с подогревом. При сварке звеньев малых и средних размеров теряется энергия на нагрев шунта и качественно изменяется оплавление, снижается cos φ (большое $Z_{к.з}$), а также значительно изменяется усилие при оплавлении и осадке. Эти явления усиливаются с уменьшением диаметра и увеличением сечения кольца. Звенья сваривают на стальных зажимах *1* (рис. 66, *а*) с медными электродами *2*. На прочных звеньях размером 18 × 24 мм ($d \cdot L$) из сталей 23Г2А и 25ХГНМА усилие при оплавлении после подогрева достигает 4 тс, а при осадке 8 — 9 тс. Отход назад при подогреве связан с упругими силами, достигающими 0,5 — 0,7 тс. Их величина зависит от начального зазора между торцами, близкого к 1 мм, который целесообразно стабилизировать. Зажимы, обеспечивающие стабильное усилие, показаны на рис. 66, *б*. При сварке звеньев цепей плотность тока j близка к 7 А/мм². При оплавлении $I_{опл} \simeq 1{,}9$, а $I_{ш} \simeq 10{,}2$ кА, при подогреве $I_{п} = 14{,}8$, а $I_{ш} = 5{,}2$ кА. Ток осадки $I_{ос}$ в 7—8 (обычно с 2,5—3) раз больше тока оплавления. Поэтому повышенное U_{20} при подогреве вызывает поджоги на участках контакта и сварку звеньев осуществляют при минимально возможных U_{20}, зависящих от $z_{к.з}$ машины. Общий припуск на сварку $\Delta = 10{,}5$ мм, $v_{опл}$ (реверсирования) = 2—2,75 мм/с, $\Delta_{ос} = 4{,}5$—6 мм, $\Delta_{ос.т} = 1{,}5$ мм. После сварки звенья подвергаются закалке в воду и отпуску.

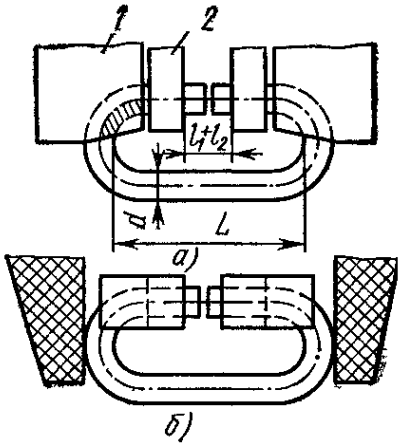


Рис. 66. Схема зажимов при сварке звеньев цепей

Контрольные вопросы

1. Назовите разновидности стыковой сварки и области их применения.
2. Назовите основные параметры режима стыковой сварки и расскажите об их влиянии на качество сварных соединений.
3. Перечислите особенности сварки углеродистых и хромоникелевых сталей, чугуна, цветных металлов и сплавов.

ГЛАВА V

МАШИНЫ ДЛЯ СТЫКОВОЙ СВАРКИ

§ 23. Станины и плиты

Станины машины, воспринимающие большие $P_{ос}$ и $P_{заж}$, должны обеспечивать без заметных деформаций соосное сближение деталей и удобное обслуживание при работе и ремонте. На плитах машин закрепляются зажимы. У машин с прямолинейным ходом (см. рис. 10) неподвижная плита с зажимом изолирована от станины, а подвижная размещена на двух или одной направляющей. Совпадение плоскостей плит достигается их совместной обработкой после сборки или регулированием по высоте клиньями и другими устройствами. Направляющие могут оснащаться роликовыми или шариковыми подшипниками.

В машинах с радиальным ходом подвижная станина (стол) сближается с неподвижной по дуге большого радиуса, близкой к прямой. Смещение станин по вертикали и горизонтали достигается клиньями, смещающими одну из станин относительно оси вращения с изолированными подшипниками.

§ 24. Зажимы

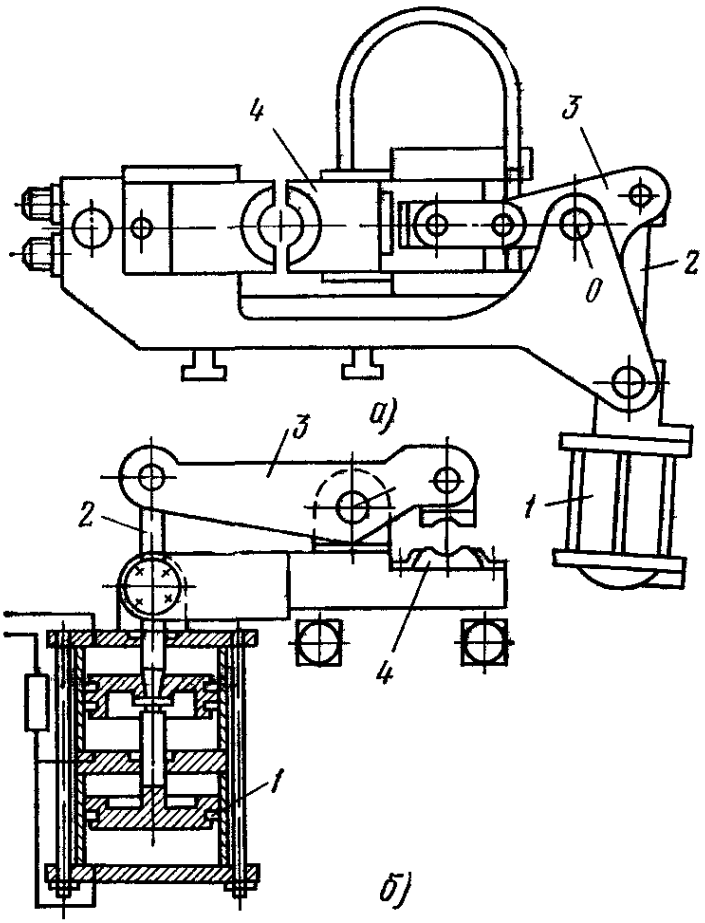


Рис. 67. Быстродействующие пневморычажные зажимы с горизонтальным (*а*) и радиальным (*б*) ходом:

1 — пневмоцилиндр, *2* — шток, *3* — рычаг, *4* — электроды

Зажимы конструируют с учетом формы деталей, подвода к ним тока, требуемой точности и быстроты их установки. Иногда зажимами зачищают грат или зажимают приспособления с предварительно собранными короткими деталями.

В большинстве зажимов верхние электроды перемещаются вертикально и реже горизонтально (рис. 67, *а*) или по дуге, перпендикулярной оси детали (рис. 67, *б*). Совпадение нижних и верхних электродов часто достигается их раздельным в каждом зажиме регулированием по высоте или по ширине клиньями.

Концы деталей относительно зажимов выставляют по убирающимся перед сваркой ножам, штырям, фиксаторам или указательным

стрелкам. Для установки также применяют перемещающиеся под зажим тележки, в которых детали центрируются, закрепляются и обрезаются перед установкой.

Зажимы оснащаются в ряде случаев не только токоподводящими, но и силовыми электродами, выталкивателями, маркировщиками и другими устройствами.

В ряде машин предусмотрен выбор зазоров, совмещение верхних и нижних электродов эксцентриками и др.

Машины малой мощности обычно имеют эксцентриковый, винтовой или пневматический приводы, а средней мощности — пневморычажный или пневмогидравлический.

В пневморычажном зажиме усилие от пневмоцилиндра *1* (см. рис. 67, *б*) через шток *2* и рычаг *3*, вращающийся вокруг оси *O*, передается к электроду *4*. Величина усилия зависит от соотношения плеч рычага и давления воздуха.

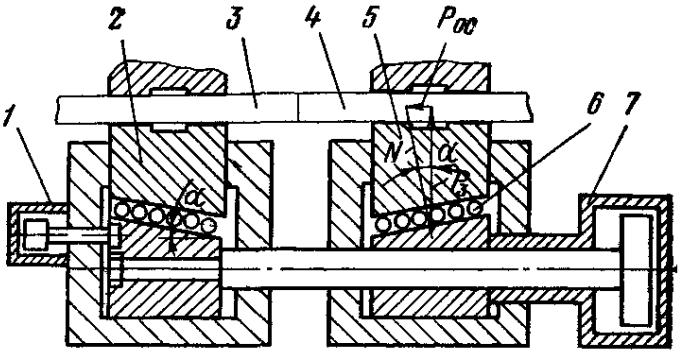


Рис. 68. Зажимы с самозаклиниванием:
1 — цилиндр предварительного зажатия, *2, 5* — башмаки, *3, 4* — деталн, *6* — опора качения, *7* — цилиндр осадки

В зажимах с самозаклиниванием (рис. 68) цилиндр осадки *7* одновременно обеспечивает привод электродов, причем с увеличением P_{oc} пропорционально растет $P_{заж}$ деталей *3* и *4* башмаками *2* и *5*. Опоры качения *6* под углом $\alpha = 10°$ и насечка рабочей поверхности башмаков позволяют надежно закрепить детали при предварительном зажатии цилиндром *1* с усилием 0,10—0,15 P_{oc}.

§ 25. Привод

Привод медленно перемещает электроды с деталями при подогреве и оплавлении и быстро при осадке, а иногда срезает грат и пластически деформирует соединения при термообработке.

Машины для сварки сопротивлением обычно имеют пружинный (см. рис. 34, *б*) или пружинный и пневматический приводы, а для сварки оплавлением — единый электродвигательный пневматический или гидравлический приводы или раздельный электродвигательный при оплавлении и пневматический, пневмогидравлический и гидравлический приводы при осадке.

Пневматический привод применяют для осадки. Еще бóльшую скорость получают при создании давления в обеих полостях пневмоцилиндра и быстром соединении большим отверстием его нерабочей полости с атмосферой.

В гидравлическом приводе $v_{опл}$ изменяют поворотом дросселя *4* (рис. 69, *а*), установленного на сливе, из нерабочей полости *5* цилиндра. Проходное отверстие дросселя открывают через шток *3* упором *2* подвижной станины или копиром. Отклонения в ско-

ростях перемещения из-за изменения вязкости масла уменьшают применением специальных дросселей или стабилизацией температуры масла (обычно индустриальное 20) вследствие его охлаждения в замкнутой системе. При осадке для резкого увеличения скорости включается аккумулятор или подсоединяется клапаном *9* параллельная дросселю сливная труба.

Для оплавления более пригодны системы с обратной связью по перемещению, в которых масло в рабочий цилиндр подается через распределитель *4* (рис. 69, *б*), управляемый кулачком *8* через рычаг *7*, связанный с подвижной станиной *1* и штоком золотника *3* или винтом редуктора *6* (рис. 69, *в*) неподвижной станины.

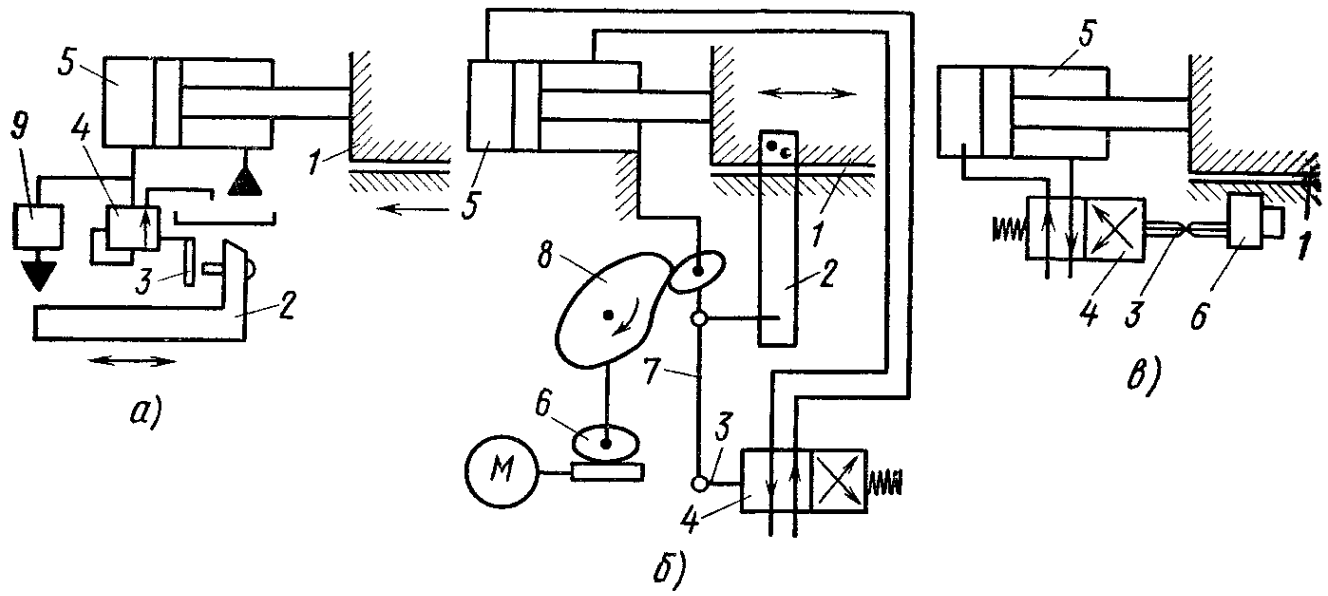


Рис. 69. Схемы регулирования скорости оплавления при дросселировании на сливе (*а*) и при обратной связи золотника с подвижной плитой (*б, в*):

1 — подвижная плита (станина), *2* — упор подвижный, *3* — шток золотника, *4* — дроссель или золотник, *5* — рабочий цилиндр, *6* — редуктор, *7* — рычаг золотника, *8* — кулачок, *9* — клапан осадки

Открываемые приводом отверстия золотника при наличии обратной связи закрываются при последующем перемещении станины, если нет дальнейшего смещения золотника. Постепенное увеличение отверстий обеспечивает требуемую $v_{опл}$.

Распределитель также может управляться шаговым двигателем при изменении его частоты программатором, обеспечивающим требуемый график $v_{опл}$. Источником энергии в гидросистеме служит насосно-аккумуляторная станция. Большие усилия без насосов высокого давления создаются поршиевыми мультипликаторами.

Автоматическая насосно-аккумуляторная станция с насосом *1* (рис. 70, *а*) и предохранительным клапаном *2* для разгрузки насоса имеет золотниковый распределитель *3*, обратные клапаны *4* и *12*, аккумулятор *7* с разделителем *6*, мультипликатор *9*, распределитель *8* и другую аппаратуру.

В приводе (рис. 70, *б*) используют возвратный и рабочий плунжерные гидроцилиндры разного диаметра. Первый находится под постоянным давлением, а второй под давлением, сдросселированным следя-

щим золотником или под высоким давлением мультипликатора при осадке. При возврате гидроцилиндр соединен со сливом.

Масло при оплавлении поступает в цилиндр *13* из аккумулятора через следящий распределитель *19* и обратный управляющий клапан *15*, а при осадке — из мультипликатора через распределитель *20*. Из цилиндра возврата *14* масло вытесняется в аккумулятор через распре-

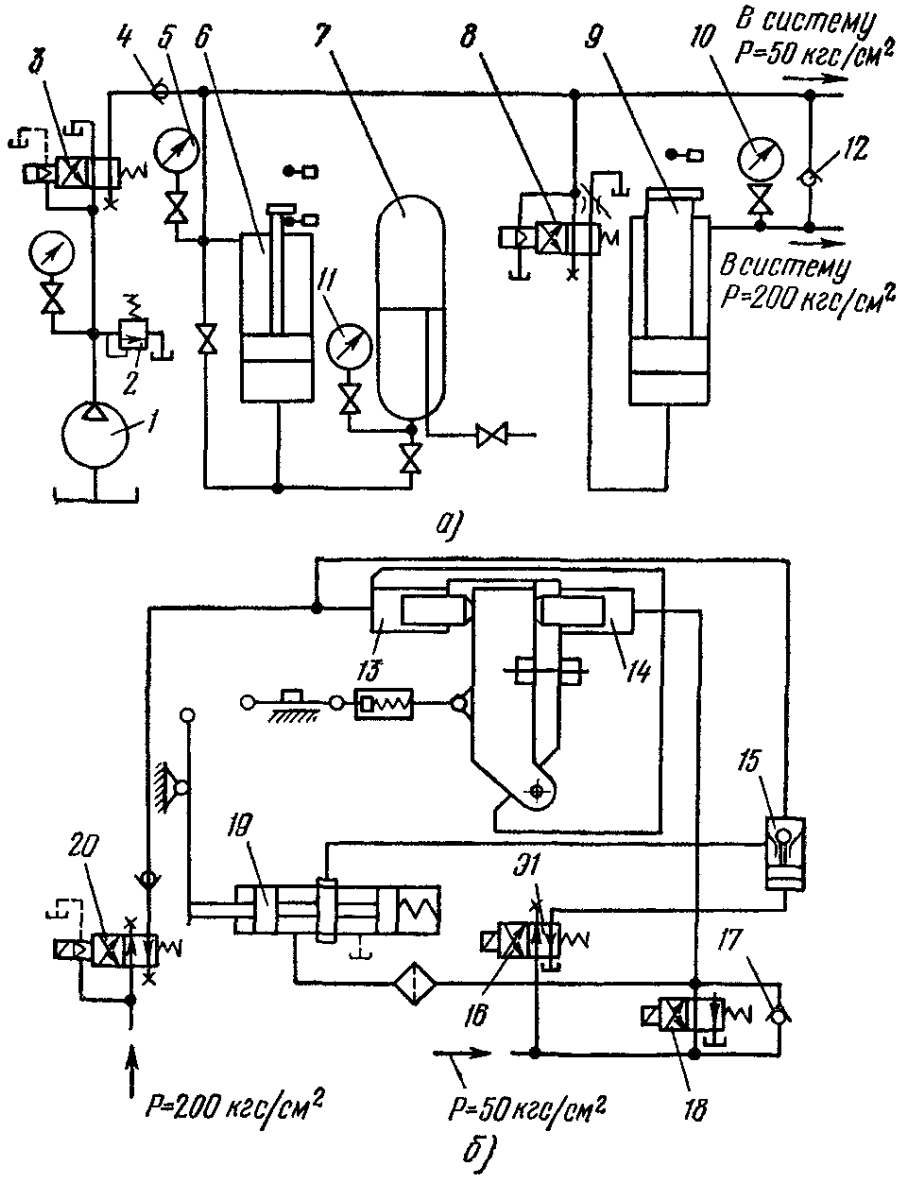


Рис. 70. Гидравлическая схема насосно-аккумуляториой стаиции (*а*), питающей следящий привод (*б*):

1 — насос, *2* — предохранителыный клапан, *3, 8, 16, 18, 20* — распределнтели, *4, 12, 17* — обратные клапаиы, *5, 10, 11* — маиометры, *6* — разделнтель, *7* — аккумулятор, *9* — мультнпликатор, *13, 14* — цилиндры, *15* — обратный управляющий клапаи, *19* — следящий распределитель

делитель *18* и обратный клапан *17*. Станина возвращается в исходное положение цилиндром *14*, находящимся под постоянным давлением аккумулятора. При обратном ходе масло вытесняется из цилиндра *13* на слив через принудительно открываемый клапан *15*, распределитель *16*, включаемый электромагнитом *Э1*, и следящий распределитель *19*. Распределитель *18* соединяет цилиндр *14* со сливом, обеспечивая натяжение полосы при зачистке.

Электрическую схему машины подразделяют на силовые цепи и цепи управления. К силовым цепям (рис. 71) относят цепь питания с контактором *КЛ* или другим включателем — переключатель ступеней *ПС*, один или несколько сварочных трансформаторов *ТС* или других преобразователей тока и сварочный контур *КС*. Механические и игнитронные контакторы заменяют более надежными и экономичными тиристорными контакторами или прерывателями.

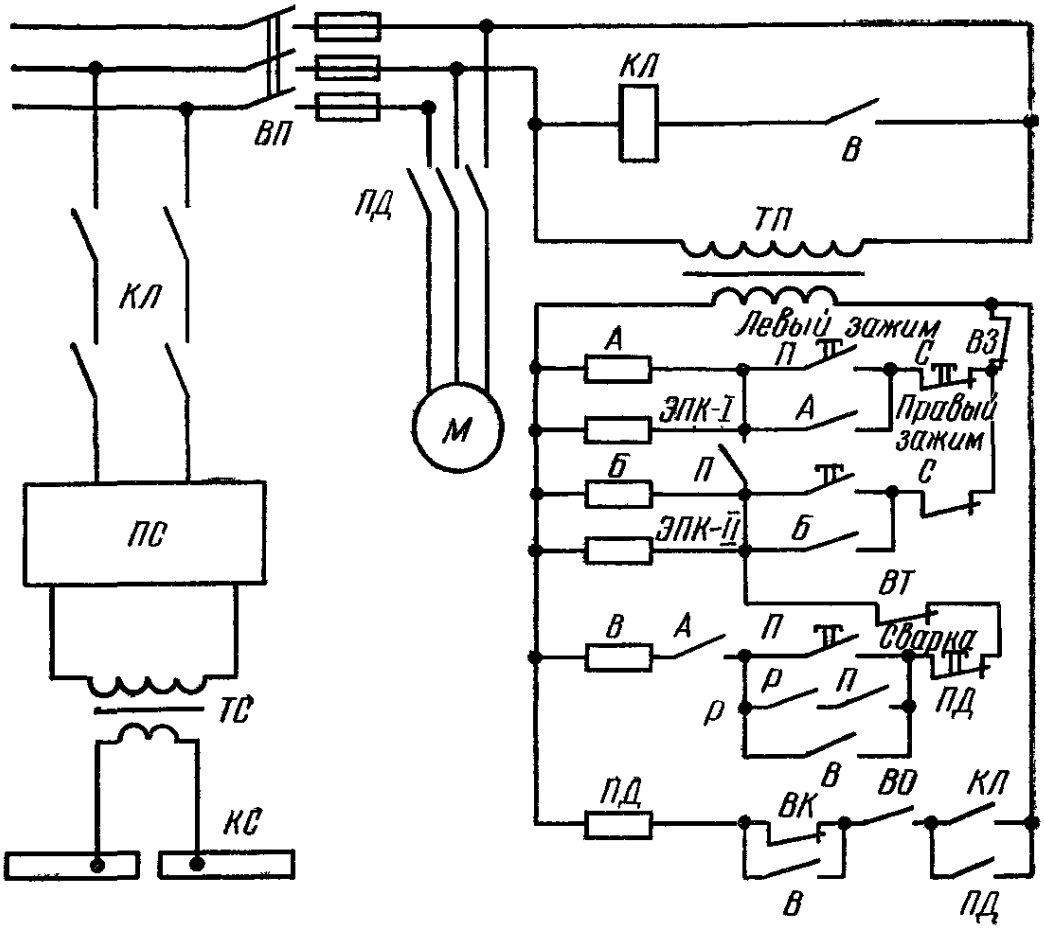


Рис. 71. Электрическая схема машины МСМУ-150

Каждая машина в зависимости от назначения имеет свой минимальный сварочный контур с 6—10 переходными контактами и гибкую перемычку *А* на участке присоединения к подвижному зажиму (рис. 72, *а*, *б*). Цепи управления для безопасности включены на напряжение до 36 В.

В большинстве машин задается жесткий график сближения. Отключение конечным выключателем в определенный момент оплавления из-за нестабильности срабатывания пневмо- или гидроаппаратуры, а также механических устройств не обеспечивает желаемой точности. Поэтому ток отключают при надежном контакте деталей, используя встречные сигналы от повышающегося тока и снижающегося напряжения, или резкое независимо от свариваемого сечения изменение частоты их пульсаций. При раздельном приводе оплавления и осадки

целесообразна установка конечного выключателя на участке выбора зазора, образовавшегося при оплавлении между станиной и штоком привода осадки. Переход к осадке задается припуском на оплавление по градиенту температур в околостыковой зоне или по ширине зоны немагнитного нагретого металла.

Цепи управления большинства современных машин достаточно сложны. В простейшей схеме (см. рис. 71) детали зажимаются после включения реле *А* и *Б*, которые замыкают цепи электропневматических клапанов ЭПК-I и ЭПК-II, управляющих цилиндрами зажатия. Разжатие возможно при выключении кнопки *С*, разрывающей цепи реле *А* и *Б*. Оплавление начинается от кнопки «сварка» после сра-

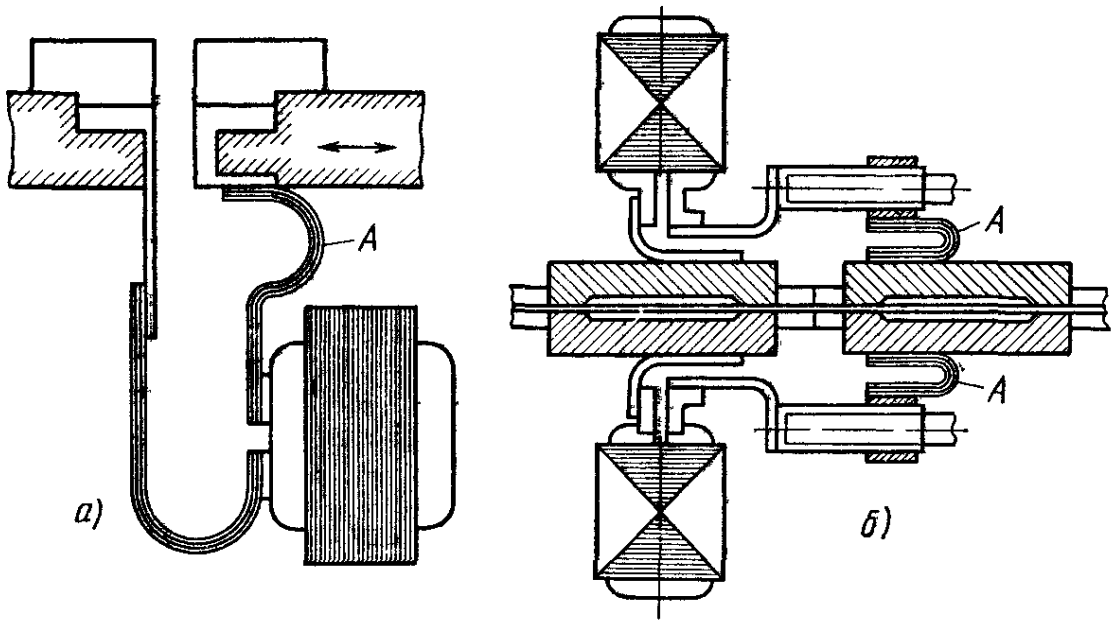


Рис 72 Сварочный контур машины МСМУ-150 (*а*) и К-255Л (*б*)

батывания реле *В*, которое включает контактор *КЛ* и цепь пускателя *ПД* электродвигателя *М*. После оплавления на заданную величину выключатель *ВТ* отключает реле *В*, а затем контактор *КЛ* и машина обесточивается. Конечные выключатели *ВЗ* и *ВК* отключают кнопки зажимов и двигатель. Подогрев задается принудительно механической или электрической системой или по программе энергии и другим энергетическим характеристикам (см. рис. 56).

В машинах для сварки сопротивлением процесс также регулируют по укорочению деталей или по температуре нагрева.

В схемах современных машин иногда предусмотрена стабилизация оплавления по одному или нескольким параметрам.

Основные узлы схем, характеристики и назначение цепей управления («левый зажим», «правый зажим», «сварка»), а также их описание обычно даются в паспорте на машину; там же указываются основные неисправности электрических устройств и способы их устранения.

В современных машинах используют бесконтактные элементы управления типа «Логика Т» или интегральные схемы. Принципиальная схема работы машины от этого не меняется.

Машины для сварки сопротивлением мощностью 0,8—12 кВ·А широко применяются для соединения проволоки.

Машина стыковая МС-403 мощностью $W = 7{,}2$ кВ·А (ПВ = 1,2%) и током $I_{2н} = 4$ кА предназначена для сварки сопротивлением и термообработки проволоки ∅ 0,5—6 мм из углеродистых и легированных сталей, из меди ∅ 0,4—4,5 мм и алюминия ∅ 0,5—4,5 мм.

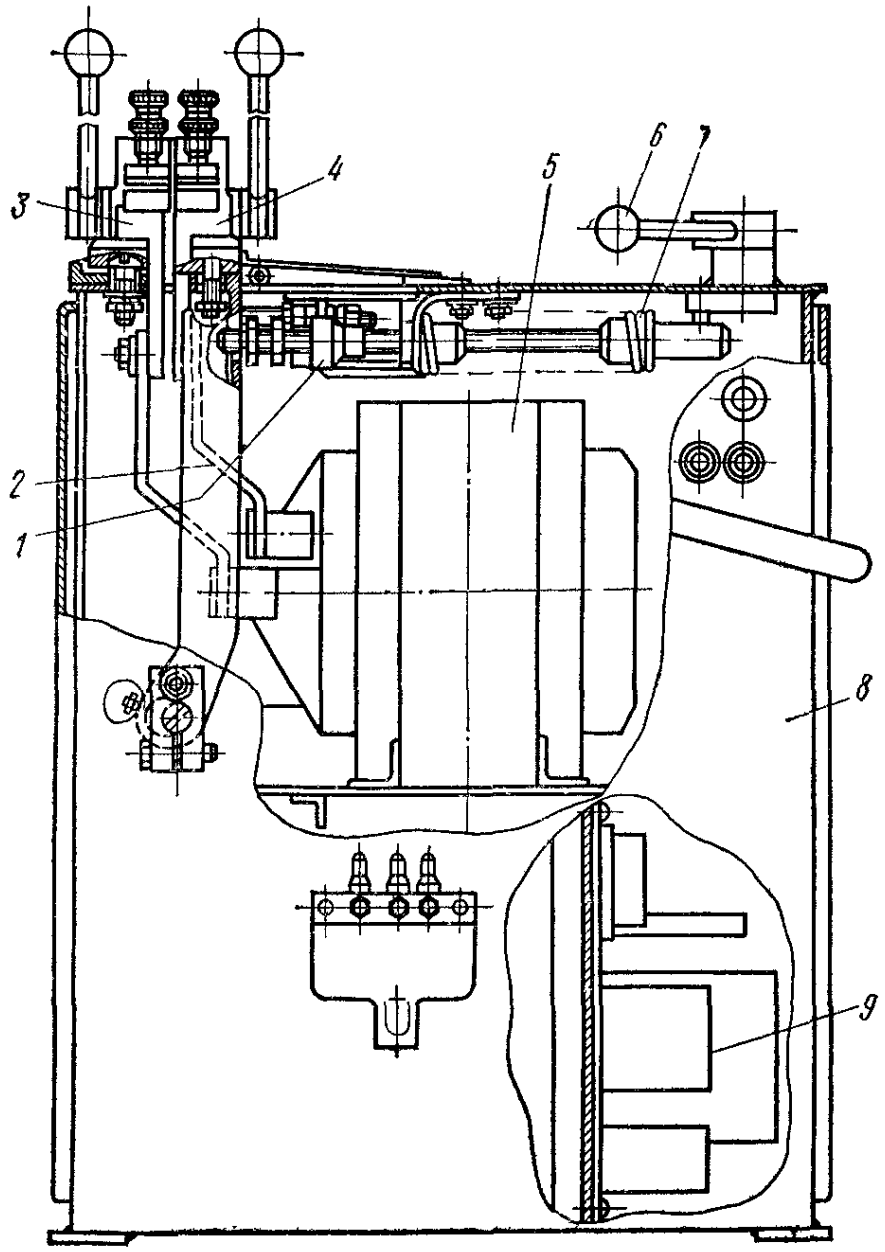


Рис. 73. Сварочная машина МС-301

Машина МС-301 (рис. 73) мощностью $W = 5$ кВ·А (ПВ = 12,5%), током $I_{2н} = 3{,}2$ кА рассчитана на сварку деталей сечением 500 мм². Машина имеет корпус *8*, на верхней плите которого закреплен неподвижный зажим *3*. Подвижный зажим *4* установлен на качающемся рычаге *2*, эксцентриковая ось которого закреплена в отверстиях на передней и задней стенках корпуса. Зажимы — ручные, с радиальным ходом. В корпусе установлены трансформатор *5* с переключателем ступеней, блок управления *9* с электромагнитным контактором и система

охлаждения. Спереди на корпусе размещена сигнальная лампочка, кнопка «стоп» и отрезное устройство. Расстояния между зажимами регулируют винтом *1*, через который передается усилие осадки $P_{ос}$, создаваемое пружиной *7*. Полное усилие осадки создается поворотом до упора рычага *6* с кривошипом. На рычаге *6* установлена пусковая кнопка для включения сварки. Команда на выключение сварочного тока подается конечным выключателем, установленным на внутренней поверхности верхней плиты.

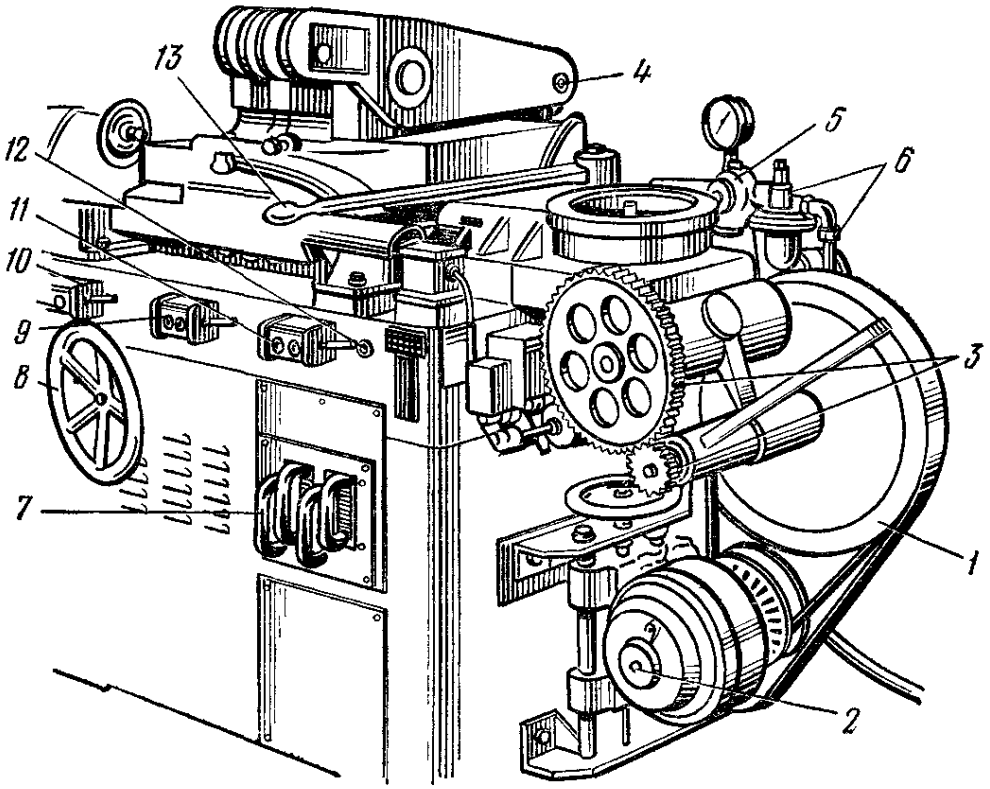


Рис. 74. Машина МСМУ-150:

1 — клинотекстропная передача, *2* — двигатель, *3* — сменные зубчатые колеса, *4* — подвижный зажим, *5* — редуктор с манометром, *6* — лубрикатор, *7* — переключатель ступеней, *8* — маховик, *9*, *10*, *11* — кнопки, *12* — тумблер двигателя, *13* — рычаг

Машина МС-502 мощностью $W = 12{,}2$ кВ·А (ПВ = 8%) и током $I_н = 5$ кА предназначена для сварки сопротивлением и термообработки проволоки из углеродистых и легированных сталей ∅ 3—10 мм и 3—9 мм, а также из алюминия ∅ 4—9 мм.

Машина МС-1202 мощностью $W = 55$ кВ·А (ПВ = 20%) и током $I_{2н} = 12{,}5$ кА предназначена для сварки непрерывным оплавлением деталей из низкоуглеродистой стали сечением до 600 мм² и оплавлением с подогревом до 900 мм².

Машина МСМУ-150 (рис. 74) предназначена для сварки деталей из низкоуглеродистой стали сечением до 1000 мм² — непрерывным оплавлением и до 2000 мм² — оплавлением с подогревом, осуществляемым вручную с помощью рычага *13*.

Электромеханический привод (см. рис. 36), пневматические зажимы (см. рис. 67, *б*) и электрическая схема машины (см. рис. 71) рассмотрены ранее. Воздух к зажимам поступает из сети через редуктор *5* с

манометром, лубрикатор *6* и электромагнитные клапаны. Скорость сближения регулируется стальным кулачком, сменными зубчатыми колесами *3* и клинотекстропной передачей *1*.

На передней стенке машины размещены переключатель ступеней *7*, маховик *8* регулирования неподвижного зажима по высоте, кнопки *9* и *10* управления подвижным и неподвижным зажимами, кнопка сварки *11* и тумблер *12* включения двигателя. Машина обеспечивает небольшие скорости осадки (до 30—40 мм/с).

Машина МСО-302У4 (рис. 75) мощностью $W = 30$ кВ·А и током $I_н = 12{,}5$ кА предназначена для сварки стальных полос толщиной 0,4—1,5 мм и алюминиевых полос толщиной 0,9—1,5 мм при их ширине 30—110 мм с зачисткой. Машина развивает $P_c = 3200$ кгс и $P_{заж} = 5000$ кгс. Регулируемая $v_{ос}$ достигает 250 мм/с. Наибольшая $t_c = 5$ с, U_{20} при 16 ступенях изменяется от 2,2 до 4,4 В. Максимальная $l_1 + l_2 = 30$ мм, $\Delta_н$ регулируется от 0 до 15 мм. Гратосниматель *6* с гидроприводом развивает усилие резания 1250 кгс и усилие зажатия 2000 кгс; ход резцов 165 мм.

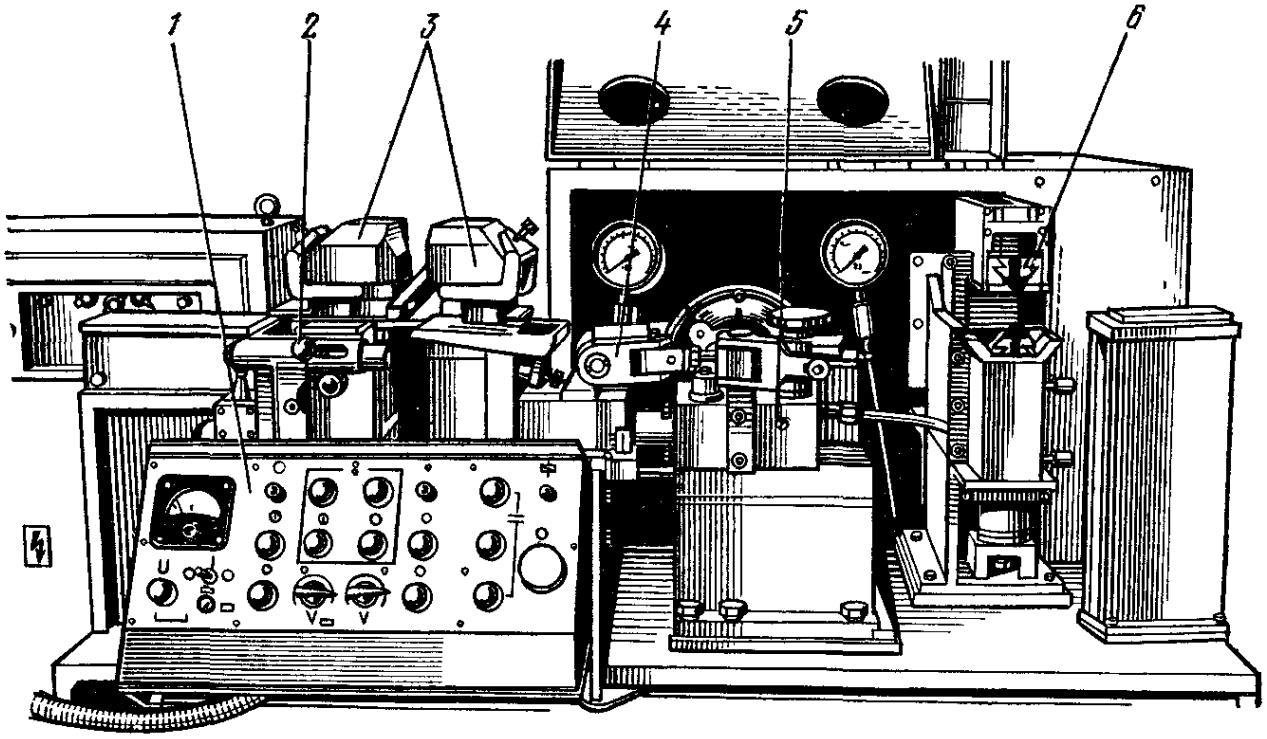


Рис. 75. Машина МСО-302У4:

1 — пульт управления, *2* — установочный нож, *3* — зажимы, *4* — рычажная система, *5* — цилиндр осадки, *6* — гратосниматель

Шарнирное соединение станин обеспечивает выбор зазоров в подшипниках и настройку взаимного положения базовых электродов по высоте и параллельность в плане.

Полосы устанавливают вручную по убираемому ножу *2*.

Станины при оплавлении сближаются рычажной системой *4* от кулачка, вращающегося редуктором от электродвигателя постоянного тока с тиристорным управлением, а при осадке — от гидроцилиндра. Золотник осадки управляется от шайбы, связанной с осью редуктора.

Зажимы *3* с верхним электродом на сферической шайбе закреплены и перемещаются вертикально в направляющих. Управление осуществляется с пульта, расположенного спереди машины.

Быстрый переход от оплавления к осадке обеспечен заполнением обеих полостей гидроцилиндра осадки разного диаметра маслом. Сварочный трансформатор *ТС* (рис. 76) включается тиристорным прерывателем при подаче сигнала с блока регулирования. Напряжение регулируется переключателями П1—П4. В шкафу управления ШУ-281 установлены блоки управления, тиристорный привод, реле и аппаратура управления сварочным циклом, а в шкафу ШУ-282 — сетевой автомат, блок регулирования и тиристорный контактор. Блок регулирования имеет блоки включения тиристоров, блок синхронизации, фазовращателя, включения $t_{ос.т}$, генератор, двоично-десятичный счетчик, узел включения $I_с$, блок счета осадки под током, операций раскрытия зажима и дешифратор. Осадка под током регулируется от 0,5 до 20 периодов через 0,5 периода, осадка без тока от 1 до 50 периодов или от 2 до 10 периодов, длительность раскрытия зажимов в тех же пределах. Блок допускает осуществление цикла без включения тиристоров.

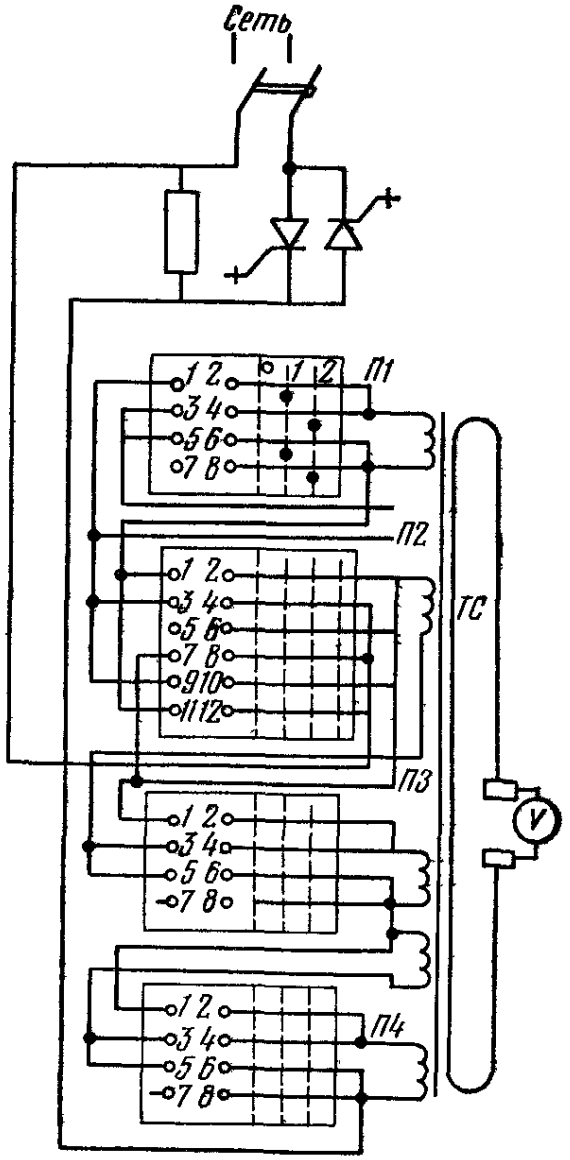


Рис. 76. Силовая электрическая часть машины МСО-302У4

Создана серия специализированных машин типа Л-300, Л-500 (МСО-3201-У4), Л-1200, Л-1700 (КСО-60 и КСО-80), Л-2500 для сварки полос. В таких машинах со встроенными ножницами *5* (рис. 77) единым центрователем *4* концов полос и тележками *3* и *8* концы полос, обрезанные ножницами, перемещаются на электроды *9* и *10*. Для повышения точности установки полос верхний суппорт *11* ножниц снабжен прижимной рамкой *12*, охватывающей нож *15* и останавливающейся при упоре поршня *7* в дополнительный поршень *6*, а лапки центрователя расположены вблизи плоскости реза ножниц. При зазоре 1—2 мм между рамкой *12* и ножом *16* нижнего суппорта *17* устраняется винтовая деформация и полоса центрируется штоками *18* и *14* двух гидроцилиндров *20* и *13* точно по ширине. Гидроцилиндр *20* предварительно устанавливается на заданную ширину винтом *19* и развивает большее усилие чем гидроцилиндр *13*, шток которого поджимает полосу к дошедшему до упора в свою крышку штоку гидроцилиндра *20*.

При резании рамка *12* пружинами *21* прижимает полосу к ножу *16*. Сцентрированные концы полос зажимаются шарнирно закрепленным на штоке гидроцилиндра *1* верхним прижимом *2*. Зажимы расположены на стеллажах, которые перемещаются плоскопоступательно на рычагах *26* гидроцилиндрами *24* и имеют регулирующие их ход упоры *22*. Параллельность хода столов обеспечивается надлежащим

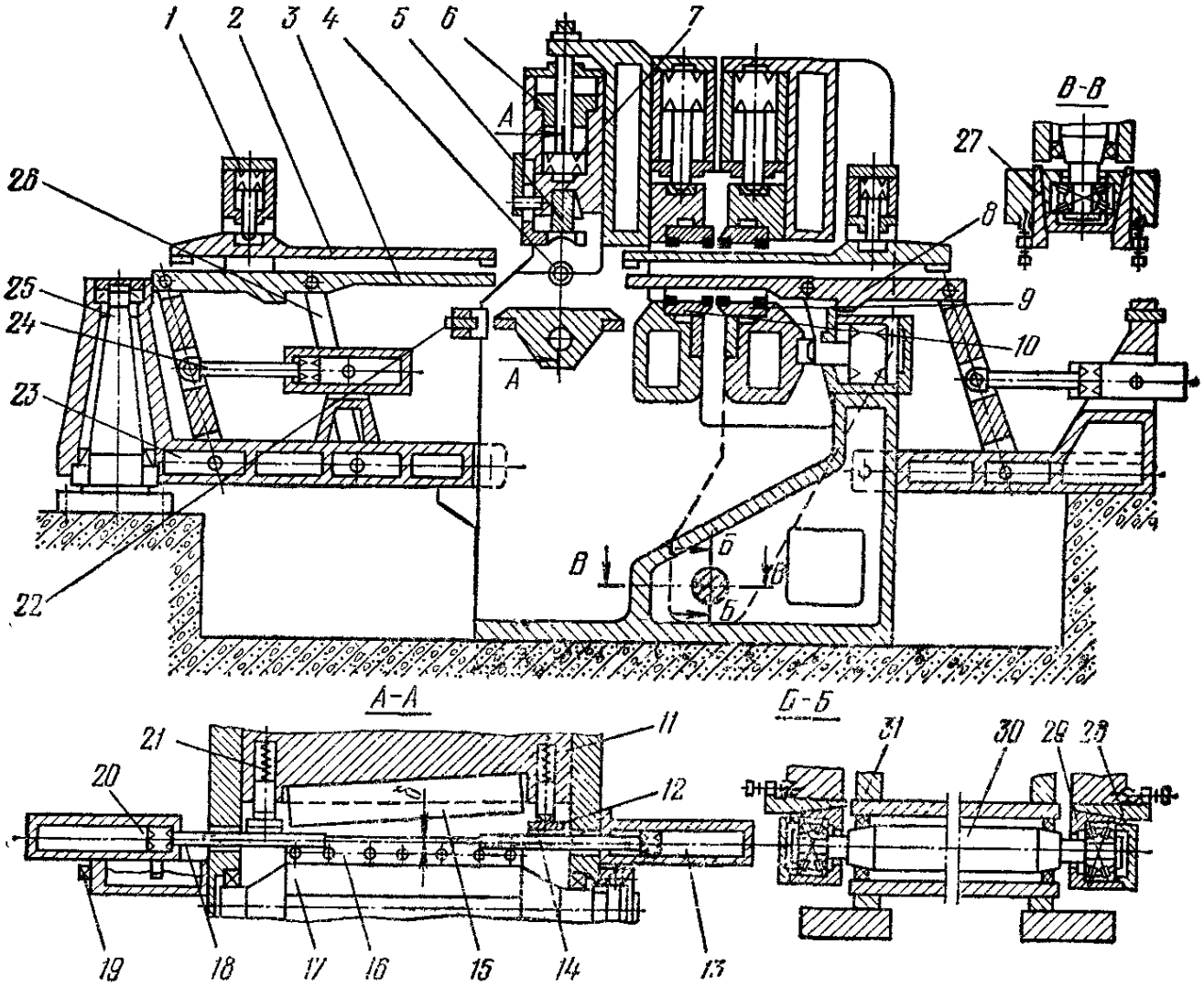


Рис. 77. Машина для сварки полос Л-1700:

1 — гидроцилиндр прижима, *2* — верхний прижим, *3, 8* — тележки, *4* — центрователь, *5* — ножницы, *6* — дополнительный поршень, *7* — поршень, *9, 10* — электроды, *11* — верхний суппорт, *12* — рамка, *13, 20* — гидроцилиндры, *14, 18* — штоки центрователя, *15, 16* — ножи, *17* — нижний суппорт, *19* — винт, *21* — пружина, *22* — упор, *23* — опора тележек, *24* — гидроцилиндр тележки, *25* — колонка, *26* — рычаг, *27, 28* — клинья, *29* — подушка, *30* — ось, *31* — текстолитовая втулка

поворотом рамы вокруг колонки *25*. Нижний суппорт с двумя ножами поворачивается на 180° С, а с одним ножом на 90°.

Для точной установки полос при смене электродов по высоте с обоих концов станин использованы клиновые устройства. Ось *30* закреплена в расточках неподвижной станины изоляционными текстолитовыми втулками *31*, защищенными от грязи кольцами. Сферические подшипники концов оси установлены в подушках *29* прямоугольного сечения, на которые опираются П-образные концы подвижной станины через клинья *27* и *28*. Первые устанавливают нижние электроды по вертикали, а вторые обеспечивают их параллельность в плане. Кром-

ка верхнего электрода совмещается с рабочей кромкой нижнего с помощью эксцентриковых втулок ползуна. Машины имеют: механизм управления, насосно-аккумуляторную станцию (см. рис. 70) и станции гидроуправления с притычной аппаратурой, электросхемы с логическими элементами, тиристорами и бесконтактными конечными выключателями, систему для обдува электродов перед зажатием полос, механизмы для уборки обрезков и грата, устройства для создания петли и другие вспомогательные механизмы, а также встроенные гратосниматели (см. рис. 63) с двумя резцами, жестко установленными на заданную толщину полосы (Л-300, Л-400, Л-500) или базирующимися при зачистке на поверхность полосы (Л-800, Л-1700) и не требующих

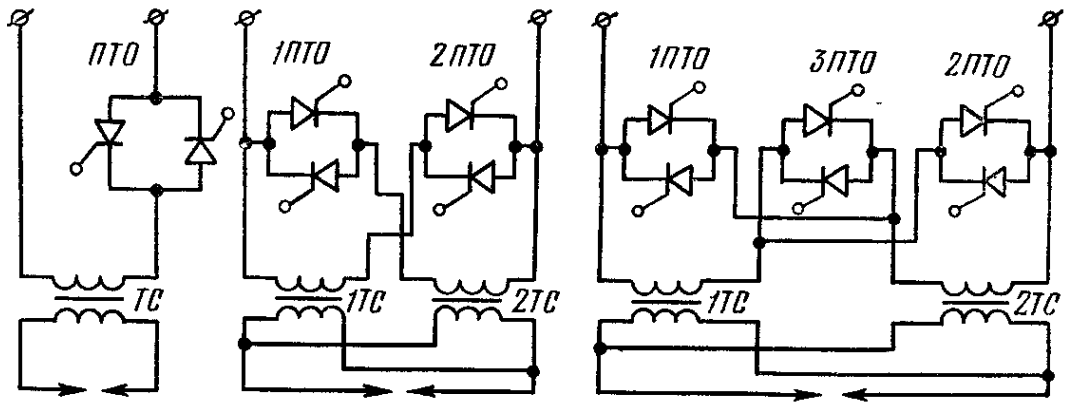


Рис. 78. Принципиальные схемы стыковых машин с тиристорными контакторами

перестроек. В машинах средней мощности трансформатор размещается сбоку машины. Машины с $W > 800$ кВ·А имеют индивидуальное питание от трансформаторов типа ЭОМН-2000/10 и ЭОЦН-8200/10 при регулировании напряжения со стороны 10 кВ. Сварочные трансформаторы имеют постоянный коэффициент трансформации.

Обычно для полос шириной 1000 мм используют 2; 1500 мм — 3 или 4 и для полос шириной 2500 мм — 4 трансформатора. Раньше трансформаторы размещались под электродами, а в последних машинах — они вынесены наверх. Это улучшило условия эксплуатации, упростило конструкцию, но ухудшило прогрев полос.

В мощных машинах вместо электромеханических и игнитронных контакторов используются тиристорные серийного исполнения на номинальный ток 3500 А. Прерыватель может иметь также два и три силовых блока на номинальное напряжение 380 В (рис. 78) и блок управления, в схеме которого для термообработки предусмотрено регулирование угла открытия тиристоров в диапазоне от 60 до 180 электрических градусов. Тиристоры существенно повышают надежность машин и облегчают их обслуживание.

Аппаратуру управления, построенную на базе логических элементов серии «Логика Т», с использованием установленных на машине конечных выключателей БВК-24Н, монтируют в отдельных шкафах

(рис. 79) с запасными кассетами и индикаторами неисправностей и настройки.

Реле времени, используемое для регулирования длительности осадки, представляет двухдекадный десятичный счетчик с устройством ввода и выдачи команд, в который входят формователь импульсов, схема управления счетчиком, счетные декады, выход команды и узел сброса. Счетчики имеют два переключателя *1П* и *2П* (рис. 80), с помощью которых задается длительность осадки под током и два блока ее индикации *1БИ* и *2БИ*. Максимальная выдержка равна 1 с, а дискретность 0,01 с. При работе реле времени импульсы на их формирователь *26-1*, выполненный на элементе *Т-202*, подаются от сети переменного тока (50 Гц, 12 В) через двухполупериодный выпрямитель *1В*. При включении конечного выключателя осадки (*ВК*) срабатывает память *26-3*, которая через инвентор *26-2/2* и запрет *26-4/1* открывает вход импульсов в счетные декады. После отсчета заданного числа импульсов включается память *26-5*, которая рассчитана на отключение трансформатора. Сброс триггеров счетных декад и установка реле в исходное положение происходят через элемент времени *26-7* и усилитель *26-6* при отключении конечного выключателя, контролирующего возврат задней тележки в исходное положение. В мощных машинах типа Л-1700 реле имеет четыре декады для отсчета длительностей, термообработки и охлаждения полосы.

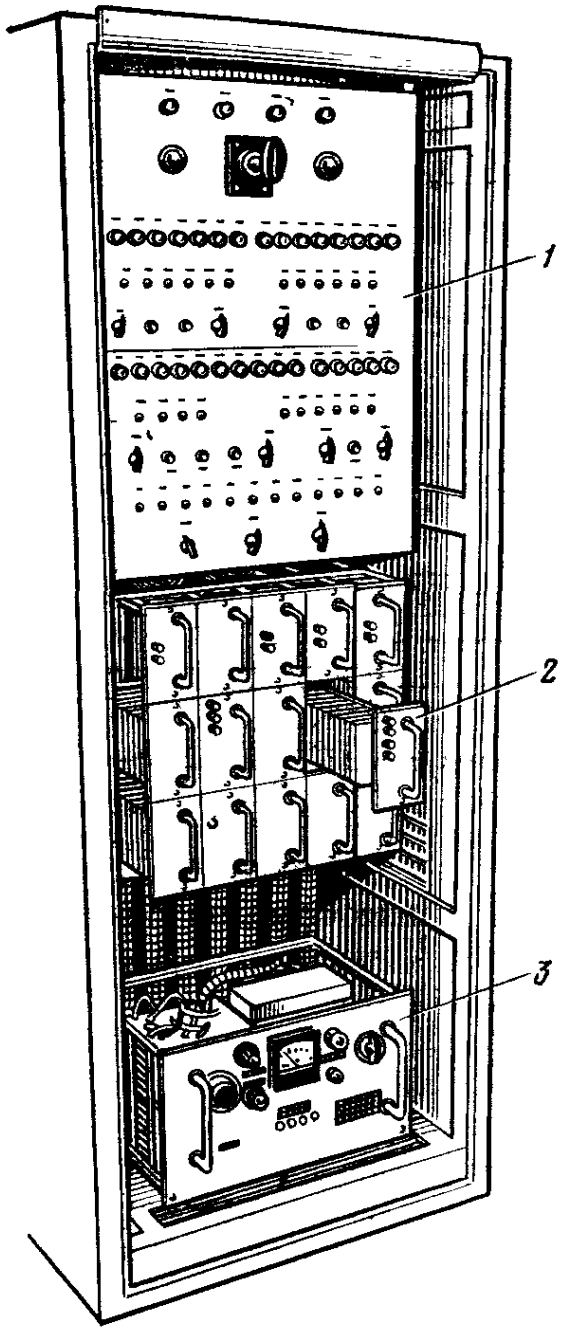


Рис. 79. Шкаф управления:
1 — панель индикации, *2* — кассеты с логическими элементами, *3* — блок питания

Машина К-617 (рис. 81) мощностью $W = 160$ кВ·А (ПВ = 20%) и током $I_{2н} = 20$ кА предназначена для сварки импульсным оплавлением кольцевых и прямолинейных деталей из низкоуглеродистой стали сечения до 4000 мм², жаропрочных сплавов до 12 000 мм² и алюминиевомагниевых сплавов до 1000 мм². Максимальные $P_с = 16\,000$ кгс, $P_{заж} = 32\,000$ кгс, U_{20} регулируется от 4,05 до 8,1 В. Привод зажатия и осадки гидравлический. Подвижная станина *4* колеблется гидравлическим вибратором относительно неподвижной станины *1* на оси *7*, ус-

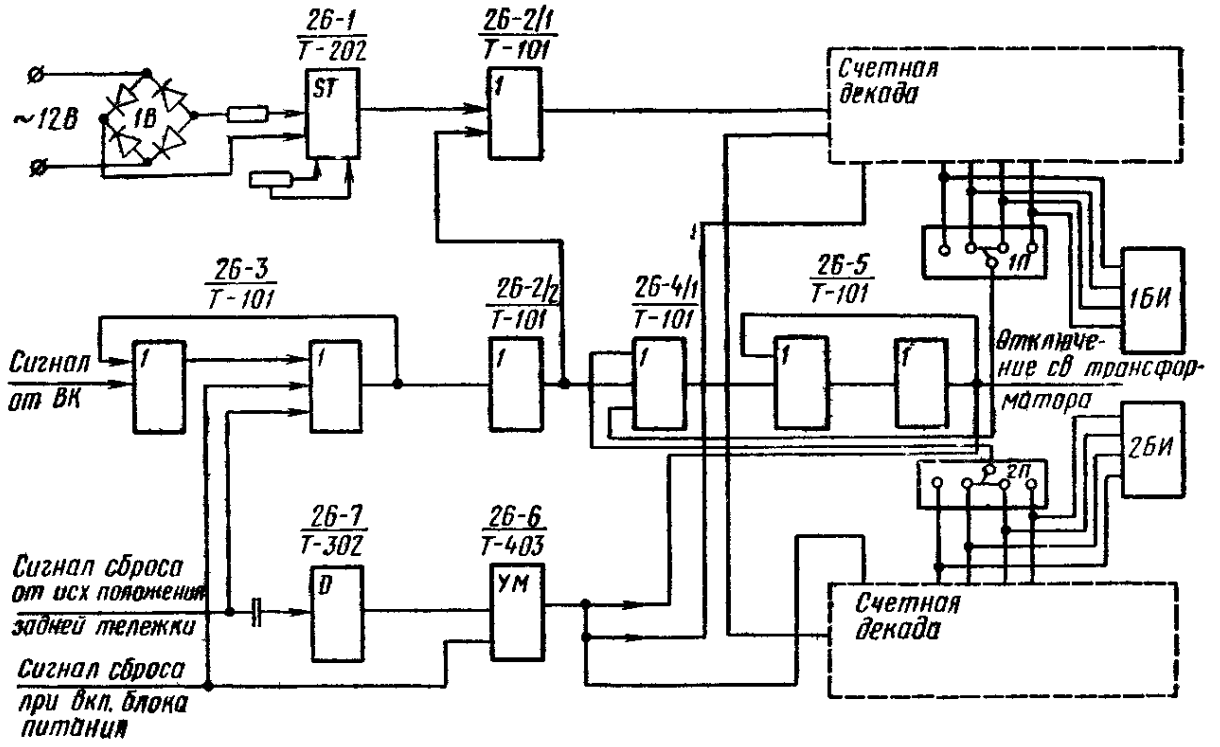


Рис. 80 Схема реле времени на логических элементах

тановленной в подшипниках качения. Силовой шток *6*, передающий усилие осадки, связан гибким элементом *5* с подвижной станиной. Зазор *С* соответствует амплитуде колебаний, изменяемой от 0,2 до 1,2 мм. Элементы силового гидроцилиндра и направляющий шток не колеблются. При осадке фланец штока упирается в подвижную станину, перемещаясь вместе с ней. Детали зажимаются рычажными механизмами *3* с приводом от качающихся гидроцилиндров *2*. Детали центрируются в зажатом состоянии эксцентриковым механизмом с двигателем мощностью 0,4 кВт.

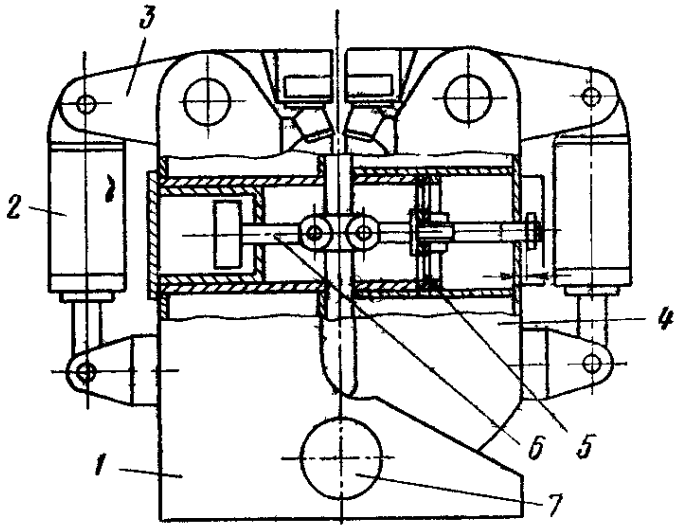


Рис 81 Машина К-617 для сварки импульсным оплавлением

§ 28. Специализированные машины

Машина К-393 (рис. 82) мощностью $W = 170$ кВ·А (ПВ = 20%), усилием осадки $P_c = 200$ тс сваривает бандажи $\varnothing > 1200$ мм и имеет специальный бандаж *3*, облицованный в зоне стыка медными пластинами и охватывающий свариваемое кольцо *4* по всему периметру. Токоподвод осуществляется прижатием концов бандажа рычагами *5* ползунов *6* к медным вкладышам, подключенным к выводам вторичной обмотки трансформаторов *2*. Бандаж позволяет сваривать чистовые про-

фили с высокой геометрической точностью (по периметру и овальности 0,5—1 мм). Такие машины целесообразны для однотипных деталей, так как при изменении размеров изделия требуется смена бандажа.

Машины К-617, К-607 и К-566 более универсальные, с эксцентриковыми механизмами совмещения торцов после зажатия заготовок. На них также возможна сварка прямолинейных деталей. Рычажные зажимы снабжены самоустанавливающимися вкладышами (см. рис. 66, *г*).

Машины К-607 и К-566 имеют механизмы зажатия прямого действия со встроенными мультипликаторами.

Машина К-117-У4 мощностью $W = 150$ кВ·А и током $I_{2н} = 20$ кА предназначена для сварки импульсным оплавлением колец и короткомерных деталей из низкоуглеродистой стали сечением до 4000 мм², аустенитной до 1500 мм² и жаропрочной до 1200 мм². Усилие осадки $P_{ос}$ достигает 16 000 кгс, а $P_{заж}$ 32 000 кгс.

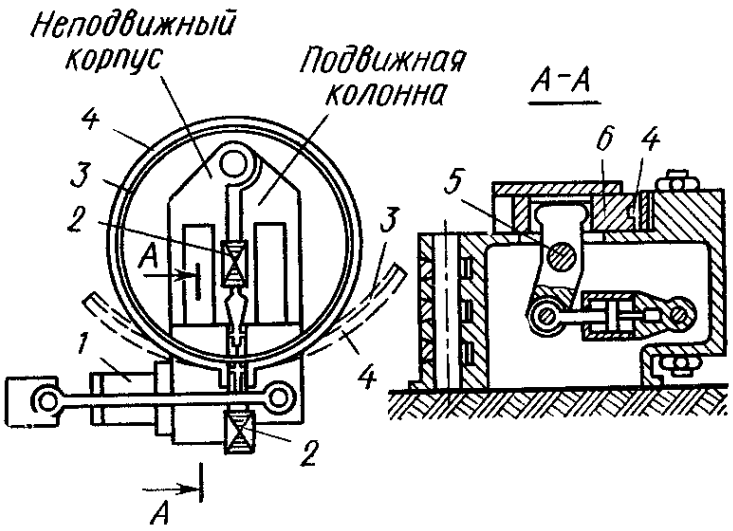


Рис. 82. Машина К-393

Машина К-607 мощностью $W = 350$ кВ·А (ПВ = 50%), током $I_{2н} = 25$ кА, усилием осадки $P_{ос} = 63\,000$ кгс (при форсировке до 100 000 кгс) и усилие зажатия $P_{заж} = 160\,000$ кгс (200 000 кгс) предназначена для сварки импульсным оплавлением колец из специальных сталей диаметром от 380 до 2000 мм, а также короткомерных прямых деталей сечением до 4000 мм² или деталей из низкоуглеродистой стали сечением 15 000 мм².

Специализированная самоходная рельсовая машина ПРСМ-3 предназначена для сварки рельсов сечением до 10 000 мм² в полевых условиях.

Сборочно-сварочный комплекс К-579 мощностью $W = 1500$ кВ·А и током $I_{2н} = 125$ кА предназначен для сварки картеров блоков 8—20-цилиндровых дизелей из унифицированных литых стоек площадью 50 000 мм² непрерывным оплавлением с программированием напряжения.

Машина К-566М мощностью $W = 450$ кВ·А (ПВ = 32%), током $I_{2н} = 40$ кА, $P_{с} = 160\,000$ кгс, $P_{заж} = 320\,000$ кгс, $v_{ос}$ до 300 мм/с предназначена для сварки импульсным оплавлением колец из алюминиевых, магниевых и титановых сплавов, жаропрочных и нержавеющих сталей диаметром от 550 до 4000 мм включительно.

Машина МСО-501-У4 мощностью $W = 160$ кВ·А и током $I_{2н} = 20$ кА предназначена для сварки непрерывным оплавнением и оплавлением с подогревом труб из перлитных и аустенитных сталей сечением до 900 мм². В машине использован электрический привод подачи при оплавлении и пневматический при осадке. Скорость регули-

руется изменением профиля кулачка и частоты вращения двигателя постоянного тока. Машина снабжена пневматическими зажимами с вертикальным разъемом. Скорость осадки превышает 80 мм/с. При подогреве плита перемещается возвратно-поступательно механизмом осадки и цилиндрами возврата.

Контрольные вопросы

1. Расскажите о конструктивных особенностях машин для стыковой сварки.
2. Чем отличаются машины для сварки непрерывным оплавлением без программирования от машин с программированием напряжения и машин с импульсным оплавлением?

ГЛАВА VI

ТЕХНОЛОГИЯ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ

Точечной сваркой обычно соединяют листовые конструкции (рис. 83) из однородных и разнородных черных и цветных металлов одинаковой и разной толщины или листы с катаными, прессованными, коваными и обработанными резанием деталями.

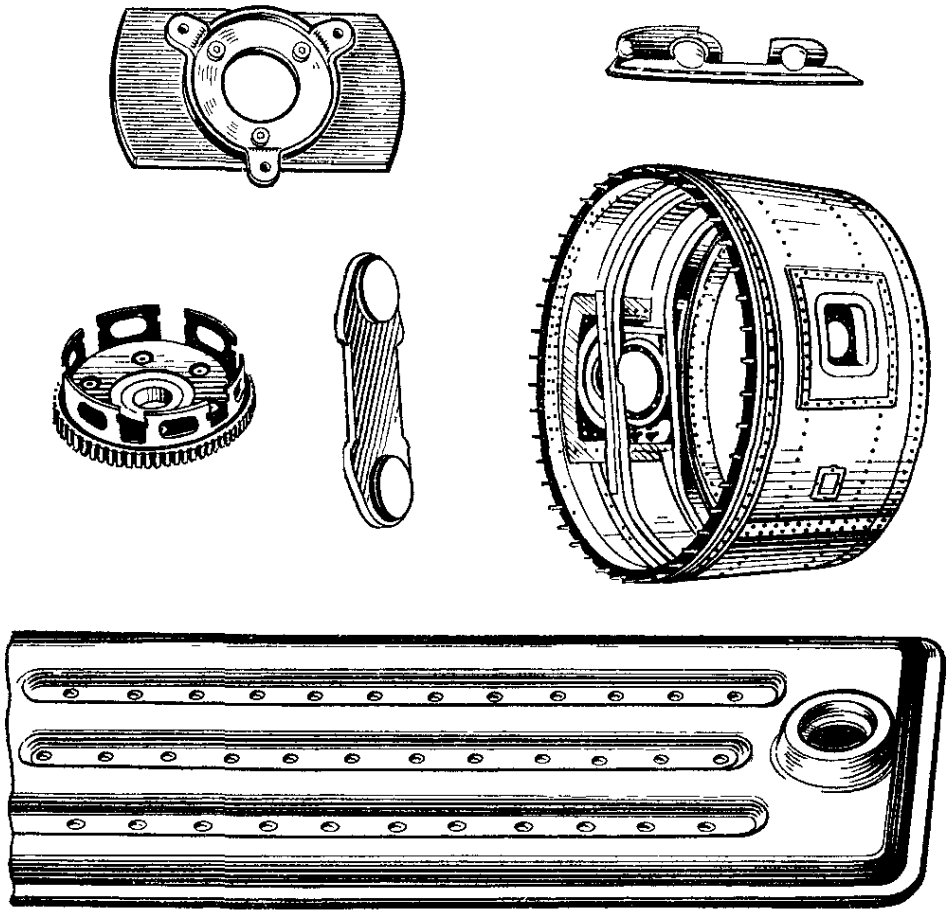


Рис. 83. Детали, сваренные точечной сваркой

Точечную сварку используют при изготовлении деталей автомобилей и тракторов, узлов сельскохозяйственных машин, кондиционеров, холодильников, железнодорожных вагонов, деталей микроэлектроники, предметов домашнего обихода и др.

§ 29. Разновидности точечной сварки

Точечная сварка подразделяется на одно- (рис. 84, *а*), двух- (рис. 84, *г*) и многоточечную (рис. 84, *б*), с односторонним (рис. 84, *б*, *в*), двусторонним (рис. 84, *а*, *г*) и косвенным (рис. 84, *д*) подводом тока.

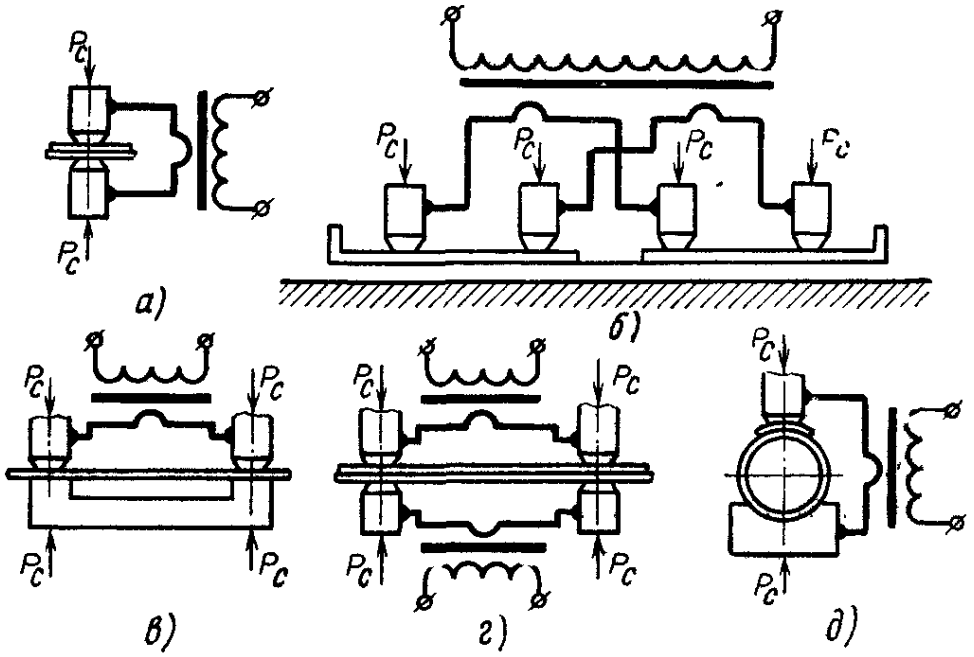


Рис. 84. Схемы точечной сварки

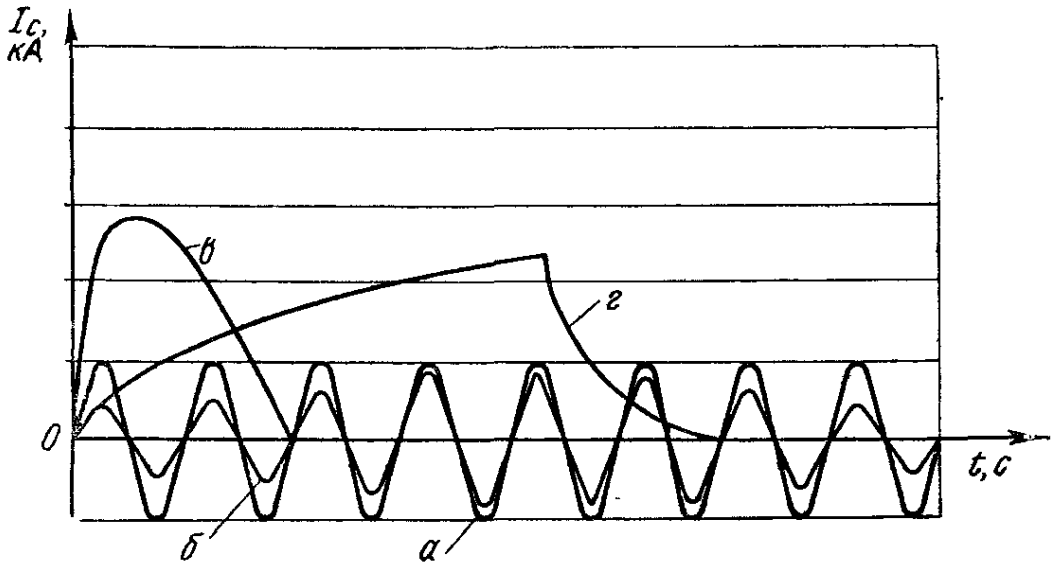


Рис. 85. Графики токов, применяемые при точечной сварке

При использовании одного или нескольких импульсов тока соответственно подразделяют ее на одно-, двух- и многоимпульсную. Закаливающиеся стали термически обрабатывают в сварочной машине током $I_т < I_с$.

Ток и усилие при термообработке программируют с целью сокращения длительности фазовых превращений.

Энергия сети для точечной сварки преобразуется трансформаторами, выпрямителями и другими устройствами.

Трансформатор обеспечивает синусоидальный ток (рис. 85, кривая *а*), который в целях устранения выплесков при большом $P_к$ регулируется по амплитуде (кривая *б*). Более сложные кривые тока получаются при работе на конденсаторных (кривая *в*) машинах, а также при выпрямлении тока в сварочной цепи (кривая *г*).

§ 30. Формирование ядра и его прочность

Ядро формируется под давлением при преимущественном тепловыделении в зоне контакта, интенсивном теплоотводе в электроды и металл и пластической деформации.

Участки контакта вначале нагреваются током неравномерно (рис. 86, *а*), а затем ток перераспределяется между горячим и холодным металлом и нагрев выравнивается (рис. 86, *б*). Преимущественное тепловыделение в зоне контакта сохраняется и между деталями появляется расплавленное ядро (рис. 86, *в*), которое растет в объеме, перемешивается и выравнивается по составу электромагнитным полем, создаваемым сварочным током.

Пластическая деформация от $P_с$ и в результате увеличения объема нагреваемого металла приводит к образованию зазора и уплотняющего пояска между деталями. Поясок предупреждает выплекс расплава. Если $P_с$ мало, а нагрев длителен, то возможен выплекс расплава в зазор.

Расплав кристаллизуется под давлением при столбчатой структуре, направленной в сторону наибольшего теплоотвода Рядом с ядром *3* (рис. 86, *г*) в зоне термического влияния *2* появляется зона *1*, обедненная углеродом.

Ядро нагревается и охлаждается с большой скоростью до 10 000° С/с. Если $P_с$ мало, то в сплавах с широким интервалом кристаллизации и некоторых цветных металлов при охлаждении в ядре возможны усадочные раковины и трещины. Появление раковин и трещин предупреждают дополнительной проковкой электродами в конце кристаллизации

Формирование ядра в большей мере зависит от сопротивления $R_к$, на котором в начальной стадии выделяется до 80% тепла. При медленном нагреве $R_к$ резко уменьшается, что понижает тепловыделение в контакте и усиливает тепловыделение в соседних участках. Такое перераспределение тепла у деталей равной толщины обеспечивает практически одинаковое ядро как при мягком (длительном), так и при жестком (кратковременном) режиме.

Жесткие режимы (обычно длительностью менее 0,1 с для $\delta = 1 - 4$ мм) связаны с большими $I_с$, $P_с$ и градиентами температур, зависящими от распределения плотности тока j. При мягких режимах с большими длительностями протекания тока его плотность j более равномерна и ядро в отличие от жестких режимов (рис. 86, *д*) приобретает форму эллипса.

При жестком режиме теплоотвод меньше, а форма и положение ядра из-за неравномерной j меняется в зависимости от δ деталей, формы и размеров электродов.

Объем металла до расплавления растет медленно, а при плавлении резко увеличивается особенно вдоль электродов (из-за пояска).

Перемещение электрода $\Delta_п$ увеличивается с повышением температуры и уменьшается с увеличением степени деформации металла под электродами. Максимальное $\Delta_п$,определяемое диаметром

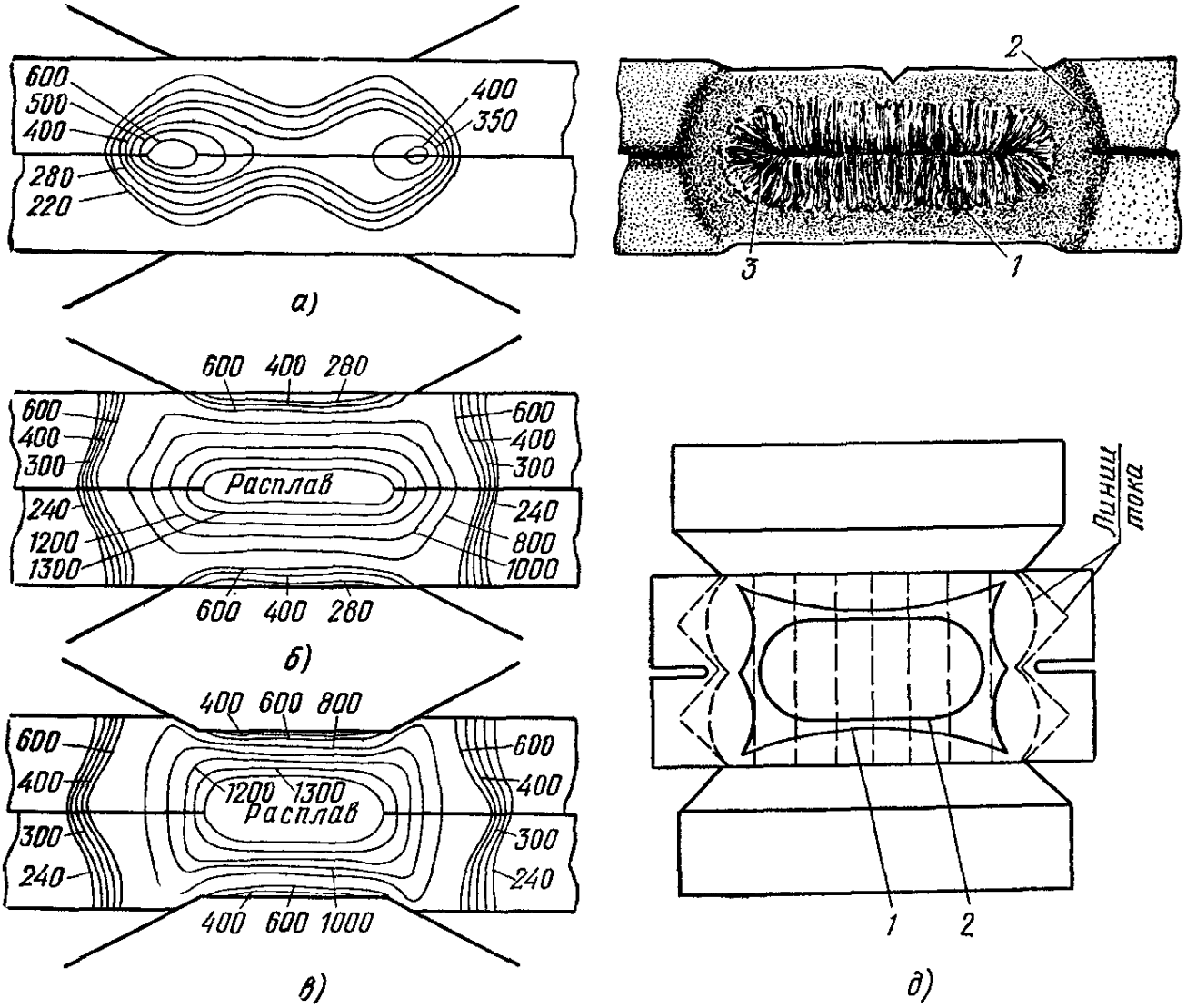


Рис. 86. Температуры в стадии нагрева и формирования ядра точки (*а*, *б*, *в*), ее макроструктура (*г*) и форма ядра при сварке на жестких (*1*) мягких (*2*) режимах (*д*)

ядра и усилием сжатия, близко к (0,07 — 0,1) δ. Диаметр вмятины $d_в$ ориентировочно пропорционален диаметру ядра $d_я$

$$d_в = Kd_я,$$

где K = 1,2 — 1,4 для легких сплавов, 1,1 — 1,3 для низкоуглеродистой стали и 1,1 для жаропрочных сплавов.

Сопротивление деформации нагреваемого металла и качество зависят от скорости нагрева $v_н$ и $P_с$. Если $P_с$ мало, а $v_н$ велика, то возможен выплеск. Программное увеличение $P_с$ по мере нагрева благоприятно для качества. Чем жестче режим, тем выше сопротивление деформации. Так, у стали 12Х18Н9Т при $t_с$ = 0,04 с оно близко к 35 кгс/мм², а при $t_с$ = 0,3 с к 20 кгс/мм². При больших

скоростях нагрева (2000 — 10 000° С/с) и деформации (2 — 15 $с^{-1}$) давление в 2—4 раза выше предела текучести металла при температурах 1200 — 1300° С и обычных скоростях его испытания.

Процесс кристаллизации зависит от скорости охлаждения $v_{охл}$ степеней ε и скоростей пластической деформации $v_д$. Большие $v_{охл}$, обусловленные теплоотводом в электроды и холодные слои металла тормозят объемную диффузию и способствуют образованию неравновесных структур и междендритной ликвации.

Обычная термообработка без деформации, как правило, не устраняет неблагоприятного влияния направленной кристаллизации.

Распределение тока зависит от контактной поверхности электрода и δ детали. При сферической поверхности основной

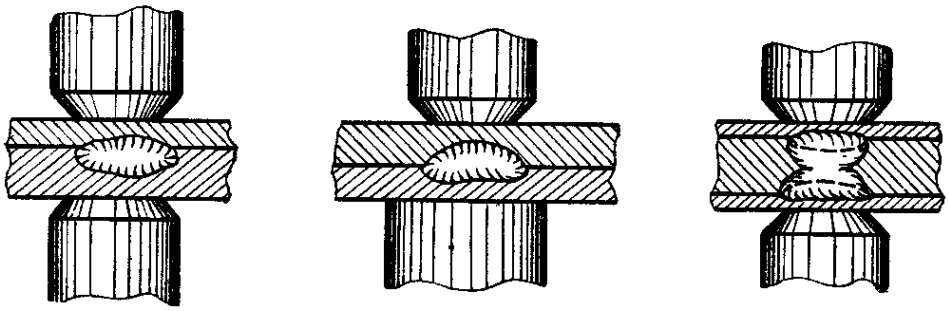


Рис. 87. Формирование точки при сварке деталей:
а — разной толщины одинаковыми электродами, *б* — одинаковой толщины разными электродами, *в* — толстой в середине и двух тонких снаружи одинаковыми электродами

ток течет через центр контакта, а при плоской — на периферии, что у деталей с малой δ в начале нагрева дает кольцо расплава.

При сварке тонкой детали с более толстой ядро смещается в толстую деталь (рис. 87, *а*) тем сильнее, чем мягче режим сварки. При 4 — 5-кратном различии δ ядро без регулирования теплоотвода жестких режимов вообще не касается тонкой детали.

При сварке на мягком режиме электродами разного диаметра ядро смещается в сторону электрода меньшего диаметра (рис. 87, *б*); у трех деталей ядро вначале образуется на площадках их контакта, а затем оба ядра сливаются (рис. 87, *в*).

Плавление ядра у стали начинается при $j = 70 — 80$ А/мм^2.

Для получения ядра большого диаметра ток в конце нагрева целесообразно увеличить. На практике ток регулируют только при сварке цветных металлов и сплавов.

Точечной сваркой наиболее часто соединяют детали толщиной 0,05 — 6 мм. Иногда ее используют для более тонких (до 10 мкм) и более толстых (до 30 мм) деталей.

Качество точки оценивают усилием среза $P_{ср}$, отношением усилия отрыва $P_{от}$ к $P_{ср}$, диаметром ядра $d_я$ и другими показателями. Наиболее часто прочность точки связывают с $d_я$.

Глубина отпечатка от электрода обычно не превышает 15 — 20%δ, хотя при отношении δ 1 : 2 она может увеличиться до 20 — 25%.

Для низкоуглеродистой и низколегированных сталей (табл. 12) неодинаковой толщины $d_я$ выбирают по тонкой детали с увеличением на 5 — 25%. Шаг из-за шунтирования также несколько увеличивают. Так, при $\frac{\delta_2}{\delta_1} > 2$ минимальный шаг $S_т$ увеличивается на 15 — 20%. Глубина проплавления более тонкой детали не должна быть менее 0,25 — 0,30 δ.

12. Конструктивные элементы соединений (мм), выполняемых точечной сваркой

$\delta_1=\delta_2$	$d_я$		a	l	Минимальное $S_т$	c (при шахматном расположении точек)
	Номинальное	Предельные отклонения				
0,3	2,5		6	3,0	8	8
0,4—0,6	3,0		8	4,0	10	8
0,7—0,8	3,5		10	5,0	13	11
0,9—1,1	4,0	+1,0	12	6,0	14	12
1,2—1,4	5,0		13	6,5	15	13
1,5—1,6	6,0		14	7,0	18	15
1,8—2,2	7,0		16	8,0	24	20
2,5—2,8	8,0	+1,5	18	9,0	30	25
3,0—3,2	9,0		20	10,0	36	30
3,5—3,8	10,0		23	11,5	40	34
4,0	11,0		26	13,0	45	38
4,5	12,0		30	15,0	50	43
5,0	13,0	+2,0	34	17,0	55	47
5,5	14,0		38	19,0	60	52
6,0	15,0		42	21,0	65	55

Высота ядра h обычно составляет 30 — 80% от 2 δ. Допуск на диаметр задается в сторону его увеличения.

Минимальный шаг $S_т$ и допускаемая нахлестка a у деталей из нержавеющих сталей соответственно на 15 и 25% меньше, а у деталей из алюминия и электропроводных сплавов на 25 и 35% больше.

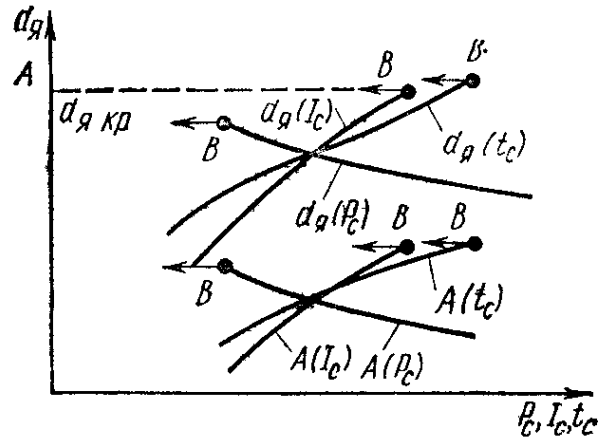


Рис 88 Влияние тока I_c, усилия сжатия P_c и длительности сварки t_c на диаметр ядра $d_я$ и проплавление A (B — выплеск)

Ядро обычно смещается в толстую деталь. В этом случае прочность определяется не диаметром ядра, а максимальным сечением ядра в тонкой детали.

Размеры ядра можно регулировать изменением I_c, t_c и P_c. С увеличением I_c растет $d_я$ (рис. 88), однако при заданных t_c и P_c существует критическое значение I_c, при котором происходит выплеск. При неизменных I_c и P_c таким же образом влияет увеличение t_c. С увеличением P_c и

неизменных $I_с$ и $t_с$ диаметр $d_я$ уменьшается. Аналогично эти параметры влияют и на проплавление A.

13. Ориентировочная разрушающая нагрузка для точечных соединений из разных материалов толщиной δ

δ, мм	Разрушающая нагрузка для материалов, кгс			
	Сталь 10	1Х18Н9	АМг	Д16АгТ
0,5+0,5	160	240	50	70
1,0+1,0	400	650	140	160
2,0+2,0	1100	1800	380	420
3,0+3,0	1800	2600	600	700
4,0+4,0	2700	4000	850	1200

Прочность соединения зависит от материала и толщины деталей (табл. 13), а также от количества точек и их расположения. Допустимое $S_т$ выбирают с учетом тока шунтирования $I_ш$, который увеличивается с уменьшением $S_т$, увеличением δ и уменьшением удельного сопротивления ρ. Ток также может шунтироваться через заусенцы деталей приспособления, заземленные узлы машины при их контакте с деталью и при очень плотной сборке деталей. Если $I_ш$ мал, то его влияние на прочность ничтожно. Стабильность $I_с$, а следовательно, и прочности точек низкоуглеродистой стали в допустимых пределах достигается при $S_т = (3{,}5 — 4{,}5)\,d$.

Отношение прочности соединения на отрыв к прочности на срез у стали 08кп в зависимости от режима изменяется от 0,6 до 0,98. Оно уменьшается с уменьшением толщины и увеличением в стали элементов, повышающих ее твердость при быстром охлаждении.

Уменьшение $d_т$ на 55% снижает максимальную нагрузку при статическом срезе на 18%, а энергию разрушения на 81% при статическом и на 87% при динамическом срезе.

Точка с $d_я = 10$ мм выдерживает при статическом растяжении 2500 кгс, а при пульсирующем только 360 кгс.

§ 31. Подготовка к сварке и правка сварных деталей

Детали перед сваркой зачищают, правят, подгоняют и собирают в приспособлении или прихватывают. Для очистки от масел детали из низколегированных сталей обезжиривают ацетоном, бензином или растворителями и обрабатывают войлочными или вулканитовыми кругами с абразивом, щетками, абразивным полотном или травят. Толстые окисные пленки могут удаляться прокаткой роликами с косозубой насечкой, накернриванием участков сварки, нагревом пламенем, чугунной и стальной дробью или резаной проволокой, а также вакуумдробной обработкой.

В массовом производстве обычно используют травление, а в мелкосерийном и при повторной сварке дефектных участков — зачистку щетками или наждачной бумагой.

Качество очистки оценивается по внешнему виду и по замерам $R_{эд}$ на специальном стенде при $P_с$ и сварочных электродах. Замеры производят микроомметром типа М-246 или двойным мостом с точностью ±2 мкОм. Допустимые значения $R_{эд}$ у низкоуглероди-

стой стали толщиной 1—3 мм при оптимальных $P_с$ 600 мкОм, у низколегированной—800 мкОм, у жаропрочных сплавов—900 мкОм, алюминиевых — 80 — 120 мкОм и у магниевых — 120 — 180 мкОм. Сразу после зачистки эти сопротивления в 2—3 раза меньше.

Детали зачищают целиком или на участке нахлестки. После механической зачистки с поверхностей удаляют пыль, абразивы и окислы.

Легированные стали с равномерным металлическим блеском или матовым оттенком сваривают без контроля $R_к$.

Подготовленные поверхности пассивируют и зачищают от заусенцев, пыли и других загрязнений. Превышение технологически допустимой длительности вылеживания перед сваркой приводит к выплескам и прожогам.

Детали с металлическими покрытиями обычно не зачищают и прихватывают на сварочных режимах. Небольшие детали и узлы, жестко зафиксированные в приспособлениях, сваривают без прихватки. Расстояние между прихватками у стали 50 — 80 мм, у легких сплавов 70 — 150 мм. Крупные узлы иногда прихватывают аргонно-дуговой или дуговой сваркой с последующей вырубкой прихваченных мест.

Сваренные детали правят вручную на прессах или при местном подогреве.

Местный подогрев устраняет выпуклости. Правка ударом закаливающихся материалов не рекомендуется из-за появления надрывов.

§ 32. Выбор режима сварки

Параметры выбирают с учетом имеющегося оборудования по технологической карте, таблицам ориентированных режимов, номограммам или производят опытные работы.

Режим задается $I_с$, $t_с$, $P_с$ и размерами $d_э$ и $R_э$ или $d_я$, причем $I_с$ и $P_с$ иногда программируют. Совмещенные программы $I_с$ и $P_с$ именуются циклами сварки (рис. 89).

Режим меняется при колебаниях напряжения сети, шунтировании, смятии и износе электродов, изменении состояния поверхности деталей. Поэтому параметры режима стабилизируют или автоматически регулируют, а $d_э$ восстанавливают по мере его увеличения. При выборе режима учитывают требования к пластичности и прочности соединений. Качество соединений, сваренных на выбранном и уточненном режиме, оценивается обычно испытаниями на срез и отрыв или на скручивание с анализом макро-и микроструктуры соединения. Обычно $P_с$ в пределах $\pm 10\%$, мало влияющее на качество, при подборе режимов не меняют. При выбранном $d_э$ и $R_э$ уточняют $I_с$ и $t_с$, контролируя качество по технологической пробе.

На практике $d_э$ при работе увеличивается, а плотность тока j и давление $p_с$ снижаются, что ухудшает качество. Планово-предупредительная заточка электродов или их замена после увеличения $d_э$ на 10 — 20% связаны с простоем оборудования. Поэтому стремятся к подрегулированию $I_с$ и $t_с$.

Многие материалы, и в частности низкоуглеродистая сталь, свариваются в широком диапазоне $I_с$ и $P_с$ на мягких (М), средних (С) и же-

стких (Ж) режимах при соответствующей t_c (рис. 90). Ориентировочные режимы можно выбрать по номограмме. Так, для $\delta = 2$ диаметр $d_э$, может изменяться в зависимости от режима от 5 до 11 мм. Выберем $d_э = 9$ мм (точка *А* и *Б*) для жесткого режима Ж (точка *В*), продлевая линию от точки *В* к *Г*, получим $t_c = 6 - 7$ периодов, далее от *Д* к *Е* получим $I_c = 18$ кА и в точке *З* получим $P_c = 800$ кгс. Прочность точки на срез (точка *К*) при этом составит 2000 кгс.

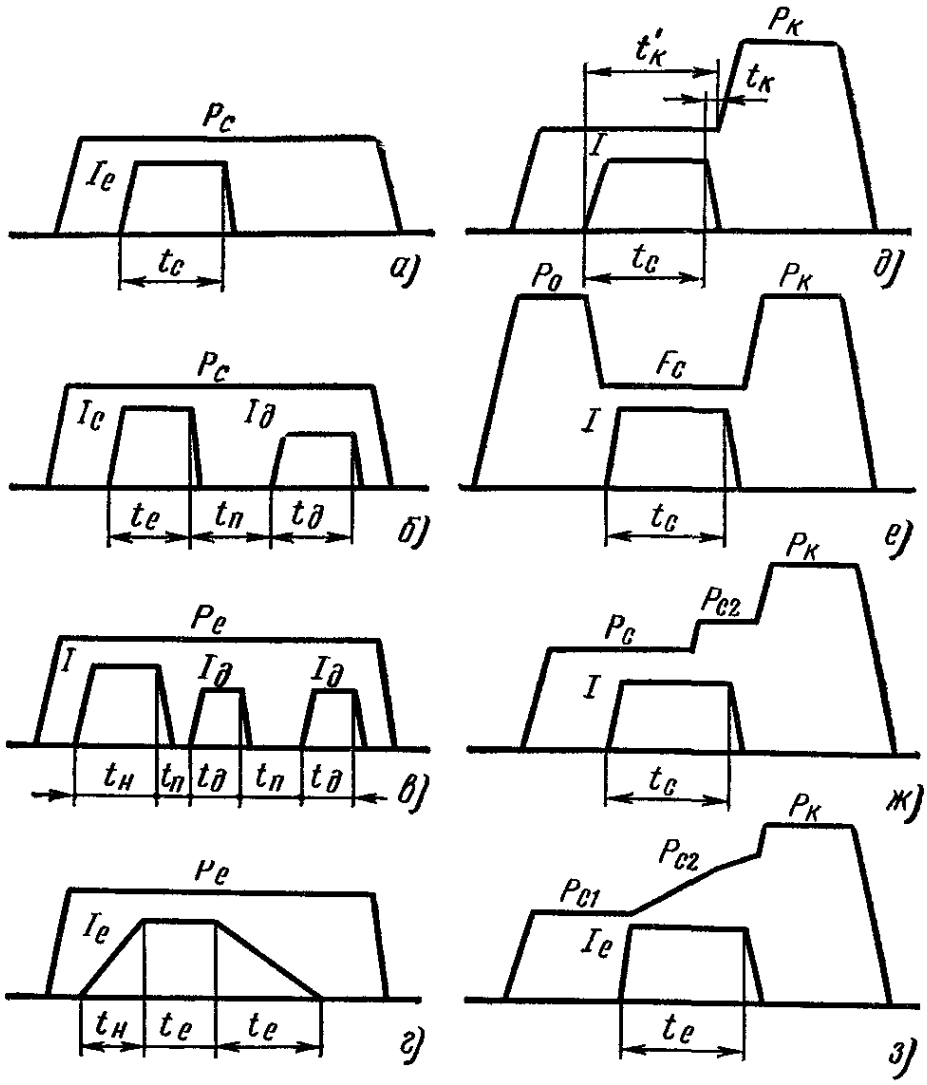


Рис. 89. Циклы точечной сварки:

а — с постоянным усилием и одним импульсом тока, *б* — то же, со сварочным и дополнительным импульсом тока, *в* — то же, со сварочным и двумя дополнительными импульсами, *г* — то же, с модулированным импульсом тока, *д* — с переменным усилием (проковкой), *е* — с предварительным обжатием и проковкой, *ж* — со ступенчатым увеличением P_0 и проковкой, *з* — с плавным увеличением P_c и проковкой

Часть усилия, расходуемая на деформацию детали до сварки, повышается с увеличением предела текучести и толщины материала, а также с увеличением зазоров и уменьшением шага $S_т$.

Высокопроизводительные жесткие режимы сварки, уменьшающие деформацию деталей и повышающие работоспособность соединений при знакопеременных нагрузках, требуют меньшего расхода энергии, но более тщательной подготовки деталей и их сборки.

В автомобилестроении низкоуглеродистую сталь (табл. 14) сваривают при $j = 200 - 500$ А/мм^2 и $p_c = 6{,}5 - 11{,}5$ кгс/мм^2.

14. Ориентировочные режимы точечной сварки низкоуглеродистой холоднокатаной стали

δ, мм	$d_э$, мм	Жесткий режим: P_c, кгс	I_c, кА	t_c, с	Средний режим: P_c, кгс	I_c, кА	t_c, с	Мягкий режим: P_c, кгс	I_c, кА	t_c, с
0,6+0,6	4	125	7	0,1	100	6	0,1	100	5,5	0,2
0,8+0,8	4,5	180	9	0,12	125	8,5	0,12	125	7	0,3
1+1	5	225	10,5	0,16	150	9,5	0,2	150	7,5	0,4
1,2+1,2	6	300	11,5	0,2	180	10	0,24	180	8	0,44
1,5+1,5	6,5	350	13	0,24	250	10,5	0,3	250	8,5	0,51
1,8+1,8	7	—	—	—	300	11,5	0,4	300	9,5	0,5
2+2	7,5	—	—	—	350	12,5	0,44	350	10,5	0,6
2,5+2,5	8	—	—	—	350	13,5	0,5	350	11,5	0,8

Интенсивно закаливающиеся материалы сваривают на мягких или жестких режимах с термообработкой, а теплопроводные только на жестких.

Большие скорости нагрева и охлаждения закаливающихся сталей повышают в 1,5—2 раза и более твердость соединений и снижают резко их пластичность. Возникающие при этом внутренние напряжения могут при $\delta > 2$ мм дать трещины, раковины и поры. Мягкие режимы увеличивают коробление деталей.

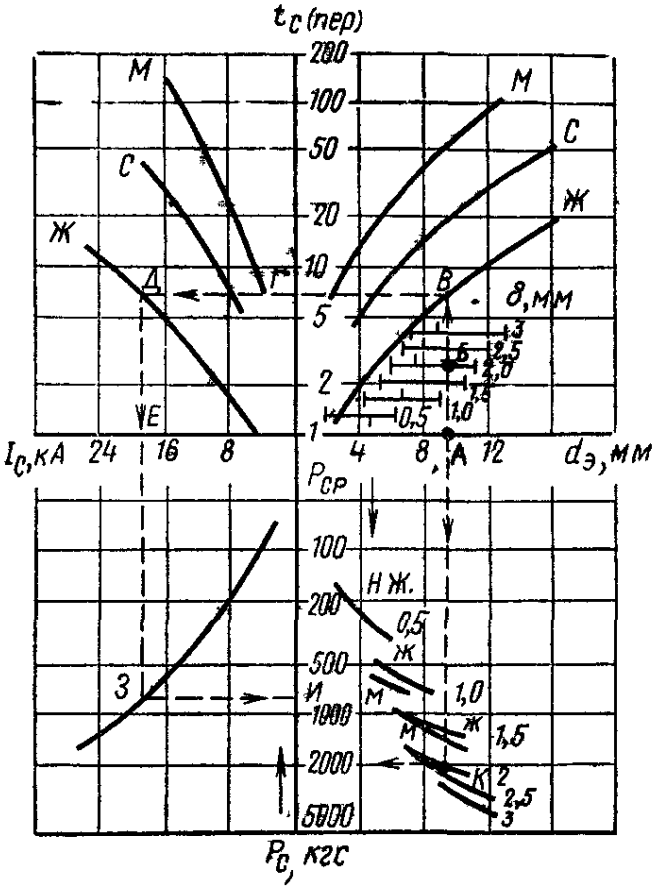


Рис. 90. Номограмма параметров режима точечной сварки

Термообработка точки в электродах по сравнению с отпуском в печи на ряде сталей (25ХГСА, 25ХСНВА, 17ХНВФА и др.) в несколько раз быстрее и требует в десятки раз меньшего расхода электроэнергии. После электротермообработки усилие среза $P_{ср}$ по сравнению со сваркой без нее повышается в 1,2—2 раза, а усилие отрыва $P_{отр}$ в 3,5 — 7 раз. При сварке и термообработке по определенному циклу тепловой эффект регулируют током I_c, длительностью его протекания t_c и давлением p_c. При нагреве в стадии отпуска учитывается тепло, остающееся в точке после сварки. С повышением p_c ускоряется охлаждение в паре между сваркой и отпуском и после отпуска.

Цикл сварки с термообработкой характеризуется паузой $t_п$ (закалка) состоящий из t_1 (начало приложения ковочного усилия $P_к$) и t_2, током

термообработки $I_т$ и ее длительностью $t_т$ при $P_к$, а также длительностью принудительного охлаждения $t_{ох}$ при $P_к$. Программное охлаждение электродов осуществляют вследствие прерывистой подачи в них воды через гидроклапан.

Внутренние трещины, поры и раковины предупреждают увеличением $P_с$ и плавным снижением тока. Усилие проковки $P_к = (2 + 2{,}5)\ P_с$, а $t_т = (1{,}1 + 1{,}2)\ t_с$, причем давление проковки снижают через (0,3 — 0,4) $t_с$. Усилие сжатия у низколегированных сталей повышают на 15 — 20% (из-за большей прочности), а ток плавно увеличивают с одновременным увеличением $t_с$ на 20 — 30%.

Выплеск, типичный для быстрого нагрева, предупреждают уменьшением тока или повышением начального $P_с$, а глубокие вмятины — приложением $P_к$ после выключения тока. При сварке без $P_к$ вмятины увеличиваются с ростом тока, причем наиболее заметно у мягких материалов. Максимальная прочность достигается при вмятине (0,05 — 0,1) δ и диаметре ядра $d = (1 — 1{,}4)\ d_э$. Режим окончательно проверяют на готовой детали.

§ 33. Сварка различных материалов

Низкоуглеродистые стали сваривают на мягких и жестких режимах при плотности тока $j = 80 — 160$ А/мм² и 200 — 400 А/мм², диаметре $d_э = 2\delta + 2{,}5$ мм и $P_с = (100 + 200)\ \delta$. Детали толщиной $\delta < 5$ мм сваривают по циклу (см. рис. 89, *а*), а при $\delta > 5$ мм по циклу (см. рис. 89, *б*, *д*).

Тонкие детали лучше сваривать на жестких режимах; а толстые при программировании $I_с$ и $P_с$ (табл. 15) при синхронном многоимпульсном (до 10) включении первого, его стабилизации в пределах ±2% и модуляции переднего фронта импульса. Одноимпульсные режимы при постоянном давлении обычно не исключают появления усадочных дефектов, а многоимпульсные устраняют дефекты и повышают прочность При этом на 25 — 30% снижается $I_с$, на 35 — 40% $P_с$ при незначительном (не более 10 — 15%) снижении производительности. Сложные циклы с $t_с = 0{,}4 — 0{,}5$ с и $t_п = 0{,}1 — 0{,}2$ с исключают выплески, повышают стойкость электродов и качество соединений.

Детали с покрытиями обычно требуют корректирования режима сварки и специальных электродов.

Наибольшие трудности вызывает окалина, которая резко повышает $R_к$ и $R_{эд}$, внедряется в электроды и усиливает их износ, препятствуя протеканию тока или вызывая выплески. Если удаление окалины невозможно, то в начале нагрева повышают $P_с$, программируют на мягком режиме $I_с$, снижая его начальную величину, или сваривают с наложением ультразвуковых колебаний Разрушение окалины при этих колебаниях резко снижает $R_к$ и $R_{эд}$, стабилизирует нагрев и предупреждает образование пор и неметаллических включений в ядре. Статическая прочность таких соединений выше, чем при сварке по незачищенной поверхности. Детали с окислами синего

15. Режимы сварки деталей средней толщины на машине

$\delta_1+\delta_2$	$P_с$		Установка потенциометров БУ-5ИПС							W, кВ А	$P_{ср}$, кгс	$d_я$ мм
	без $P_к$, кгс	с $P_к$, кгс	сжатие делений, кгс	цикл	$t_с$, с	$I_с$, кА	$P_к$ делений	$t_п$ делений	модуляция делений			
3+3	800		2,5		0,5	18,0	3	3	2	150	3150	11,0
3+3	450	—	2,5		2×0,4=0,8	13,0	3	3	2	110	3250	11,5
3+3	800	1500	3		0,4	19,0	3	3	2	163	3200	10,5
4+4	1200	—	2,5		0,82	21,0	4	4	2	178	4650	13,0
4+4	800	1500	2,5		3×0,5=1,5	18,5	4	4	2	158	4800	13,0
5+5	900	1500	3		5×0,5=2,5	19,5	6	4	3	168	7100	16,5
5+5	900	1500	3		5×0,5=2,5	19,5	6	4	3	168	7150	16,5
6+6	1000	1500	3		6×0,5=3	18,5	6	4	3	158	8300	17 5
6+6	1000	1500	3		6×0,5=3	18,5	6	4	3	158	8400	17,5

Примечания: 1. Паузы между пульсациями 0,1 с.
2. Радиус заточки электродов при δ=3 и 4 мм составляет 150 мм при δ=5 и 6 мм—200 мм.

цвета сваривают без зачистки. На жестких режимах при этом возможны выплески

Покрытия с низкой $T_{пл}$, малой твердостью и невысокими $R_к$ и $R_{эд}$ (Al, Zn и др.) взаимодействуют с электродами, образуя бронзы и изменяя их размеры и формы, что нарушает режим сварки. Лужение или цинкование электродов замедляет образование бронз. Наиболее быстро микровыступы с покрытиями расплавляются на периферии вмятины, где ток наибольший. На практике электроды зачищают через 500 — 1000 точек. Наружное охлаждение электродов с расходом воды 4 л/мин резко ослабляет нагрев. Для повышения стойкости целесообразно высокое давление $p_с$ и малая $t_с$, выбираемая с учетом состояния и охлаждения электродов. Специальные пасты и смазки, уменьшающие трение при деформации материалов, уменьшают взаимодействие электрода с покрытием.

Для сохранения покрытия $t_с$ уменьшают, а $I_с$ увеличивают, интенсивно охлаждают электроды водой и задерживают их на детали после окончания нагрева.

Большие $I_с$ и $P_с$ повышают температуру конца электрода более сильно, чем увеличение $t_с$ Проковка с $P_к > P_с$ у листов толще 1,5 мм стабилизирует качество соединений и повышает их прочность. Введение в покрытие железа и никеля позволяет уменьшить $I_с$, что повышает стойкость без ухудшения коррозионной стойкости соединения. Так, наличие 30% Fe в покрытии уменьшает $I_с$ в 1,3 раза.

Внешнее охлаждение водой повышает стойкость электродов, в особенности из бронзы НБТ. На электродах Cu — W удается сваривать до 26 000 точек Стойкость электродов повышается при плавном нарастании $P_с$ и охлаждении, а также при импульсном включении тока.

Вакуумно-диффузионные покрытия хромом толщиной 40 — 50 мкм требуют увеличения $P_с$ на 20—40% и $t_с$ на 25% и уменьшения $I_с$ на 6 — 8%. На плоских электродах с $d_э$ = 5 мм из Бр.Х07 сталь 0,8 кп толщиной δ = 0,7 мм сваривают при $I_с$ = 6 — 7 кА; $t_с$ = 0,16 — 0,24 с; $P_с$ = 125 — 175 кгс. Хромистый слой со стороны электрода уменьшает теплоотвод, что позволяет снизить $I_с$ и $t_с$. Для предупреждения парообразования и выплесков покрытие ковар + ковар; ковар + 1Х18Н9, или Al, Ni, Au сваривают без расплавления.

Листы с односторонним пластмассовым покрытием сваривают односторонней сваркой кратковременными импульсами (0,005 с) с интенсивным охлаждением электродов и изделия водой. Температура нагрева хлорвинилового покрытия при этом не должна превышать 240° С или кратковременно (<1,2 с) 350° С. Прочность соединения листов δ = 0,6 мм при $d_я$ = 2 мм достигает 180 кгс. Рельефы облегчают зачистку покрытия в зоне сварки. Для получения металлического контакта покрытие продавливают острым электродом (рис. 91, *а*), нагревают (выплавляют) через скобу (рис. 91, *б*), подогревают электрод от внешнего источника (рис. 91, *в*). Теплоизоляционные шайбы вокруг электрода в последнем случае локализуют нагрев.

По свариваемости металлы и их сплавы подразделяют на несколько групп, различающихся теплофизическими и

деформационными свойствами. Ориентировочные режимы (табл. 16) приводятся для металлов $\delta = 1$ и 3 мм, причем вместо $I_с$ и $P_с$ указаны плотность $j = I_с/F_я$ и давление $p = P_с/F_я$, а $F_я$ определена исходя из $d_я$ ($\sim 0{,}8\, d_я^2$).

Несмотря на то что многие из рассмотренных металлов и сплавов можно сваривать на постоянном или переменном токе без модуляции или с ней, а также при импульсном токе низкочастотных и конденсаторных машин, для каждого материала наиболее целесообразен рекомендуемый термодеформационный цикл.

Переменным током с плавным его нарастанием в каждом импульсе (модулирование) и спадом в конце сваривают одним или несколькими

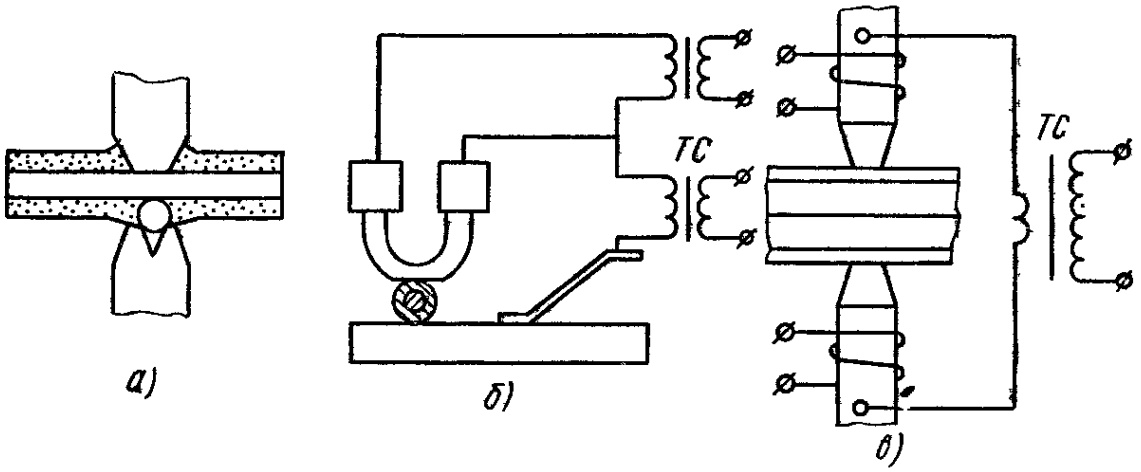


Рис. 91. Способы создания металлического контакта при сварке деталей с пластмассовым покрытием:

а — нагрев с продавливанием покрытия острым электродом, *б* — нагрев через скобу, *в* — нагрев дополнительным источником

импульсами закаливающиеся стали, никелевые и титановые сплавы толщиной до 3 мм (редко до 6 мм), а также алюминиевые сплавы толщиной до 1,5 мм. Ограничения связаны с мощностью точечных машин. Более универсальными и мощными импульсами постоянного тока с регулированием его спада в конце импульса свариваются практически все материалы и в особенности стали и сплавы, требующие мягких режимов. Мощными импульсами конденсаторных машин сваривают теплоэлектропроводные материалы или при надлежащем регулировании углеродистую сталь и другие материалы, а маломощными — тонкие детали различного состава.

Для предупреждения трещин и раковин, а также для термопластической обработки соединений после образования ядра прикладывается ковочное усилие $P_к$. Оно повышается с увеличением $\sigma_т$ и $v_д$ при высоких температурах, δ, $R_э$ и уменьшением $t_с$. Приложение $P_к$ при протекании тока вызывает непровар, при его выключении чрезмерно усиливается деформация, а при задержке не завершается требуемая пластическая деформация. Поэтому паузу выбирают по толщине материала в диапазоне 0,02—0,20 с. Для стабилизации нагрева металла толще 5 мм его предварительно обжимают. С увеличением δ для расширения технологических возможностей машин несколько снижается j и увеличивается $t_с$.

16. Ориентировочные режимы точечной сварки

Группа металлов	Металлы	δ, мм	Цикл по рис. 89	$I_с$, А/мм²	$p_с$, кгс/мм²	$t_с$, с	$p_к$, кгс/мм²	$t_к$, с
1	Ст 1 кп, Ст 2 сп	1+1	а	700	22	0,14	—	—
		3+3	б+д	200	15	0,26	30	0,06
2	30ХГСА, 45, 40ХН2МА, 11Х11Н2В2МФ	1+1	б, г	510	36	0,46	—	—
		3+3	в+д	214	19	1,30	38	0,18
3а	12Х18Н9Т, ХН78Т, 15Х18Н12С4ТЮ	1+1	а	415	38	0,16	—	—
		3+3	д	166	20	0,36	42	0,06
3б	ХН75НБТЮ, ХН70Ю ВЖ85, ВЖ120, ХН38ВТ	1+1	а	500	68	0,32	—	—
		3+3	д	138	28	0,90	62	0,16
3в	ХН70ВМТЮФ, ХН77ТЮР. ВЖ98	1+1	а, г	500	76	0,36	—	—
		3+3	д, е	138	33	1 10	70	0 18
4	ОТ4, ВТ6С, ВТ20, ВТ5	1+1	а	440	22	0,16	—	—
		3+3	д	166	14	0,34	30	0,06
5а	АМг6	1+1	д	2760	35	0,08	72	0,02
		3+3	д	880	21	0,20	51	0,04
5б	Д16Т, Д19Т, Д20Т, В95Т	1+1	д	3200	32	0,06	72	0,02
		3+3	д	1100	19	0,16	51	0,04
5в	Д16М, Д19М, Д20М, В95М, АМц, АМг	1+1	а	2800	24	0,06	—	—
		3+3	д	970	13	0,16	30	0,04
6	МА1, МА2, МА8, МА2-1	1+1	а	2400	20	0,04	—	—
		3+3	д	760	10	0,14	32	0,06
7	Л62, Бр. Б2	1+1	а	1600	21	0,12	—	—
		3+3	д	700	14	0,22	30	0,06

Сварка материалов 1-й группы (см. табл. 16) рассмотрена ранее Среднеуглеродистые и некоторые низколегированные стали (вторая группа) сваривают с термомеханической обработкой. Появление хрупких структур и образование трещин предупреждают сваркой на мягких режимах с $t_с$, в 3,5 раза большей, чем у металлов 1-й группы, с двухимпульсным (см. рис. 89, *б*), а для толстых листов часто с трехимпульсным нагревом при замедленном охлаждении во втором импульсе. Давление у этих материалов значительно выше, чем у материалов 1-й группы. Пластическая деформация в стадии проковки при нагреве в 1,5 раза большем $t_с$ до температур ниже A_{c1} улучшает структуру и предупреждает трещинообразование. Хорошие результаты без заметного роста зерен в около-

точечной зоне также получены при сварке на жестких режимах и деформации в стадии отпуска при температурах на 100 — 150° С ниже A_{c1}. Повышение давления $p_к$ до 2,5 $p_с$ в этой стадии усиливает теплоотвод и сокращает цикл термообработки вследствие пластического деформирования.

Материалы 3-й группы сваривают на промежуточных для 1-й и 2-й групп режимах с повышением $p_с$. Жаростойкие материалы группы 3в для устранения трещин требуют в 2,5 — 3 раза больших $p_с$ и для устранения выплесков в 2,5 — 4 раза больших $t_с$, чем материалы 1-й группы.

Материалы 4-й группы из-за пониженной теплоэлектропроводности свариваются при меньших на 30—40% j и таком же, как материалы 1-й группы.

Материалы 5-й группы из-за высокой тепло- и электропроводности сваривают при импульсах большой плотности тока j, хорошо охлаждаемыми электродами со сферической поверхностью на режимах, зависящих от состава и термообработки сплава. Твердые сплавы (группа 5а) требуют больших $p_с$ и проковки даже на тонком металле. У более пластичных материалов во избежание чрезмерной деформации уменьшают $p_с$ и $l_с$, причем это снижение, несмотря на повышение тепло- и электропроводности, осуществляется более интенсивно в направлении Д16 → Д16М → АМг. Термообрабатываемые сплавы склонны к трещинообразованию и требуют проковки. Сплавы Д16, В95 и АМг6 с плакированным слоем сваривают при повышенном $p_с$, что облегчает расплавление тугоплавкой плакировки. На сплаве АМг6, склонном к выплескам, целесообразно повышение $p_с$ и смягчение режима.

Чрезмерные токи дают выплекс. С увеличением давления проплавление уменьшается.

Алюминий небольшой толщины можно также сваривать модулированным током. Контактное сопротивление у полос из алюминиевых сплавов после травления их поверхности не играет существенной роли в тепловыделении. Соединения алюминия, сваренные без специальной очистки поверхности, различаются по прочности.

Сплавы алюминия сваривают при нарастании тока со скоростью 150 — 180 кА/с. При меньших скоростях ухудшается структура ядра точки, расширяется зона нагрева, увеличиваются вмятины и усиливается налипание материала электродов на свариваемые детали и металла деталей на электроды.

В зоне отжига около сварной точки термически упрочненных сплавов типа Д16 происходит разупрочнение металла и рост зерна.

Материалы 6-й группы (магниевые сплавы) из-за повышенной пластичности сваривают с меньшими $p_с$, чем материалы группы 5б на более жестких режимах.

Материалы 7-й группы из-за высокой тепло- и электропроводности и пластичности сваривают на жестких режимах при большой плотности, близких к режимам сварки материалов 6-й группы.

Чистая медь из-за чрезмерно высокой тепло- и электропроводности при сварке на обычных режимах не образует ядра. Для повышения

сопротивления поверхности контакта покрывают тонким слоем серебра после их зачистки, промывки и удаления окислов. Такие листы при $\delta = 0{,}127 + 0{,}94$ мм и $0{,}94 + 0{,}94$ мм сваривают на конденсаторных машинах электродами из вольфрама. Также возможно применение молибдена. Чистый алюминий и медь сваривают иногда с прокладкой между электродами и деталями полосок нержавеющей стали толщиной 0,1 — 0,2 мм. Без прокладок алюминий и медь привариваются к электродам. Такие прокладки допускают сварку алюминия на обычных машинах небольшой мощности. Нахлесточные соединения из стали, алюминиевых и магниевых сплавов герметизируют от щелевой коррозии электропроводными лаками, грунтами и клеями, наносимыми на внутренние поверхности тонким слоем и остающимися до сварки в жидкотекучем состоянии несколько часов.

Никель из-за низкого электросопротивления и высокой теплопроводности, а также повышенной пластичности сваривают на жестких режимах двумя импульсами, первый импульс из которых при малом токе повышает электросопротивление, а второй является сварочным. Проковку обычно не применяют.

Тугоплавкие химически активные материалы (W, Mo и др.) из-за высоких $T_{пл}$ и $T_к$ (до 1300 — 1500° С) обычно сваривают через легкоплавкие прокладки из технического титана, никелевого сплава ВЖ98 и др. Многоимпульсные режимы облегчают сварку без прокладок. Несколько лучше свариваются менее теплопроводные (чем молибден) с более высокими ρ тантал, ниобий и их сплавы. На режимах сварки титановых сплавов с повышенной в 1,6 — 1,7 j сваривают цирконий.

Разноименные материалы сваривают на мягких режимах. Для более симметричного расположения ядра усиливают нагрев и уменьшают теплоотвод в теплопроводный материал за счет уменьшения диаметра и теплопроводности электрода.

При большом различии в температурах плавления и теплофизических свойств на мягких режимах нагрев не выравнивается. Сварку осуществляют поэтому кратковременными импульсами большого тока при невысоком давлении с усилением роли переходного сопротивления. Также полезны прокладки и покрытия (омедненная сталь медью хорошо соединяется с алюминием). Также применяют программирование давления и тока.

§ 34. Сварка материалов неравной толщины

При неравной толщине $\delta_1 \neq \delta_2$ плотность тока, растекаясь в толстом листе (рис. 92, *а*), повышается на периферии контакта (рис. 92, *б*), который интенсивно охлаждается электродом со стороны тонкого листа. Образующееся несимметричное ядро смещается в толстую деталь и при большом различии в толщине не затрагивает тонкой детали. Смещение усиливается на мягких режимах, а на жестких резко повышается плотность на периферии ядра и усиливается опасность внутренних и наружных выплесков. Для надежного проплавления

тонкого листа обычно усиливают его нагрев, применяя при жестких режимах закладные или создаваемые на тонком листе (рис. 92, *г*, *д*) рельефы, а также сжимая линии тока магнитным полем, а при мягких — регулируя теплоотвод экранами (рис. 92, *е*), подбором свариваемых материалов, а также массы электродов (рис. 92, *в*, *ж*) или их материала (рис. 92, *з*). С увеличением массы и $d_э$ ускоряется охлаждение контактируемой детали. Поэтому массивные электроды с большим $d_э$ устанавливают со стороны толстой детали. При малых $d_э$ со стороны тон-

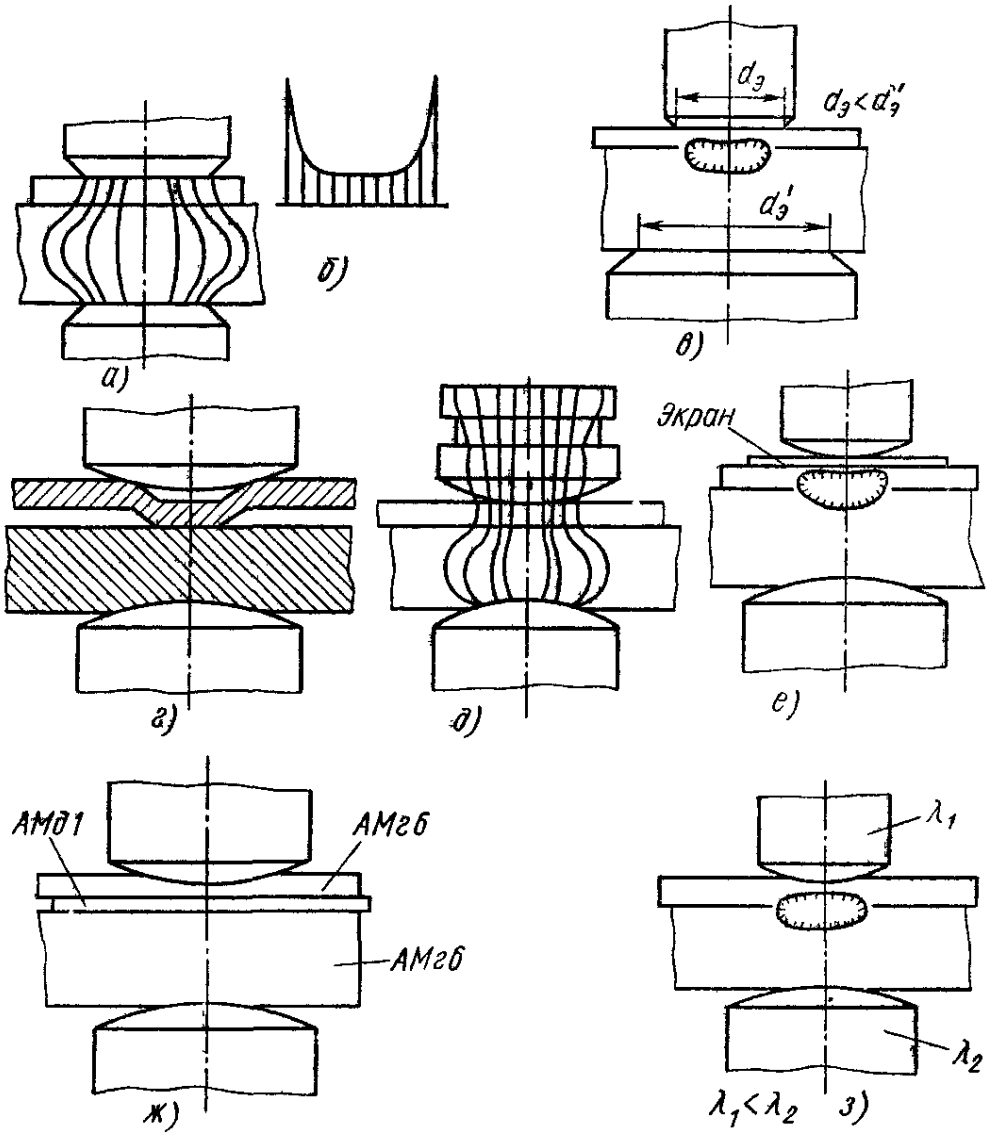


Рис. 92. Способы сварки деталей неравной толщины

кой детали возможны выплески, глубокие вмятины и уменьшение ядра. Со стороны тонкой детали у алюминиевых сплавов ставят электрод из менее электропроводного материала, чем со стороны толстой детали (например, медь). При сварке стали для устранения вмятин со стороны тонкой детали также применяют молибденовые или вольфрамовые электроды большого диаметра, а со стороны толстой — медные малого диаметра. Прокладки с более высоким электросопротивлением облегчают проплавление тонкого листа при небольших плотностях тока. Локализуют нагрев тонкого листа и уменьшают его деформацию электродами с обжимными втулками. Теплоотвод также уменьшают тугоплавкими экранами толщиной $\delta = 0{,}05 - 0{,}15$ мм

из металлов с низкой теплопроводностью, которые при хорошей зачистке можно использовать по нескольку раз.

Стальные листы с отношением 1 : 3 и алюминиевые с отношением 1 : 2 сваривают по режимам тонких листов. Очень тонкие детали ($\delta \leqslant 0{,}25$ мм) привариваются на особо жестких режимах при $t_c < 0{,}01$ с. Поле токов и площадь контактов при этом меняются мало, а теплоотвод незначителен. Ядро образуется на участках максимальной плотности тока по краям электрода (см. рис. 92, *б*). Электроды из Бр.НБТ в этом случае из-за перегрева поверхности не используют. Лучшие результаты получают на электродах из Бр.МС, Бр.Х07 и Бр.Мц5Б со сферической поверхностью радиусом 10 — 15 мм при $\delta = 0{,}15$ — 0,4 мм и $d = 25$ мм при $\delta = 0{,}5$ — 0,6 мм.

Жесткие режимы, способствующие тепловыделению на контакте, легко задать на конденсаторных машинах при одном импульсе. Импульсы машин постоянного тока при соответствующем регулировании I_c и P_c предпочтительнее.

§ 35. Односторонняя сварка

Односторонняя сварка (рис. 93) из-за значительного $I_ш$ требует особых режимов (табл. 17). При ней из за перегрева привариваемой детали и смещения ядра возможны значительные вмятины и повышенный износ электродов.

Для деталей равной толщины $\delta_1 = \delta_2$ и при отношении $\delta_1 : \delta_2 = 1 : 3$ применяют токоведущие подкладки (рис. 93, *а*) или замкнутые электроды (рис. 93, *б*), обеспечивающие протекание основного тока через участки контакта деталей. Ток шунтирования и ток нижней детали в этом случае невелики. При значительном различии в толщинах тонкую деталь к толстой можно приваривать без подкладки (рис. 93, *в*). Также возможна одноточечная сварка со вспомогательным электродом (рис. 93, *г*). На узлах большой жесткости, способных воспринимать P_c без продавливания, сваривают без подкладок с предварительным подогревом. Сварка на весу связана с сильным нагревом верхнего листа и его повышенной деформацией.

17. Режимы односторонней точечной сварки (радиус сферы электрода 75 мм, $t_c = 19$ пер., $P_{ср}$ — усилие среза)

δ, мм	I_c, кА	P_c, кгс	$d_э$, мм	$P_{ср}$, кгс
0,8	12,3	180	4,8—5	480—520
1	13,2	200	5,5—6	610—630
1,2	15,4	250	7,0—7,5	820—840

Наибольшая толщина привариваемой детали при шаге 30 — 35 мм не превышает 1 мм, а при шаге 50 мм — 1,5 мм. Специальными приемами можно добиться качественного соединения и при большей толщине (шаг 50 мм). Более толстые детали обычно приваривают двусторонней двухточечной сваркой, обеспечивающей минимальные токи шунтирования.

Ток шунтирования $I_ш$ растет с увеличением δ и уменьшением шага, причем с увеличением ширины от 10 до 400 мм у сталей при шаге $S_т$ =

$= 50$ мм и $\delta = 3$ мм он увеличивается почти в 2 раза, а с увеличением δ от 1мм до 3 мм в 3 раза. С увеличением шага от 25 мм до 100 мм ток шунтирования уменьшается примерно в 4 раза. Предварительный подогрев верхнего листа уменьшает ток шунтирования $I_ш$. Одностороннюю сварку применяют для листов $\delta = 0{,}1$ — 3 мм из стали, никелевых и титановых сплавов с листами $\delta < 9$ мм. Листы из алюминиевых, магниевых и медных сплавов из-за малого электросопротивления обычно односторонней сваркой не соединяют. Для уменьшения $I_ш$ увеличивают шаг $S_т$ по сравнению с обычным в 2 —3 раза.

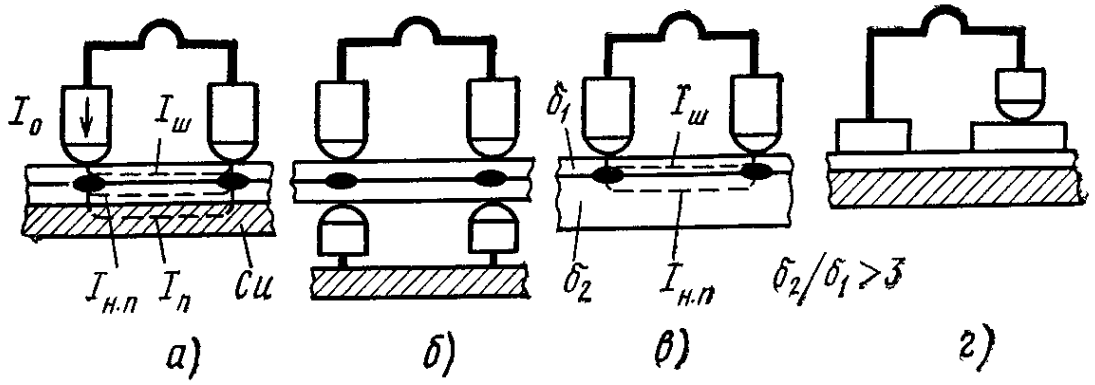


Рис. 93. Схемы односторонней (*а, в, г*) сварки и сварки с замкнутыми нижними электродами (*б*)

Плотность тока достигает 400 — 420 А/мм², а $P_с$ и $t_с$ в 1,1 — 1,3 раза больше, чем при обычной сварке. Соответственно удлиняется и нагрев. Полосы толщиной 0,9 мм с шагом 50 мм сваривают при $I_с =$ $= 15$ — 16 кА, $t_с = 0{,}2$ с и $P_с = 270$ — 320 кгс.

Стабильное качество обычно обеспечивается сваркой на более мягких режимах (см. табл. 17).

Сварку на медной подкладке при шаге 65 мм осуществляют при большем на 10% токе, большей на 25% $t_с$ и меньшем на 50% $P_с$, чем при обычном режиме.

С увеличением тока растет $I_ш$, усиливается нагрев электродов и усиливается деформация деталей. С увеличением $d_э$, $P_с$ и $S_т$ уменьшается отношение $I_ш/I_{нп}$.

При нагреве ядро смещается и поворачивается к соседнему электроду тем сильнее, чем больше $I_ш$. Для получения одинаковых точек важна стабильность $P_с$ и $R_э$ (с точностью $\pm$ 5 мм).

Контрольные вопросы

1. Назовите разновидности точечной сварки и области их применения.
2. Перечислите основные параметры режима и расскажите об их влиянии на качество точечных соединений.
3. Какова свариваемость низкоуглеродистых, высокоуглеродистых и высоколегированных сталей, а также цветных металлов и сплавов?
4. В чем заключаются особенности сварки разнородных металлов и металлов разной толщины?

МАШИНЫ ДЛЯ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ

§ 36. Станины и привод электродов

Большинство станин сварные, с силовыми консолями для крепления привода сжатия и токоподводами с электрододержателями (см. рис. 9). В машинах малой мощности консолями могут быть токоподводы. Одна из консолей или обе одновременно могут перемещаться по высоте или горизонтально. Стойки станин часто служат воздухосборниками.

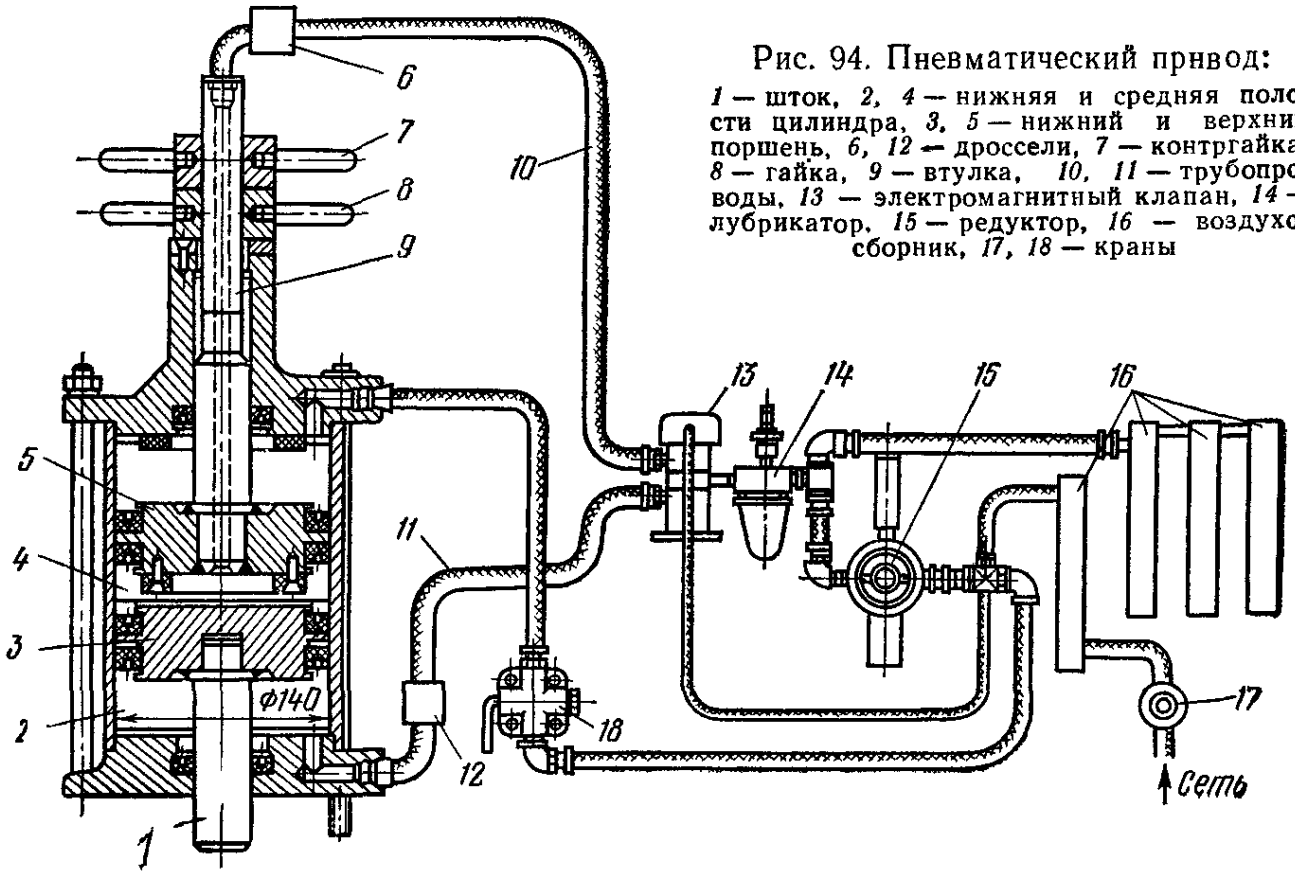


Рис. 94. Пневматический привод:
1 — шток, *2*, *4* — нижняя и средняя полости цилиндра, *3*, *5* — нижний и верхний поршень, *6*, *12* — дроссели, *7* — контргайка, *8* — гайка, *9* — втулка, *10*, *11* — трубопроводы, *13* — электромагнитный клапан, *14* — лубрикатор, *15* — редуктор, *16* — воздухосборник, *17*, *18* — краны

Привод электродов выбирается по P_c и W. При малой W и небольших P_c применяют грузовой и радиальный или прямолинейный педально-пружинный привод.

В наиболее распространенном пневматическом приводе (рис. 94) воздух из сети через кран *17* и редуктор *15* поступает в пустотелые колонны станины *16* (воздухосборник). При работе средняя полость *4* рабочего цилиндра трубопроводом *10* соединяется с электромагнитным клапаном *13* и с воздухосборником, а при обратном ходе — с атмосферой. Давление в воздухосборнике должно быть ниже давления сети не менее чем на 0,7 ат. Скорость заполнения цилиндра через втулку *9* регулируют дросселями *6* и *12*. Электромагнитным клапаном *13* управляет регулятор цикла сварки. Клапан смазывается через лубрикатор *14*. В цилиндре имеются два поршня. Ход вспомогательного поршня *5* ограничивается гайкой *8* и контргайкой *7*, он служит

упором для рабочего поршня *3*, который связан штоком *1* с верхним токоподводом. Движением рабочего поршня управляет клапан *13*, а требуемое усилие сжатия устанавливается редуктором *15*. Верхней камерой вспомогательного поршня управляет кран *18*.

Воздух, подаваемый по трубопроводу *10* в среднюю полость, опускает шток *1* и электрод, а при подаче в нижнюю полость *2* по трубопроводу *11* — поднимает. При подъеме верхнего электрода в моменты установки и съема деталей воздух выпускается из верхней полости и подается в нижнюю; оба поршня поднимаются до упора в верхнюю крышку цилиндра.

В быстроходном приводе машины МТ-1615 вместо нижнего поршня использована плавающая диафрагма *4* (рис. 95), которая обеспечивает малую инерционность привода и точность приложения $P_к$. Шток в этом случае соединяют непосредственно с диафрагмой без дополнительных пружин.

В современных машинах привод в виде трехкамерного цилиндра с направляющим устройством *1* (рис. 96) перемещается в ползуне *2* на роликах. Усилие от штока передается на ползун через блок тарельчатых пружин *3*, стабилизирующих усилие при изменении сил трения резиновых манжет рабочего поршня *4* о стенки цилиндра. Благодаря этому электрод быстро перемещается при сварке. В исходном положении в полость *А* подается сетевой воздух, под действием которого поршень *5* опускается до упора в гайку *6*. При выпуске воздуха из этой полости и подаче редуцированного воздуха в полость *В* поршни *4* и *5*, перемещаясь, занимают крайнее верхнее положение, чем осуществляется дополнительный ход вверх. Гайкой *6* регулируется рабочий ход. Малые давления получают при подаче в полости *Б* и *В* воздуха одинакового давления, а большие при выбросе воздуха из полости *В*. Этим достигаются два диапазона давлений.

Последовательная установка нескольких диафрагм с подачей в ограниченные ими полости воздуха разного давления позволяет при малой инерции привода получать определенную программу давлений. Постоянство давления на электродах в этом случае обеспечивается соединением наддиафрагменных камер привода с воздухосборниками, имеющими независимую регулировку давления редукторами. Выпуск воздуха из поддиафрагменных полостей, создает соответствующую программу давления. В двухдиафрагменном приводе камера с диафрагмой *6* (рис. 97) служит для получения $P_с$, а с диафрагмой *5* для получения $P_к$. Обе диафрагмы закреплены на штоке *4*. Малые усилия (до 500 кгс), определяемые площадью штока *4*, создают при подаче редуцированного воздуха в камеры *А* и *Б*, а большие (до 2000 кгс) при подаче только в полость *Б*. Усилие создается только при поданном в камеры *В* и *Г* воздуха и его быстрого выброса из полости малого объема. Усилие от штока *4* через винт *8* и гайку *9* передается ползуну *1* с роликовыми направляющими. Регуляторы давления повышенной точности и большого расхода и диафрагменный привод при роликовых направляющих стабилизируют программу усилий сжатия $P_с$. Ползун *1* дополнительно вверх и вниз перемещается электродвигателем *2* через шестерни *3*, *7*, винт *8* и гайку *9*.

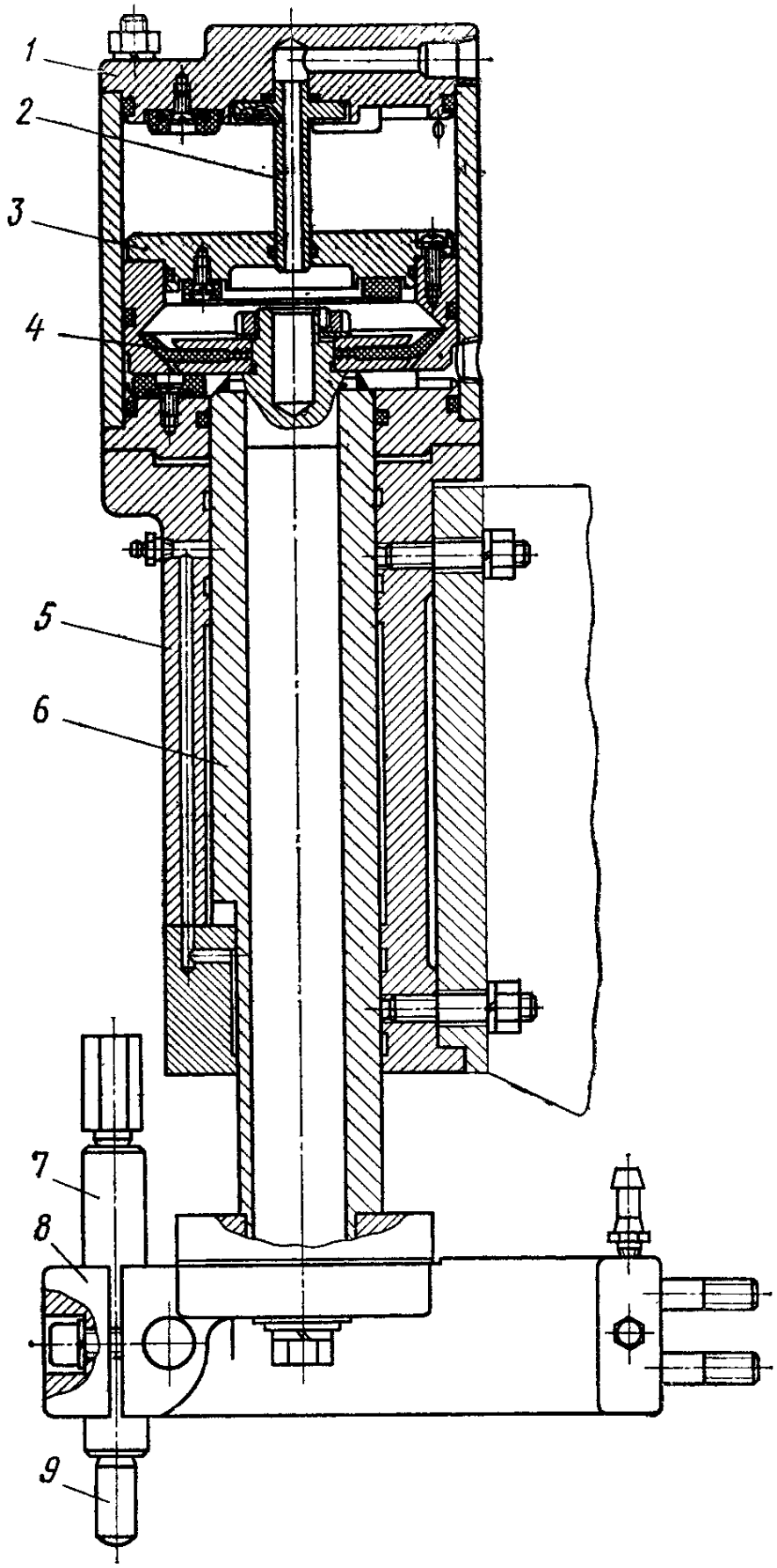


Рис. 95. Пневмодиафрагменный привод быстродействующей машины МТ-1615:

1 — корпус цилиндра, *2* — трубка, *3* — верхний поршень *4* — диафрагма, *5* — корпус машины, *6* — шток, *7* — электрододержатель, *8* — верхняя консоль, *9* — электрод

В принципиальной электросхеме точечной машины автоматический выключатель *В1* (рис. 98) подключает машину к сети и защищает электрические цепи от коротких замыканий. При открытии двери конечный выключатель *ВК* снимает напряжение с машины. При включении *В1* подается напряжение на сварочный трансформатор *ТрС* и на контактор с тиристорами *Д1* и *Д2*. Кнопкой *КнП* включается блок

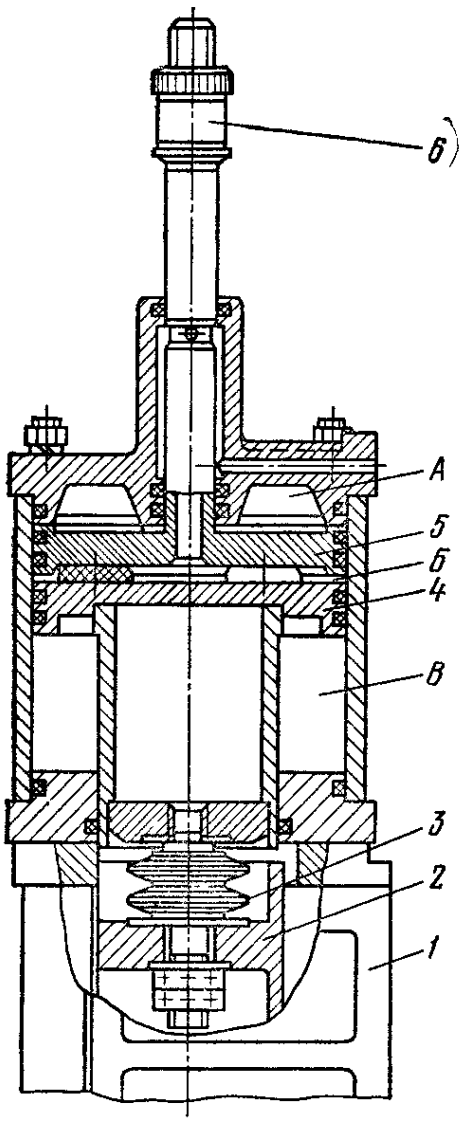


Рис. 96. Привод современных машин:
1 — направляющее устройство, *2* — ползун, *3* — пружины, *4*, *5* — поршни, *6* — гайка

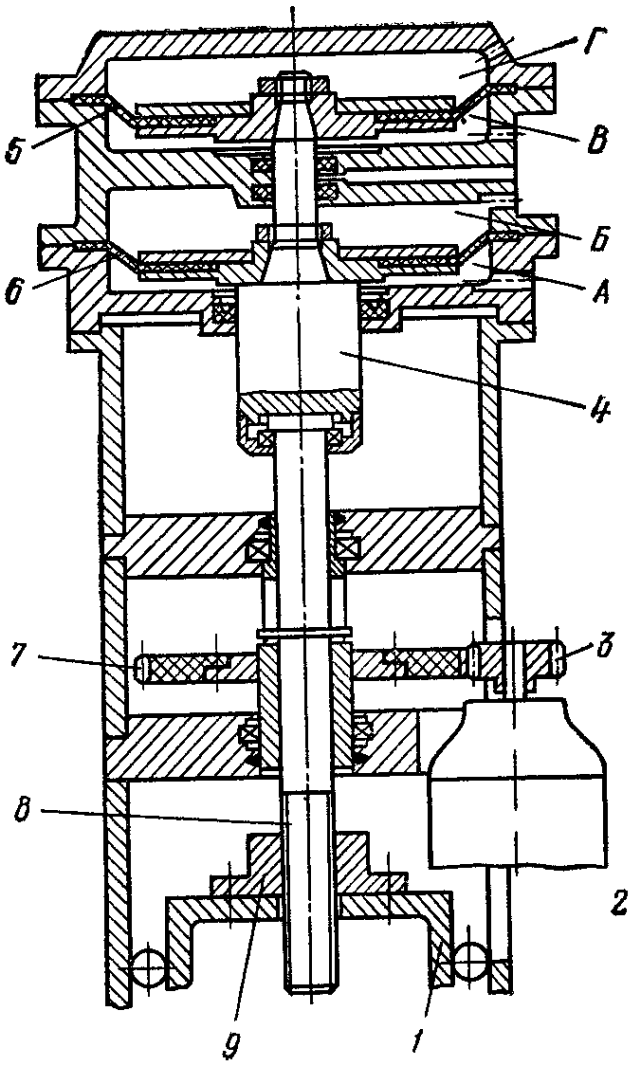


Рис. 97. Диафрагменный привод сжатия н электродвигательный дополнительного хода машины МТВ-6304:
1 — ползун, *2* — электродвигатель, *3*, *7* — шестерни, *4* — шток, *5*, *6* — диафрагмы, *8* — винт, *9* — гайка

управления сваркой (БУС) и электропневматический клапан *К*. Тиристорный контактор включает и выключает ток. Схема БУС допускает непрерывное или импульсное включение тока. Трансформаторы *Тр2* и *Тр3* обеспечивают подачу отпирающих импульсов на управляющие выводы тиристоров *Д1* и *Д2*, а цепочка *С1* — *R1* преду-

преждает искрение при поднятии электрода. Место подключения первичных проводов (1 ÷ 3 А и В) позволяют подбором настроить машину на оптимальный режим.

Переключатель *В3* позволяет включить блок управления на автоматический цикл со сваркой и без тока, на цикл с повторением или

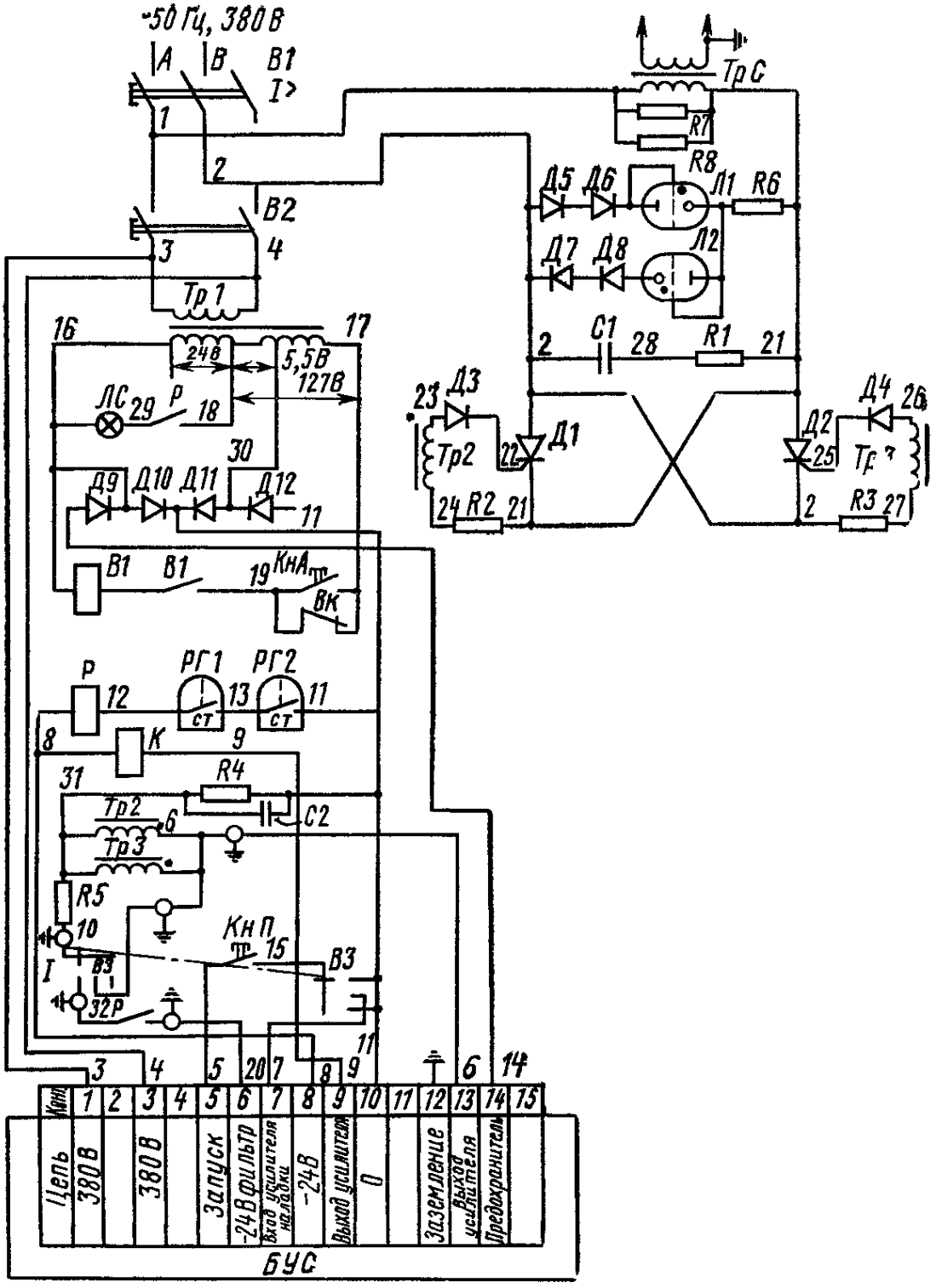


Рис. 98. Принципиальная электросхема точечной машины МТ-1617

только на сжатие. Гидравлическое реле *РГ1* и *РГ2* не допускают включения без подачи воды. Блок БУС на полупроводниковых элементах «Логика Т» и элементах, распаянных на печатных платах, обеспечивает отсчет позиций «Предварительное сжатие», «Сжатие», «Импульс»,

«Интервал», «Проковка», «Пауза», «Переменное сжатие». «Интервал» и «Переменное сжатие» изменяются от 0,02 до 0,2, остальные позиции — от 0,02 до 2 с.

В сварочном контуре со стороны механизма привода встраивается из фольги или многожильных проводов гибкая перемычка (см. рис. 1). Большой контур существенно повышает потребляемую мощность, в особенности при частоте 50 Гц. В низкочастотных машинах и машинах постоянного тока влияние контура проявляется слабее и он может быть значительно больше.

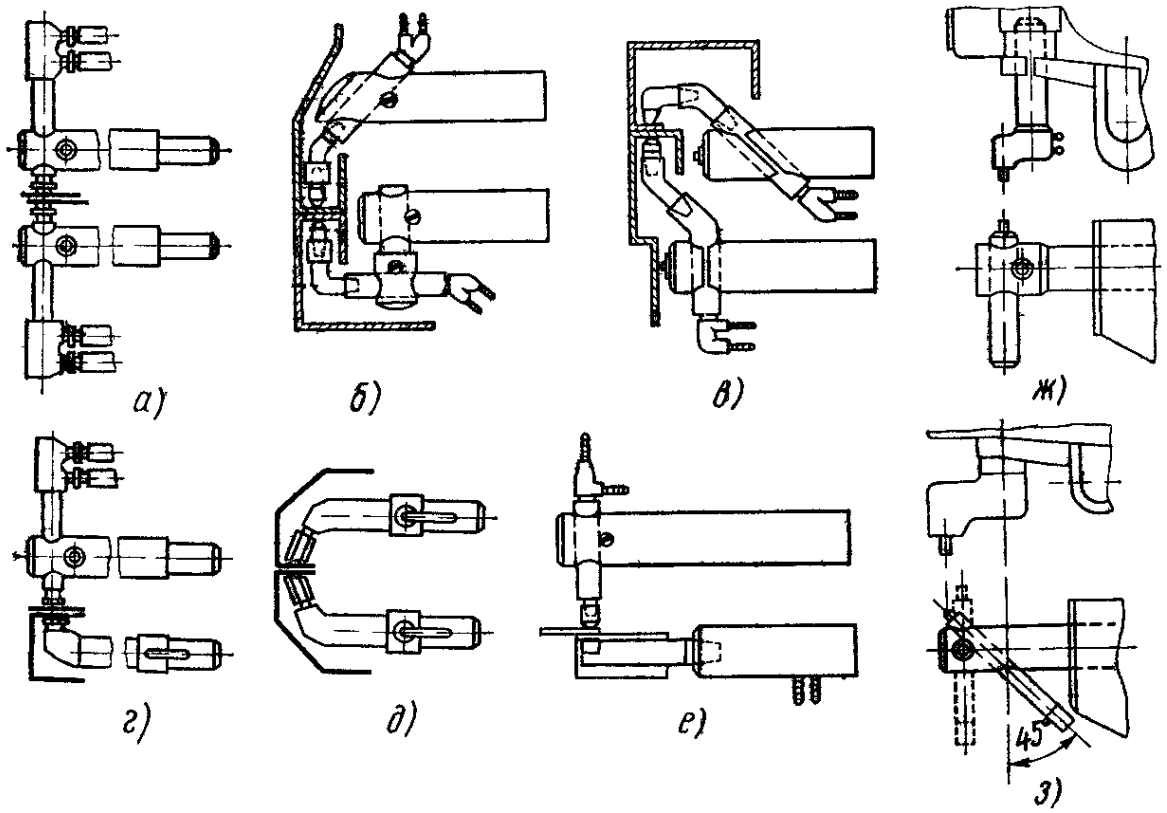


Рис 99. Схемы расположения электрододержателей

Верхняя и нижняя силовая консоли, на которых крепятся медные шины, часто делаются из стали. Крепление электрододержателей и их форма определяются конструкцией деталей (рис. 99, *а* — *з*) и создаваемыми при сварке магнитными полями. При односторонней сварке используют подкладные шины по форме деталей.

Большинство машин работает по жесткой программе, с поддержанием I_c, P_c и t_c в заданном интервале. Также используют обратные связи, при которых регулирование осуществляется по деформации деталей при нагреве и протекающему через них току, энергии, мощности или по математическому описанию процесса. Регулирование по одному из параметров процесса не всегда дает желаемый результат.

§ 38. Типовые машины

Машина точечная МТ-601 (рис. 100) предназначена для сварки низкоуглеродистой стали толщиной 0,2 — 2 мм. Машина имеет электрододержатель с радиальным ходом рычага *2* и пневматический при-

вод с плавной регулировкой P_c. В машине предусмотрена возможность установки педального привода. Верхний электрододержатель, регулируемый по высоте, зажимает детали, и при дальнейшем перемещении педали включается двухполюсный электромагнитный контактор.

Регулятор времени обеспечивает плавное регулирование длительности сварки и пауз.

Машины точечные МТ-1219, МТ-1220 (взамен МТП-50-7) и МТ-1615, МТ-1616 (взамен МТ-1602) предназначены для скоростной сварки низкоуглеродистой стали толщиной до 4 + 4 мм нержавеющей стали до 1 + 1 мм и цветных металлов до 0,5 + 0,5 мм.

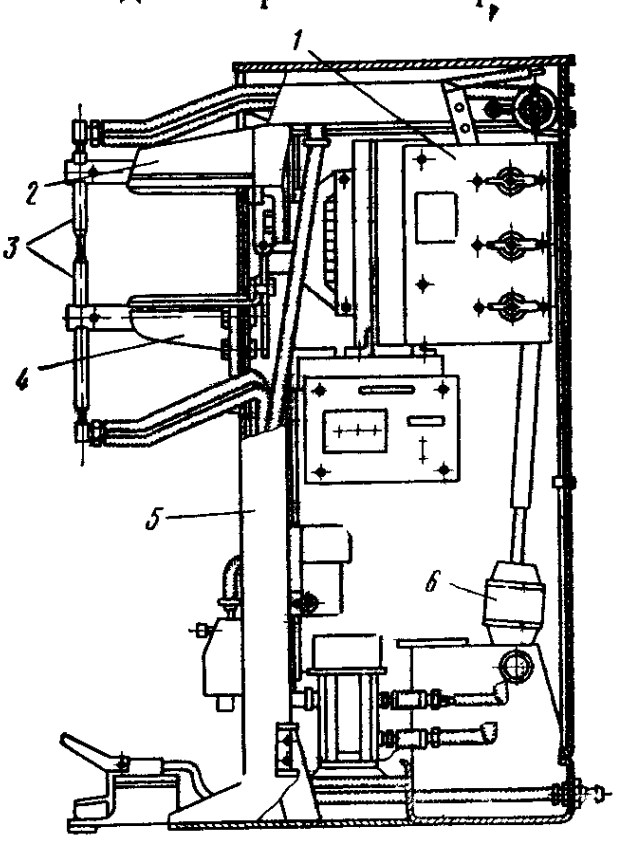


Рис. 100. Машина для точечной сварки МТ-601.

1 — сварочный трансформатор с переключателем ступеней, *2* — рычаг с верхней электродной частью, *3* — электрододержатель с электродами, *4* — кронштейн с нижней электродной частью, *5* — корпус, *6* — цилиндр пневматический

Машина МТ-1223 с W=85 кВ·А, $I_{2н}$ = 12,5 кА, P_c = 1600 кгс (диапазон 100 — 1800 кгс), вылетом 500 мм, раствором 300 мм и ходом верхнего электрода 100 мм предназначена для точечной сварки легированных сталей и титановых сплавов толщиной 0,3 — 2,5 мм. На верхней консоли установлено направляющее устройство, привод электродов и пневмоаппаратура. Нижняя консоль с токоподводом, перемещаемая винтовым домкратом, снабжена вставками консолей. Тиристорный прерыватель с водяным охлаждением, регулятор цикла сварки, переключатель ступеней и автоматический выключатель, размещены в корпусе машины. Импульсы основного и дополнительного тока имеют независимую регулировку по величине (40 — 100% диапазона данной ступени) и могут подаваться с паузой или без нее. Основной импульс имеет модуляцию переднего фронта. Привод обеспечивает два диапазона регулирования (100 — 500 и 400 — 1800 кгс).

Автономный блок управления на элементах «Логика Т» отсчитывает дискретно длительность всех семи интервалов времени и позволяет стабилизировать I_c при колебаниях напряжения сети. Пневмосистема опускает электроды безударно, вначале плавно с малым усилием и лишь в конце с требуемым P_c. Малое усилие нарастает после впуска редуцированного воздуха в полость *Б* (см. рис. 96), а воздух полости *В* позволяет увеличить усилие без удара за 0,10 — 0,12 с и сбросить за 0,07—0,08 с. Машина обеспечивает глубокое (более 5 : 1) регулирование тока (с учетом фазового регулирования).

Машина МТ-4001 предназначена для точечной сварки деталей из низкоуглеродистой стали толщиной от 3,5 + 3,5 до 12 + 12 мм.

Трансформатор, переключатель ступеней и игнитронный контактор встроены в корпус. Регуляторы времени типов РВЭ-7 и РВЭ-8, блок аппаратуры для питания клапана и фильтр для сжатого воздуха помещены в нише задней рамы. Привод пневматический. В воздухопроводах средней и нижней камер для безударной работы установлены дросселирующие клапаны.

Машины точечные выпрямленного тока МТВ-8002 и МТВ-16002 предназначены для сварки легких сплавов толщиной соответственно от 1 + 1 до 4,5 + 4,5 мм и от 3 + + 3 до 8 + 8 мм и нержавеющих сталей толщиной от 0,8 + 0,8 до 5 + 5 мм и от 3 + 3 до 8 + 8 мм.

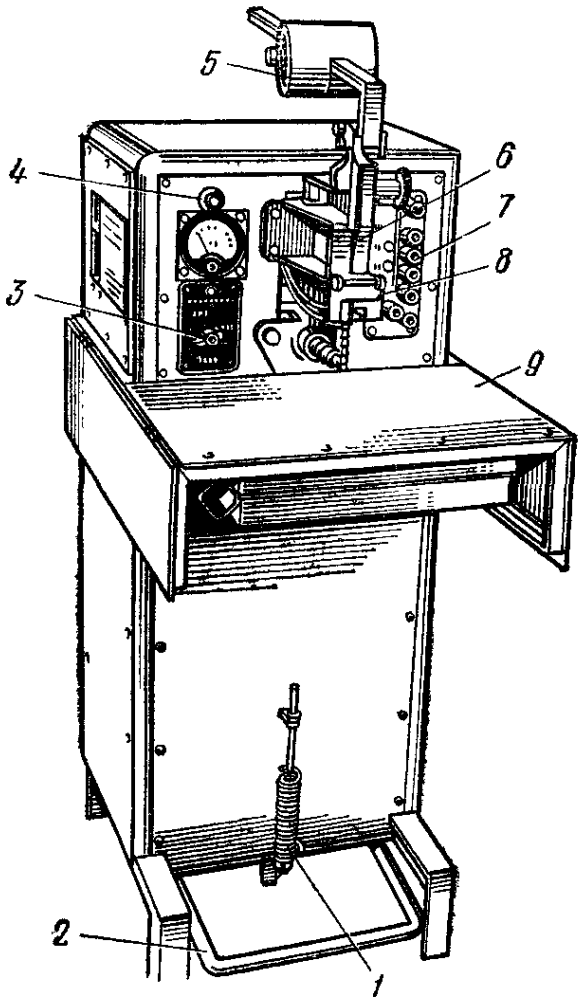


Рис. 101. Точечная конденсаторная машина ТКМ-7:

1 — пружина, *2* — педаль, *3* — выключатель, *4* — сигнальная лампа, *5* — грузовой механизм, *6* — электрододержатель, *7* — переключатель емкости, *8* — переключатель напряжения, *9* — стол

Машина МТВ-6304 с $I_{1в}$ = = 0,92 кА, $I_{2в}$ = 63 кА, вылетом 1500 мм, раствором 500 мм, $P_с$ при работе с проковкой 180—2000 кгс, превышением $P_к$ над $P_с$ 500 — 2000 кгс, рабочим ходом 20 мм и дополнительным 150 мм предназначена для сварки низкоуглеродистой стали толщиной 0,8 — 7 мм, алюминиевых сплавов толщиной 0,3 — 4 мм, нержавеющих и жаропрочных сплавов толщиной 0,5— 4,5 мм и титановых сплавов толщиной 0,5 — 6 мм.

Машина ТКМ-7 (рис. 101) предназначена для точечной сварки деталей толщиной до 0,5 — 0,7 мм к такому же или более толстому металлу. Накопленная энергия (0,3 кВт · с) разряжается на изделие через трансформатор.

Электрододержатель *6* перемещается грузовым рычажным механизмом *5* от педали *2*, подтянутой кверху пружиной *1*. Емкость регулируется штепсельным переключателем *7*, коэффициент трансформации меняется переключателем *8*.

Механический переключатель подгорает и залипает. Стабильность работы источника питания с конденсаторами на 600 В повышена коммутированием зарядного тока синистором, а разрядного — тиристором (рис. 102). Выпрямленное напряжение через резистор *Р2* и контакты кнопки *К1* подается на управляющий электрод семистора *Д1*, который открывается, и начинается зарядка. При сжатии электродов зарядка прекращается (на *Д1* нет напряжения) и с обмотки *W3* выпрямленное мостом *Д8 — Д11* напряжение подается на управляющий электрод тиристора *Д14* через контакты кнопки *К1* и начинается разрядка.

Машина МТК-1601 с двухимпульсным режимом и управлением на элементах «Логика» рассчитана на сварку стали толщиной от 0,05 + 0,05 до 0,8 + 0,8 мм и латуни от 0,05 + 0,05 до 0,6 + 0,6 мм. Один из импульсов тока является сварочным, а второй используется для подогрева или термообработки. Каждый импульс регулируется раздельно.

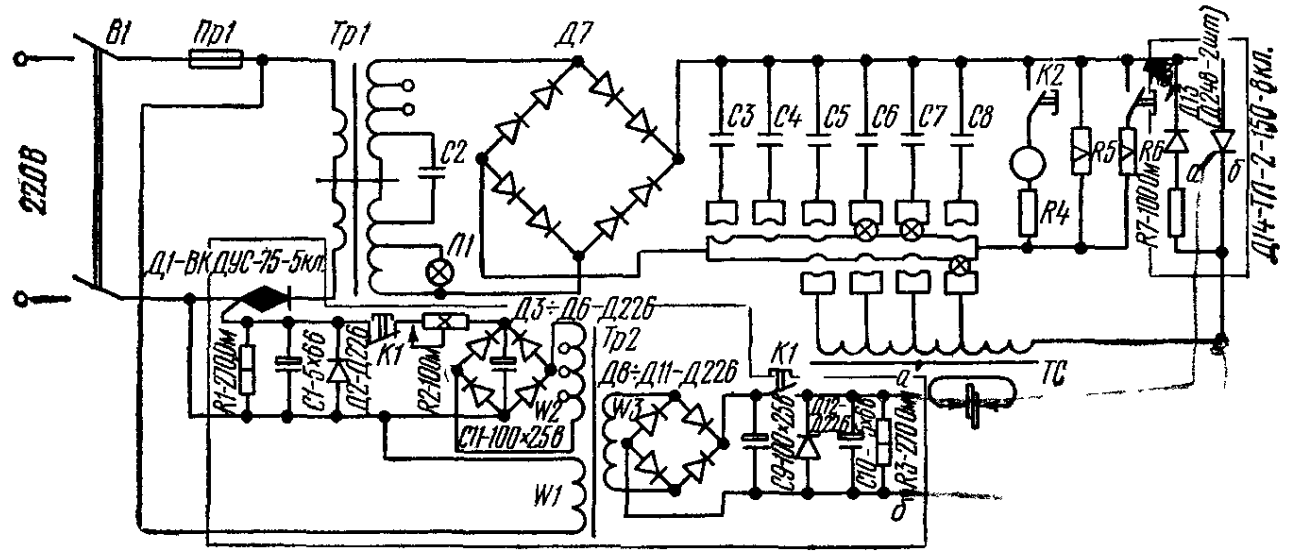


Рис. 102. Схема коммутирования зарядного и разрядного тока в машине ТКМ-7

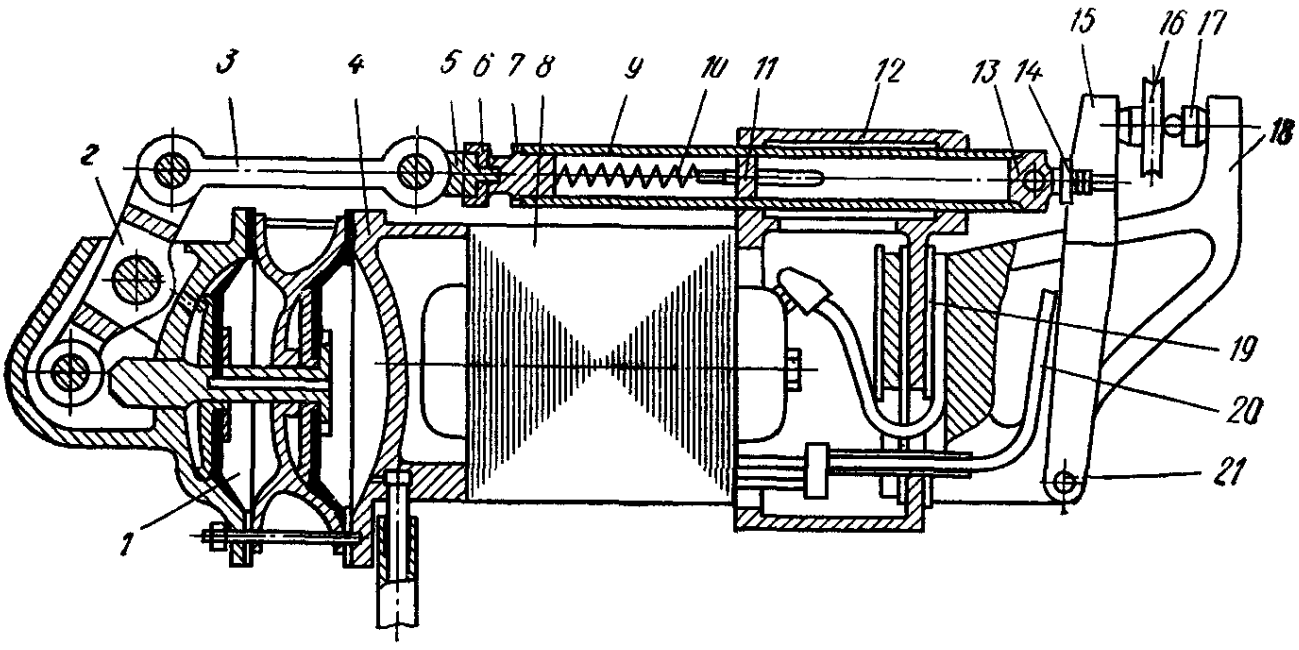


Рис. 103. Подвесные клещи со встроенным трансформатором

Машина МТК-5001 с амплитудным током 50 кА, потребляемой $W_c \leqslant 20$ кВ · А, емкостью 10 500 мкФ (регулирование от 33 до 100%) предназначена для точечной сварки легких сплавов и титана толщиной 0,3 — 1,5 мм, а также нержавеющих и жаропрочных сплавов толщиной 0,3—1,2 мм. Длительность нарастания тока 0,025 с, пауза между сваркой и проковкой 0,03 — 0,07 с. Ход верхнего электрода 150 мм. Усилие сжатия до 1600 кгс. Стабилизированное напряжение заряда регулируется от 200 до 380 В, конденсаторы разряжаются

на первичную обмотку сварочного трансформатора. Привод допускает сварку без предварительного сжатия или без предварительного сжатия и проковки.

Крупногабаритные детали сваривают подвесными клещами со встроенным трансформатором, упрощающим токоподвод и снижающим расход электроэнергии. Конструкции клещей создаются с учетом размеров и формы деталей. Они могут иметь радиальный и прямолинейных ход.

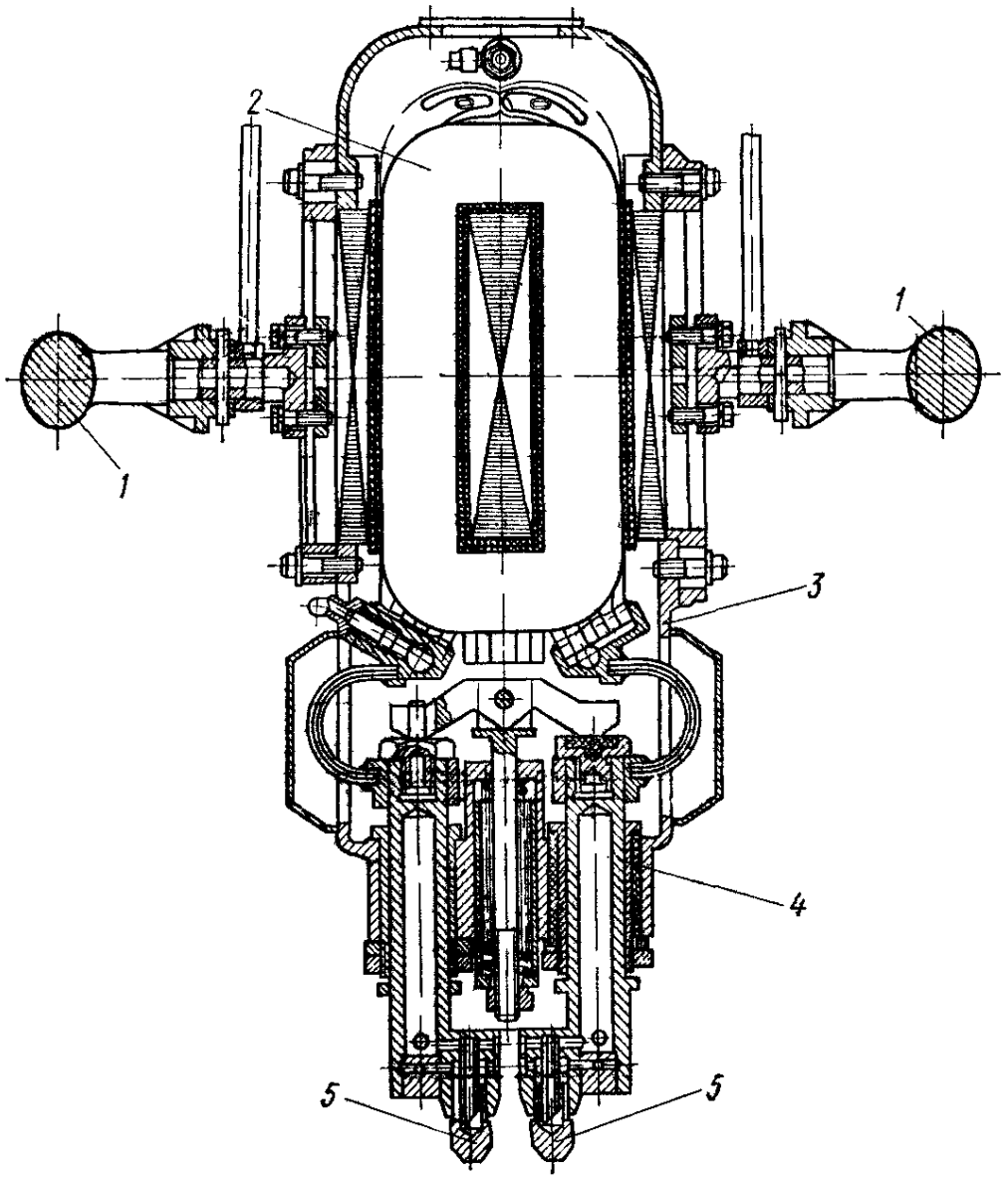


Рис 104 Пистолет К-264 для односторонней сварки:
1 — рукоятка, *2* — трансформатор, *3* — неподвижная консоль, *4* — передняя крышка, *5* — электроды

Трансформатор *8* мощностью 90 кВ·А (рис. 103) (ПВ = 8%) и максимальным питающим напряжением 72 В изменяет U_{20} от 3,2 до 6,6 В. Два его последовательно соединенных вторичных витка охлаждаются водой. К концам магнитопровода прикреплены передний *12* и задний *4* корпуса. Пневмодиафрагменный тандем *1* развивает P_c до 750 кгс. Шток пневмопривода через рычаг *2*, тяги *3*, вилку *5* и резьбовую втулку *6* перемещает шток *9*, с пружиной *10*, опирающейся на вкладыш *11*. Благодаря прямолинейно-радиальному ходу рабочая зона

электродов находится за пределами клещей. Прямолинейное перемещение штока *9* передается подвижному, установленному на изолированной оси *21* электрододержателю *15*, который охватывает электрододержатель *18* с электродом *17* и поворачивается относительно него. Ток подводится шинами *19* и *20*. Рабочий ход до 30 мм без изменения давления регулируется втулкой *6*, которая стопорится гайкой *7*. Электрододержатель *15* с электродом *16* для возврата в исходное положение при обратном ходе связан штоком *9*, штифтом *13* и пружиной *14*.

Клещи К-637 с радиальным и К-651 с прямолинейным ходом предназначены для сварки низкоуглеродистой стали толщиной 6 + 6 мм. Клещи имеют тиристорный регулятор времени РВТУ-200М и тиристорный прерыватель на вентилях ТЛВ-320. Регулятор программирует независимо амплитуду и длительность тока при подогреве, сварке и отжиге, изменяет по программе P_c, модулирует ток, задает непрерывный или пульсирующий режим. Усилие сжатия P_c изменяется от 500 до 1000 кгс. Для односторонней сварки листовых конструкций толщиной от 1,2 ÷ 3,5 мм применяют пистолет К-264 со встроенным трансформатором (рис. 104). Электроды качаются на опоре, равномерно прижимаясь к детали.

§ 39. Специальные машины

Специальные машины бывают многоэлектродными, двух- и одноэлектродными со специальными поворотными столами, устройствами для подачи и механизмами вращения деталей, а также одно- и миогоэлектродными быстроперестраивающимися с системами программного перемещения электродов или деталей с электродами, а также многотрансформаторными с групповым включением нескольких малогабаритных трансформаторов с первичной стороны (рис. 105).

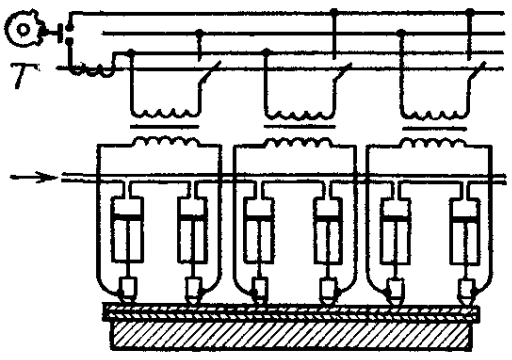


Рис. 105. Схема многотрансформаторной многоэлектродной машины

Обычно многотрансформаторные машины имеют форму пресса, в котором трансформаторы и электродная часть располагаются на верхней траверсе, а на нижней подвижной траверсе или столе монтируется кондуктор для сборки и сварки.

В прессах рамной четырехстоечной конструкции удается создать быстросъемные верхние и нижние сварочные устройства с пистолетами. В пневматических пистолетах с обычными давлениями минимальный шаг часто превышает 100 мм, а в гидравлических он значительно меньше. Односторонние и двусторонние С-образные прессы имеют подвижный стол с электроприводом через редуктор и кулису, жестко закрепленную сварочную оснастку или сменные штампы, пистолеты с механизмами их перемещения, цилиндры для прижима деталей, контрэлектроды, а также пневмоцилиндры для уравновешивания штампа при его подъеме, компрессор и систему управления.

Пневмосистема снабжена глушителями, а все соединения штампа делаются быстроразъемными.

В пневматическом пистолете с одной рабочей полостью расположены на штоке *2* (рис. 106, *а*) поршни *1* и *4*, перемещающиеся в цилиндре *3*. Сжатый воздух подается через одно из от-

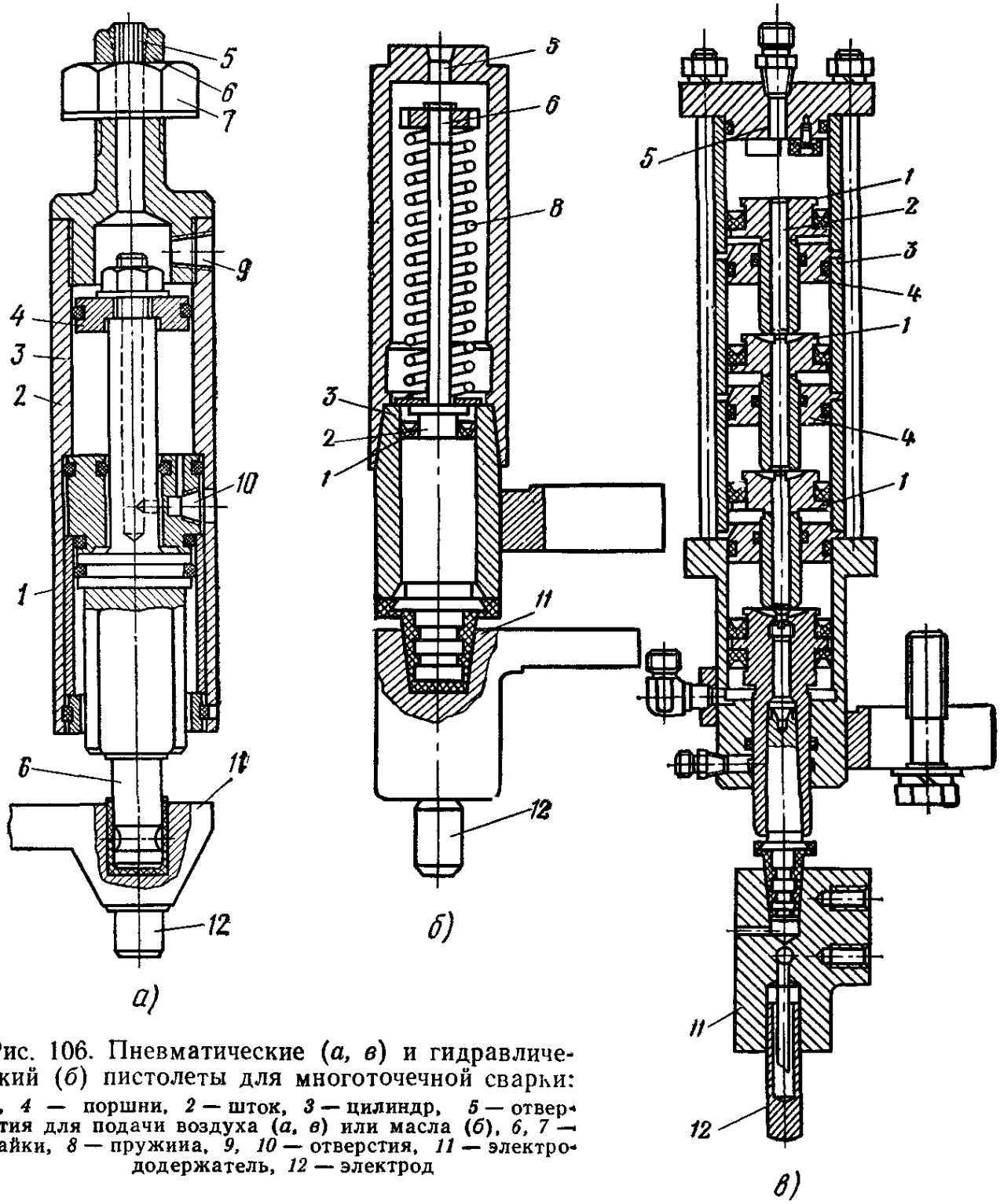


Рис. 106. Пневматические (*а*, *в*) и гидравлический (*б*) пистолеты для многоточечной сварки: *1*, *4* — поршни, *2* — шток, *3* — цилиндр, *5* — отверстия для подачи воздуха (*а*, *в*) или масла (*б*), *6*, *7* — гайки, *8* — пружина, *9*, *10* — отверстия, *11* — электрододержатель, *12* — электрод

крытых отверстий *5* или *9* при открытом отверстии *10*. Плавное перемещение обеспечивается поступлением воздуха сначала в камеру над верхним поршнем, а затем под нижним. При обратном ходе воздух через отверстие *10* подается в камеру под верхним поршнем. Пистолет закрепляется на хвостовике гайкой *7*. Хвостовик используется для крепления электрододержателя *11*. Лыски препятствуют вращению

штока. При диаметре цилиндра 76 мм и давлении около 5кгс/мм² пистолет развивает усилие до 370 кгс.

Пистолет для работы с повышенным давлением имеет расположенные одна над другой рабочие полости (рис. 106, *в*) и обеспечивает расстояние между точками до 52 мм.

Внутренние поверхности цилиндров после точной и чистой обработки хромируются или азотируются. Рабочие поверхности при высоком давлении разделяются центральной втулкой, которая крепится стопорным винтом. Верхний поршень штока напрессовывается и закрепляется гайкой, а нижний изготавливается за одно целое со штоком. Шток имеет отверстие для подвода воздуха в нижнюю полость цилиндра, а в канавки поршня вставляются манжеты из маслостойкой резины. На штоке через изоляционную втулку закрепляется электрододержатель из термообработанной хромистой бронзы. Токоподводящая колодка из медного сплава имеет отверстия для соединения с электрододержателем и токоподводящим кабелем. В гидравлическом пистолете (рис. 106, *б*) шток удерживается в верхнем положении пружиной *8*, упирающейся в корпус и шайбу, закрепленную на ввернутую в шток шпильку.

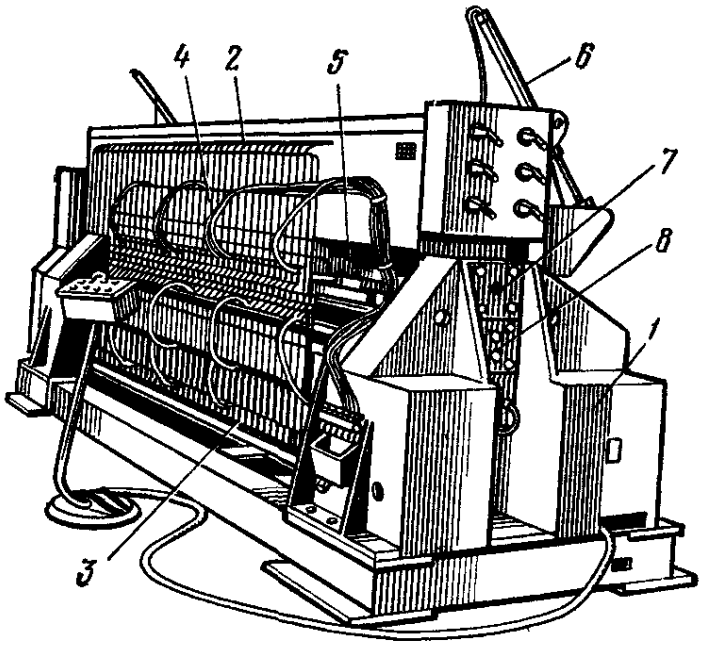


Рис. 107. Многоточечная машина МТМ-20

Ряд многоточечных машин создан из унифицированных узлов. Так, машина МТМ-20 с гидравлическим приводом имеет станину *1* (рис. 107) с верхней и нижней балками *2* и *3*, на которых смонтированы трансформаторы *5* и сварочные пистолеты *4*. Гидроцилиндры *6* разворачивают балки относительно осей *7* и *8* при сварке высоких изделий. Количество пистолетов может изменяться от 4 до 144. Машина управляется с пульта или по командам из непрерывно работающей линии. Система управления на элементах «Логика Т» надежно защищена от помех. В машине обеспечено регулирование длительности сжатия, сварки, проковки и паузы, а также фазное регулирование тока тремя тиристорными прерывателями, включающими унифицированные трансформаторы ТК-3205. Пневмогидравлические преобразователи повышают давление масла до 45 — 100 кгс/мм².

Многотрансформаторные машины непрерывно совершенствуются.

Машины с поворотными столами применяются при совмещении операций сборки и сварки. В такого рода машинах наряду с ручной сборкой широко применяются различного рода питатели.

Сварочные установки с движущимися столами, на которых закрепляются детали, широко применяются при сварке большого количества точек на серийных машинах.

Сварочные установки с порталами и движущимися поступательно столами применяются для сварки длинных деталей (пола вагона и др.). Поперечное перемещение головок сокращает их количество и потребляемую мощность.

Начинают применяться автоматы, заменяющие человека и наделенные в какой-то мере способностью к самостоятельному мышлению.

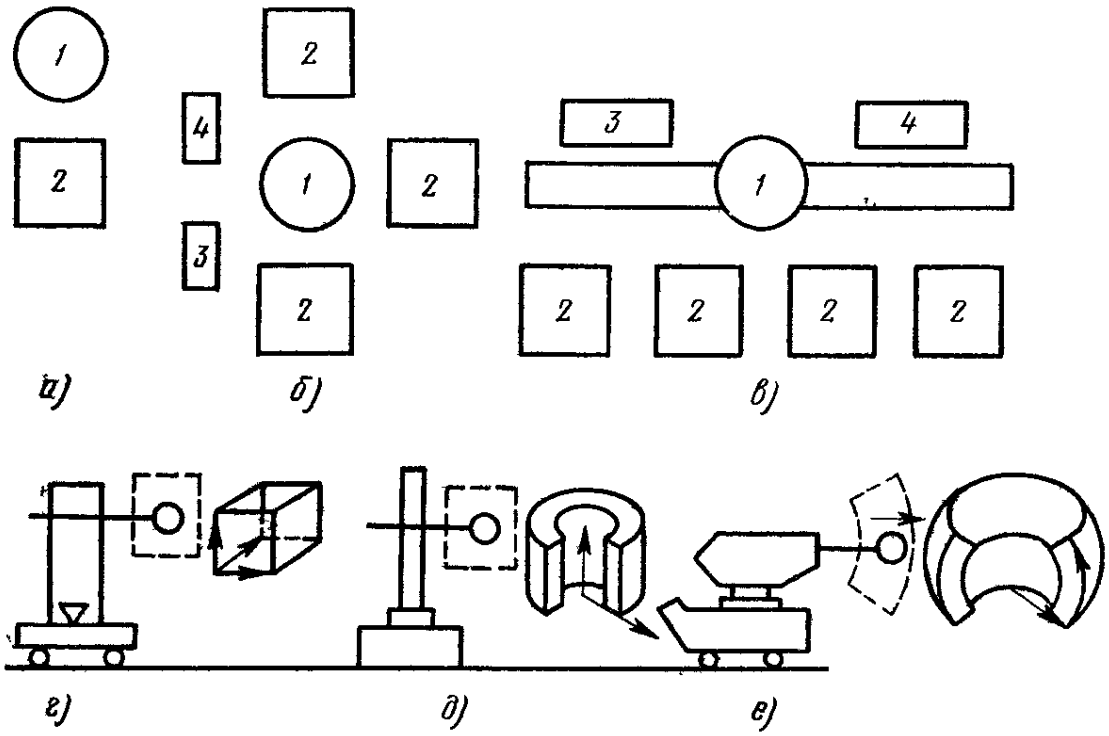


Рис. 108 Схемы обслуживания роботом *1* сварочных машин *2* (*а, б, в*) и области, обслуживаемые рабочим органом роботов различной конструкции (*г, д, е*); *3, 4* — места складирования

Их называют роботами. Робот может работать совместно с другими автоматами, автоматизируя мелкосерийное и даже индивидуальное производство.

Промышленный робот как автомат с программным управлением имеет рабочие органы (обычно механическую руку) с тремя — семью степенями свободы, датчики взаимодействия с окружающей средой, память, программу обучения, позволяющую осуществлять быструю переналадку, системы для объединения с другими роботами и с центральной электронной цифровой вычислительной машиной. Робот управляется человеком, копируя его движения, или движения задаются специальными автоматами. Управляемый вручную или автоматически робот взаимодействует с окружающей средой через механические руки, которые обучают с помощью кнопок ручного управления через кодовый датчик, передающий информацию на вход блока памяти. Запоминание и воспроизводство осуществляется соответствующими электрическими или другими устройствами. Программы отрабатывают с помощью поворотных или линейных потенциометров, сельсинов, шаговых и других датчиков положения.

Рабочий орган (механическая рука) перемещает сварочное устройство (при точечной сварке клещи) в заданную точку пространства и ориентирует ее определенным образом. Рабочий орган (обычно консольный) должен быть маневрен, грузоподъемен, быстроходен и точен по рабочим позициям. В современных промышленных роботах число степеней свободы изменяется от 3 до 7, грузоподъемность от 2 до 600 кгс, скорость от 0,5 до 3 м/с, точность позицирования от 1 до 3 мм. Число точек позицирования может быть более 200. Роботы помимо

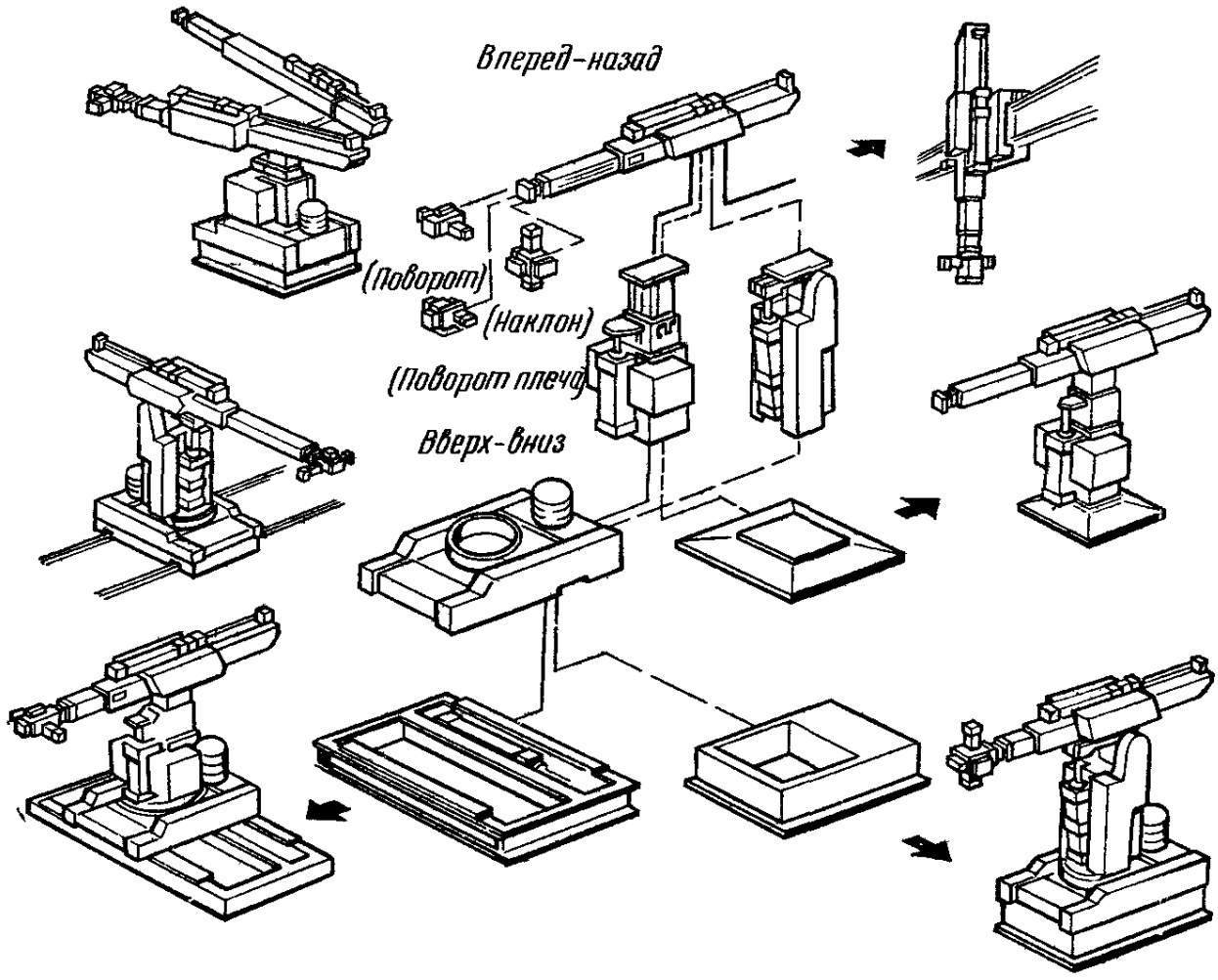


Рис 109 Модульно-блочная конструкция робота (середина) и возможные ее комбинации (слева и справа)

перемещения сварочных устройств используют для транспортировки и загрузки деталей в одну (рис. 108, *а*) или несколько сварочных установок, расположенных вокруг робота (рис. 108, *б*) или вдоль в ряд (рис. 108, *в*). Робот, управляемый вычислительной машиной по определенной программе, забирает со склада заготовки, устанавливает их в машину, забирает из нее после сварки и складирует в определенном месте.

Роботы с клещами используют при точечной сварке узлов автомобиля (до 60 точек в минуту с точностью $\pm$ 1 мм) и других листовых конструкций, позволяя более полно и производительно использовать сварочное оборудование.

Универсальные роботы не всегда пригодны для сварки, так как она требует точного криволинейного и пространственного перемещения,

повышенной жесткости конструкции и высокой производительности при помехоустойчивости и адаптации (из-за возможных отклонений в размерах изделия). В отечественных роботах движение по каждой из пяти координат осуществляется шаговым гидроэлектроприводом. Для широкого применения роботов необходимы системы управления сва-

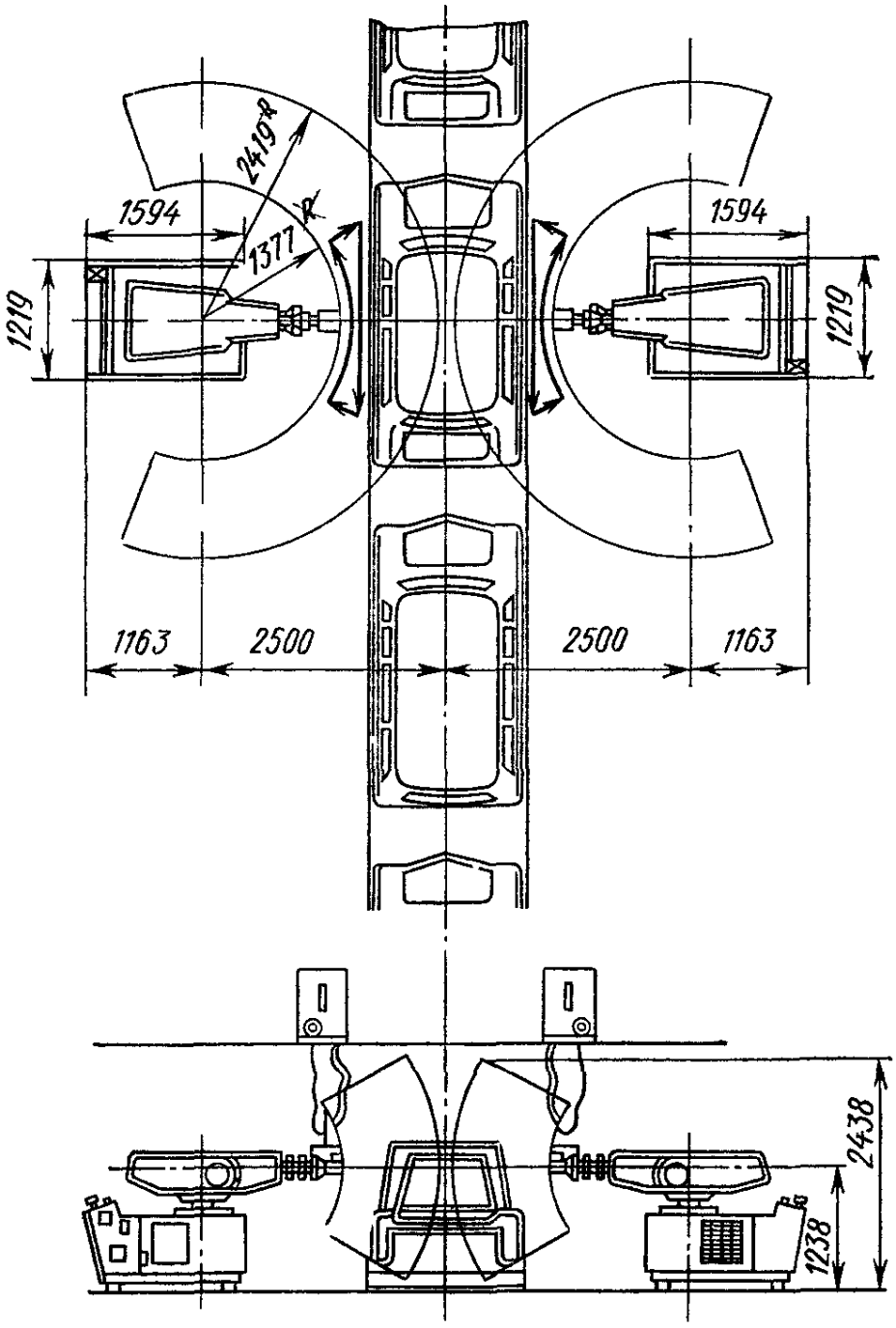


Рис. 110. Схема расположения роботов при точечной сварке правой и левой сторон кузова автомобиля

рочиыми и вспомогательными операциями, встроенные источники тока, специальный сварочный контур, большой объем памяти, маневренность в труднодоступных местах и др.

Робот может двигаться в прямоугольных (рис. 108, *г*), цилиндрических (рис. 108, *д*) и полярных (рис. 108, *е*) координатах. Простейший сварочный робот, используемый для точечной сварки, оснащается сварочной головкой, соединенной с консолью. Консоль в свою очередь

связана с корпусом. Ток от трансформатора через кабели и шины поступает к электродам и клещам. Изолированные друг от друга шины перемещаются вместе со сварочной головкой относительно консоли. На сварочной головке установлен пневматический цилиндр для поворота электродов. Робот имеет пять степеней свободы в комбинированной системе полярных координат, обеспечивает точность ± 1 мм в любых точках рабочего пространства, может работать с номинальной нагрузкой 50 и максимальной 100 кгс.

Робот имеет девять программ управления и обучается вручную. Рука управляется гидравлическим сервоклапаном с давлением масла 70 кгс/см^2.

Созданы модульно-блочные конструкции роботов (рис. 109), позволяющие выбирать простейшее экономически выгодное рабочее про-

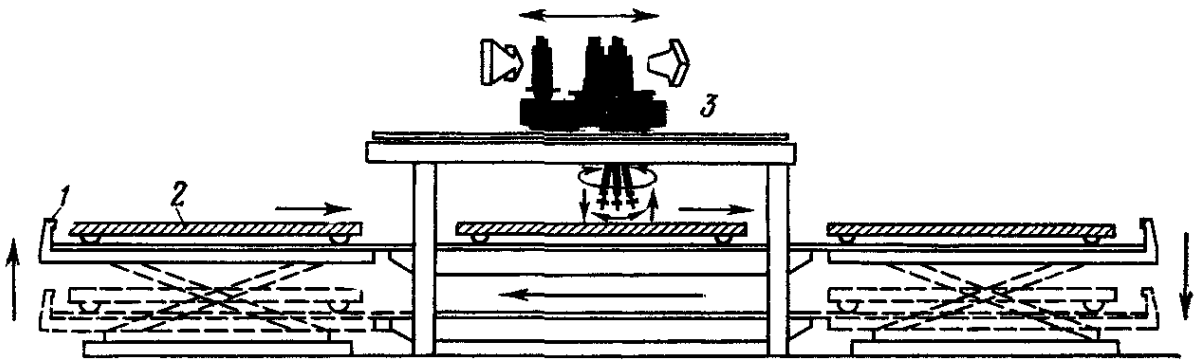


Рис. 111. Простейшая координатная машина

странство. Взаимозаменяемость между гидравлическими сервомеханизмом и двухпозиционным пневмомеханизмом обеспечивает простоту сборки, а телескопическая конструкция плеча — большой ход.

Роботы особенно эффективны при непрерывной трехсменной работе. Примером может служить робот «Unimat-200», сваривающий стороны кузова автомобиля (рис. 110) или нижний поддон автомобиля. Масса рабочей головки робота 19 кг, он имеет шесть степеней свободы, сваривает изделие за 27 с без пропуска точек и с точностью ± 1,3 мм. Его программа меняется сменой одной из 180 перфокарт.

Также созданы машины, в которых программируется перемещение не только электродов, но и деталей. Такая простейшая точечная координатная машина с цифровым управлением имеет четыре степени свободы. Тележка *1* машины (рис. 111) с установленным изделием *2* поднимается, перемещается и двигается под сварочным устройством *3*, которое может смещаться по двум взаимно перпендикулярным направлениям, а электроды могут вращаться и покачиваться. Перемещение по вертикали является рабочим. Вместо конечных выключателей и других регулирующих устройств, машина управляется по жесткой, заранее рассчитанной числовой программе с помощью перфолент или перфокарт, позволяющих быстро изменять положение головки. Такое программирование упрощает труд сварщика. Машина в верхних продольных балках имеет рельсы и зубчатые рейки для координатной тележки. На средних и нижних поперечных и продольных соединениях

закреплены рельсы для приемной тележки, которая возвращается по нижней плоскости. Цепной транспортер перемещает тележки. Сварочное устройство имеет поворачиваемые в плоскости на 360° головки, трансформатор мощностью 100 кВ · А (ПВ = 50%), поворотный элемент и четыре двухподъемных сварочных цилиндра с электродами. Сварочные цилиндры соединены попарно в узлы и повернуты друг к другу на 15°. При желаннн одну группу можно приспособить для односторонней, а другую для двусторонней сварки. По этому же принципу создана серия машин с цифровым управлением для сварки отдельиых конструкций, причем в ряде случаев они совмещены с гибочными и другими устройствами.

Контрольные вопросы

1 В чем заключаются отличия машнн для точечной сварки переменным, выпрямленным и импульсным токами?

2 Расскажите о преимуществах, недостатках и областях применения многоточечных машин.

ГЛАВА VIII

ТЕХНОЛОГИЯ ШОВНОЙ СВАРКИ

Шовная сварка по природе близка к точечной сварке. При перекрытии точек образуется прочноплотный шов, а без перекрытия — прочный шов или ряд точек.

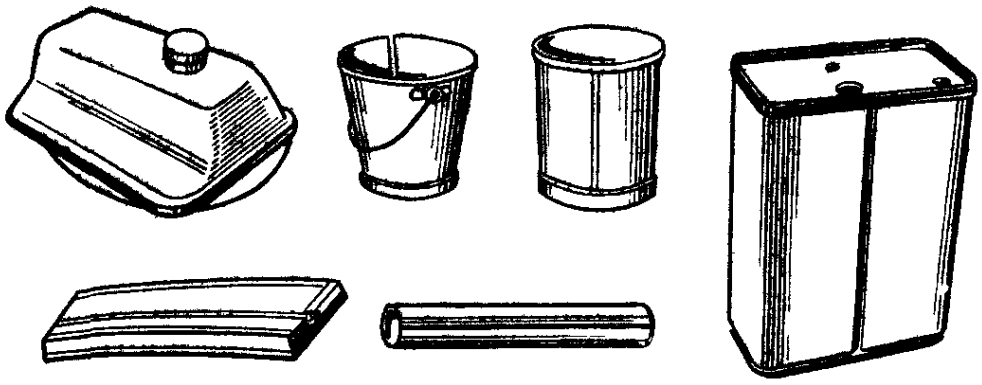


Рис. 112. Детали, сваренные шовной сваркой

Шовной сваркой соединяют различные изделия, в частности бензобаки, ведра, трубы, бочки (рис. 112), сильфоны и др. преимущественно листовые детали.

§ 40. Разновидности шовной сварки

Ток при шовной сварке включается после сжатия деталей электродами — роликами, которые могут вращаться непрерывно (непрерывная сварка) или периодически (шаговая сварка). При непрерывном вращении роликов ток на участке контакта деталей может включаться

импульсами через длительные паузы (рис. 113, *а*) с образованием круглых или вытянутых по направлению движения точек При уменьшении пауз возможно совпадение границ расплава (рис 113, *б*) некруглых точек и образование шва, а при уменьшении скорости $v_с$ их перекрытие (рис. 113, *в*) Шов также образуется при определенных режимах сварки переменным током без пауз (рис. 113, *г*). Изменение тока в полупериодах (рис. 113, *д*) еще более расширяет возможности непрерывной сварки. При малых $v_с$ непрерывная сварка связана с большими потерями тепла, а при больших $v_с$ появляются выпучивание и трещины в литой зоне. Листы толщиной 2 мм на жестких режимах при повышенных $P_с$, $I_с$ и радиусом электрода $R_э$ сваривают при $v_с$ = = 1,8 — 2 м/мин.

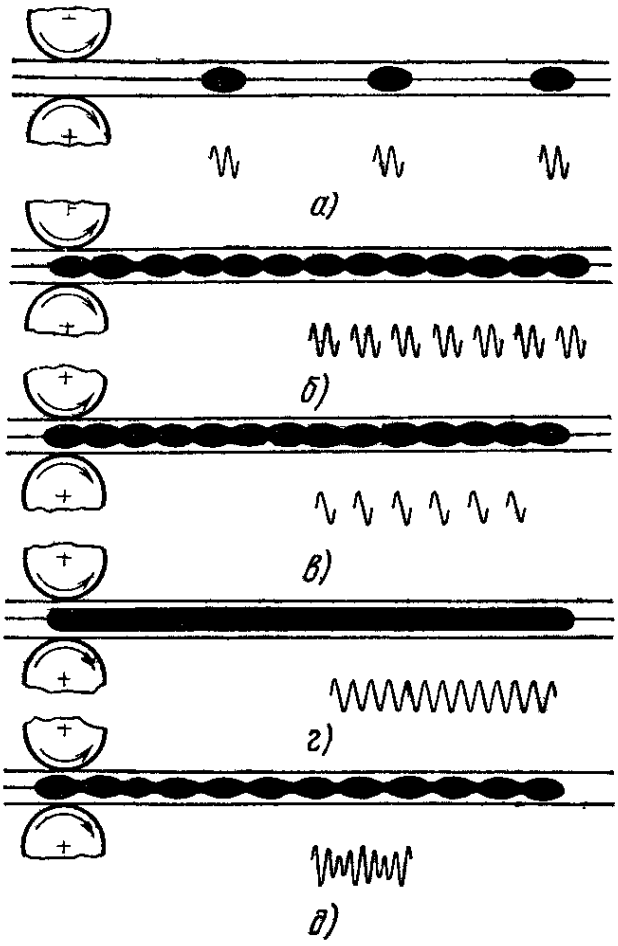


Рис. 113. Схемы шовной сварки при разных паузах между импульсами тока

Трещины предупреждают сужением литой зоны до 3 δ. Полосы толщиной δ = 3 мм сваривают прочноплотным швом с $v_с < 2$ м/мин. Значительные скорости сварки (до 10 м/мин) на тонких листах получают при фазовом регулировании пауз и длительности протекания тока в каждом полупериоде, повышении частоты тока до 100 — 200 Гц, а также при использовании для подогрева постоянного тока с положением на него импульсов, обеспечивающих образование расплава.

Детали δ = 0,2 мм при частоте тока 50 Гц и непрерывном его протекании сваривают при $v_с$ = 5 м/мин. С увеличением δ усиливается износ и смятие электродов, возможны выплески и поджоги деталей. Прерывание тока и увеличение жесткости режима устраняют эти явления. Поэтому детали толще 0,5 мм обычно сваривают импульсами тока при непрерывном вращении электродов. Скорость сварки деталей ответственного назначения толщиной 0,5 мм близка к 1,2 м/мин, а толщиной 2,5 мм к 0,5 м/мин. Ориентировочно длительность паузы $t_п$ определяют

$$t_п = 0{,}02864 \frac{\sqrt{\frac{P_с R_э}{b}}}{v_с} - t_с, \text{ с},$$

где b — ширина электрода.

При сварке легких сплавов применяют шаговое перемещение деталей и включение тока в моменты остановки электродов. Это повышает ток на 10 — 15%, ускоряет охлаждение и кристаллизацию расплава под давлением, обеспечивая более глубокий провар без перегрева наружной поверхности. Детали для повышения стойкости роликов перемещают с малым, а сваривают с бóльшим усилием $P_с$. Скорость вращения электродов при выключенном токе нарастает до максимальной величины и снижается до нуля.

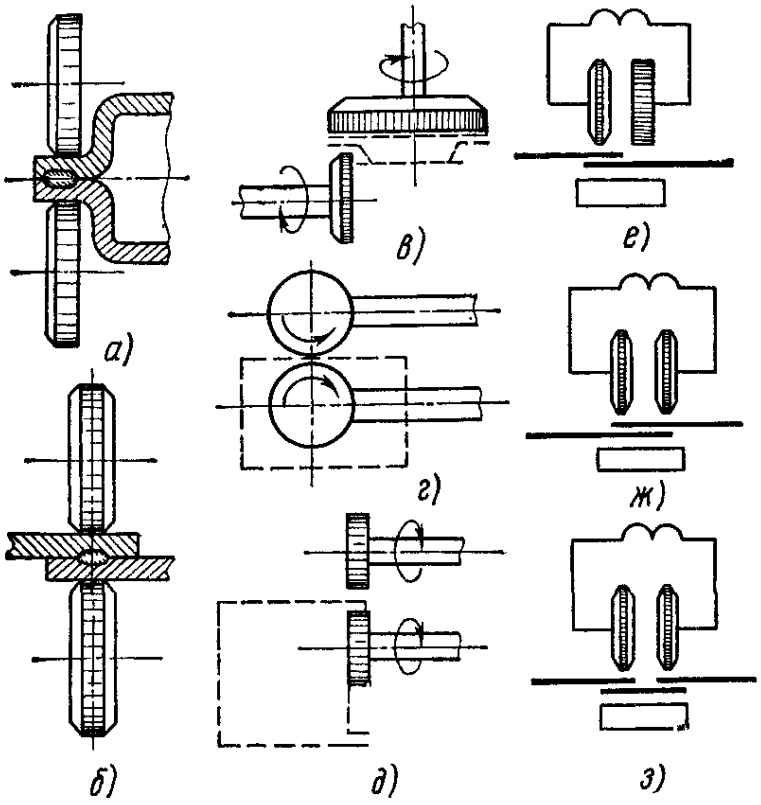


Рис. 114. Некоторые приемы шовной сварки

Шовную сварку выполняют по отбортовке (рис. 114, *а*), внахлестку (рис. 114, *б*), а также с использованием одного, двух или четырех электродов при их размещении вдоль (рис. 114, *г*) и поперек (рис. 114, *д*) токоподводов, а также при перпендикулярном размещении электродов (рис. 114, *в*). Парное размещение электродов может быть с одной (рис. 114, *е*, *ж*, *з*,) или двух сторон свариваемой детали. Тонкие детали, имеющие защитное покрытие, сваривают при пропускании между деталями и электродами круглой или профильной медной проволоки различной формы, упрочняемой прокаткой или волочением. Проволоку иногда покрывают легкоплавкими металлами (Zn, Pb, Sn или Al). У сталей $\delta = 1 + 1$ мм с защитным покрытием при $P_с = 600$ кгс и $W = 75$ кВ · А (ПВ = 50%), $v \leqslant 10$ м/мин.

§ 41. Формирование соединения

Шов в отличие от точки образуется при значительном шунтировании тока ранее сваренным участком и сильном разогреве свариваемых кромок.

Шунтирование проявляется в понижении плотности тока j со стороны ранее сваренной точки тем большем, чем меньше ρ, $S_т$ и больше δ. С увеличением $S_т$ до определенной величины ток шунтирования мало влияет на $d_я$, а с уменьшением ширина ядра не меняется, а наиболее заметно уменьшается с противоположной от сваренной точки стороны. При шовной сварке плотным швом ток только на 15% выше, чем при обычной точечной сварке (в обоих случаях $t_с$ и $P_с$ const). Это обусловлено теплопередачей от соседних точек и снижением $R_{эд}$ из-за интенсивной деформации металла в зоне контакта впереди элект-

рода. Подогретый основным и шунтирующим током металл при этом течет в боковой зазор и позади электрода в пространство под ним. Диаметр вмятины обычно больше, чем $d_я$, у легких сплавов на 20 — 40%, у низкоуглеродистых и жаропрочных сплавов — на 10 — 30% и 10% соответственно.

Несмотря на шунтирование, прочноплотный шов сталей из-за высокого ρ соседней горячей точки представляет собой ряд почти симметрично перекрывающихся точек (рис. 115, *а*). У алюминия ранее сваренная точка охлаждается быстрее и из-за большего шунтирования (рис. 115, *б*) точки несимметричны. Широкая зона нагрева снижает сопротивление деформации, допуская сварку без выплесков с уменьшением $t_с$ и повышенной $v_с$. При шовной сварке $P_с$ такое же, как при точечной, хотя $t_п$ у легких сплавов несколько больше. Скорость сварки $v_с$, зависящую от $t_с$ и $t_п$, выбирают с учетом требуемого перекрытия точек. Режимы отрабатывают на тщательно подготовленных листах при их установке между хорошо охлаждаемыми и зачищенными электродами без перекосов с соблюдением формы и размеров ядра.

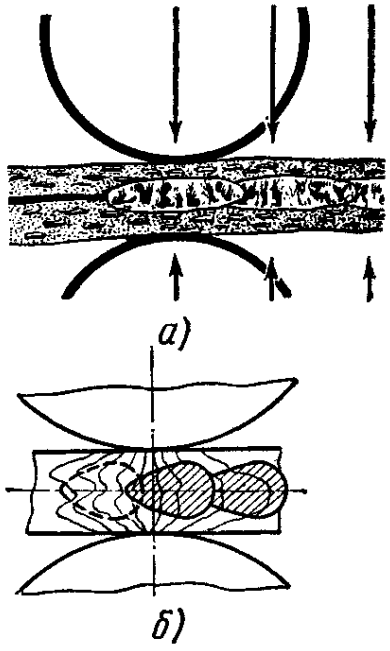


Рис. 115. Схемы формирования шва при сварке стали (*а*) и алюминия (*б*)

Разнородные или разнотолщинные детали сваривают так же, как при точечной сварке.

При шовной сварке деталей одинаковой толщины симметричное ядро образуется при равных площадях контактирования верхнего и нижнего электрода.

У круглых деталей малого диаметра площадь контактирования наружного электрода меньше, чем у внутреннего, и ядро из-за интенсивного охлаждения смещается в наружную деталь. Уменьшение диаметра внутреннего электрода или уменьшение его толщины выравнивает нагрев. Чем жестче режим, тем меньше смещается ядро в толстую деталь. Необходимое при таком режиме высокое $P_с$ трудно обеспечить из-за недостаточной мощности привода имеющихся машин.

При сварке металлов с разными свойствами на обычных режимах расплав смещается в деталь с меньшей теплопроводностью. Если кольцевая деталь с меньшей теплопроводностью находится над теплопроводной и детали свариваются одинаковыми электродами, то проплавление теплопроводной детали будет несколько больше. Уменьшая диаметр верхнего электрода, можно обеспечить равномерное проплавление. Если снаружи имеется более теплопроводная деталь, то при одинаковых электродах она вовсе не проплавляется.

Тонкая кольцевая деталь снаружи проплавляется лучше. Если ее поместить внутрь, то диаметр нижнего электрода следует уменьшить. Менее теплопроводная, тонкая деталь снаружи прогревается лучше, чем внутри. В толстой, более теплопроводной, детали расплав при одинаковых электродах не образуется, а при малом электроде внутри

и большом снаружи проплавление выравнивается. Трудности сварки кольцевых швов растут с увеличением разности толщин деталей и уменьшением их диаметра.

Количество тепла, выделяемого в зоне сварки, зависит от $t_с$, $I_с$, $R_{ээ}$ и потерь тепла в электроды и детали. Ток регулируют изменением W и $R_{ээ}$. Соотношения между $I_с$ и $R_{ээ}$ во многом зависят от $t_с$ (от потери тепла).

При герметической сварке электрод частично остается во вмятине от предыдущей точки, чем увеличивается площадь его контакта и снижается начальное $R_{ээ}$ по сравнению с точечной сваркой. По мере формирования расплава $R_{ээ}$ продолжает снижаться, причем его конечные значения из-за большей площади контакта ниже, чем при точечной сварке. У деталей с $\delta_1 \neq \delta_2$ сопротивление $R_{ээ}$ повышается по сравнению с двумя тонкими деталями $\delta_1 = \delta_2$ примерно пропорционально суммарному $\delta_1 + \delta_2$.

Диаметр ядра $d_я$, шаг $S_т$ и величину нахлестки a (табл. 18) выбирают в зависимости от δ. Минимальные $d_я$ и a у сталей разной толщины увеличивают до 25%.

18. Конструктивные элементы соединений, выполняемых шовной сваркой (мм)

$\delta_1+\delta_2$	d, мм	Предельное отклонение d, мм	$S_т$	a
0,3	2,5		6	3,0
0,4—0,6	3,5		7	3,5
0,7—0,8	4,0	+1,0	10	5,0
0,9—1,1	4,5		12	6,0
1,2—1,4	5,0		13	6,5
1,5—1,6	6,0		14	7,0
1,8—2,2	7,0		15	7,5
2,5—2 8	7,5	+1,5	18	9,0
3,0	8,0		20	10,0

§ 42. Подготовка к сварке

Детали к шовной сварке готовят так же, как для точечной. При плохой очистке деталей ток шунтирования уменьшается и качество шва ухудшается. Коробление деталей уменьшают прихваткой по оси шва точками без глубоких вмятин с шагом 50 — 100 мм. Созданы приспособления для сборки, в которых пружины убираются автоматически при подходе электрода.

Очень плотная сборка усиливает шунтирование тока, а сборка с большими зазорами ведет к набеганию металла и нарушению герметичности соединения, в особенности на кольцевых деталях. Кольцевые детали следует равномерно прихватывать по периметру шва.

Нахлестка a выбирается в зависимости от δ (см. табл 18). Нахлестка при однорядном шве у низкоуглеродистой и нержавеющей сталей примерно в 2 раза меньше нормального шага между точками; для алюминиевых сплавов нахлестка больше шага на 3 — 6 мм.

§ 43. Режимы сварки

Режимы выбирают по технологической карте, ориентировочным данным (табл. 19) или номограммам (рис. 116) с учетом оборудования, δ и свойств металла, а также требований к качеству.

19. Ориентировочные режимы шовной сварки деталей равной толщины

Группа металлов	Металлы	δ, мм	Цикл по рис. 89	I_c, А/мм²	P_c, кгс/мм²	t_c, с	$t_п$, с	v_c, м/мин
1	Ст1кп, Ст2сп	1+1	б	850	22	0,06	0,06	0,85
		3+3	б	280	15	0,26	0,30	0,45
2	30ХГСА, 45, 40ХН2МА, 11Х11Н2В2МФ	1+1	б	850	36	0 12	0,12	0,50
		3+3	б	300	19	0,30	0,34	0,35
3а	12Х18Н9Т, ХН78Т, 15Х18Н12С4ТЮ	1+1	б	630	38	0,08	0,10	0,65
		3+3	б	210	20	0,20	0,34	0,35
3б	ХН75НБТЮ, ХН70Ю, ВЖ85, ВЖ120, ХН38ВТ	1+1	б	620	68	0,16	0,24	0 35
		3+3	б	200	28	0,40	0,68	0,20
3в	ХН70ВМТЮФ, ХН77ТЮР ВЖ98	1+1	б	610	70	0,18	0,24	0,35
		3+3	б	200	34	0,42	0,68	0.20
4	ОТ4, ВТ6С, ВТ20, ВТ5	1+1	б	500	22	0,12	0,16	0,50
		3+3	б	190	14	0,32	0,46	0,30
5а	АМг6	1+1	в	3500	35	0,12	0,28	0,25
		3+3	в	970	21	0,24	0,52	0,35
5б	Д16Т, Д19Т, Д20Т, В95Т	1+1	в	3700	32	0,10	0,30	0,25
		3+3	в	1200	19	0,22	0,64	0,35
5в	Д16М, Д19М, Д20М, В95М, АМц, АМг	1+1	в	3600	25	0.10	0,30	0,25
		3+3	в	1100	15	0,20	0,66	0,35
6	МА1, МА2, МА8, МА2-1	1+1	в	3200	20	0,08	0,45	0,18
		3+3	в	910	10	0,16	0,86	0,25
7	Л62, Бр. Б2	1+1	б	2200	21	0,10	0,30	0,30
		3+3	в	900	14	0,22	0,60	0,32

Режим задается I_c, P_c, диаметром и профилем электрода, v_c или $S_т$. По номограмме для скорости сварки v_c = 4 м/мин деталей толщиной 1 мм необходим ток 19 — 20 кА и усилие сжатия 530 — 540 кгс (см. рис. 116 — пунктирная линия). Кривая A ограничивает рабочую область сварки. При шаговой сварке и сварке отдельными точками указывают t_c и $t_п$. Усилие сжатия P_c растет с увеличением δ и прочности металла, стойкости электродов и мощности, используемой при сварке.

Ток при шовной сварке на 15 — 40% больше, чем при точечной из-за шунтирования и более жестких режимов, а давление практически такое же, а t_c меньше, чем при точечной сварке. Скорость сварки вы-

бирают по $t_с$ и $t_п$ с учетом перекрытия точек, хотя герметичная сварка возможна без перекрытия.

Скорость сварки лимитируется мощностью машины, свойствами металла и условиями его кристаллизации.

Режим проверяют технологической пробой или комплексом испытаний, предусмотренных ТУ на деталь.

Обычно критерием качества шва является герметичность. Глубина вмятин обычно не должна превышать 10% двойной толщины, а перекрытие должно составлять 10 — 20%. Внутренние дефекты (непровар, выплески, трещины, раковины) и деформации предупреждаются надлежащим выбором термомеханического цикла, режимов сварки, формы и размеров электродов и соблюдения установленной технологии. Высокопроизводительные режимы с большими $v_с$ выбирают в зависимости от условий кристаллизации металла и ядра.

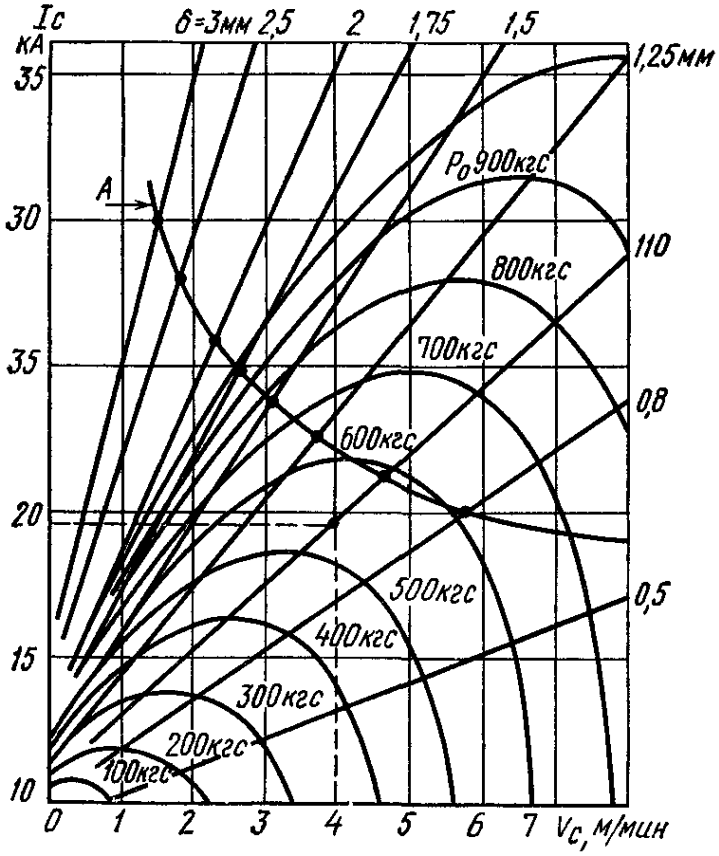


Рис. 116. Номограмма для определения усилия сжатия $P_с$, скорости сварки $v_с$ и тока $I_с$ в зависимости от толщины δ

При неподвижном ролике диаметром D длина контакта B с деталью пропорциональна коэффициенту k, зависящему от усилия сжатия $P_с$

$$B = 2{,}84\, k_1 D \cdot 10^{-2} \text{ мм}.$$

При максимуме $I_с$ и других оптимальных параметрах режима длина ядра $l_я$ почти не зависит от скорости сварки $v_с$ (рис. 117, *а*)

$$l_я = k_2 B \simeq \text{const},$$

где k_2 — коэффициент, пропорциональный $S_т$.

С уменьшением $v_с$ ток во избежание подплавления уменьшают, что при увеличении шунтирования уменьшает $l_я$.

С увеличением $v_с$ максимальный ток растет, а диапазон допустимых токов уменьшается (рис. 117, *б*).

При чрезмерных токах наблюдается перегрев или пережог, при малых — непровар. Зона пережога определяется теплом, выделенным на поверхности шва, т. е. током, сопротивлением $R_{эд}$, размерами детали, профилем и диаметром ролика (электрода), а также отводом тепла в ролики и детали.

Шаг между точками увеличивается с увеличением длительности протекания тока $t_с$ и скорости $v_с$ (рис. 117, *в*).

Длина ядра и длительность пауз (или расстояние между ядрами) зависят от δ, v_c, I_c и t_c. При скорости v_c = 5 м/мин и t_c = 2 пер. длина ядра $l_я$ растет интенсивнее с увеличением толщины (рис. 117, *г*). При малой толщине длительности паузы 5 — 6 периодов и расстоянии между точками 7 — 8 мм рост ядра прекращается очень быстро.

С уменьшением $t_п$ при прочих равных условиях уменьшается $l_я$, что обусловлено изменением условий шунтирования и сопротивления R.

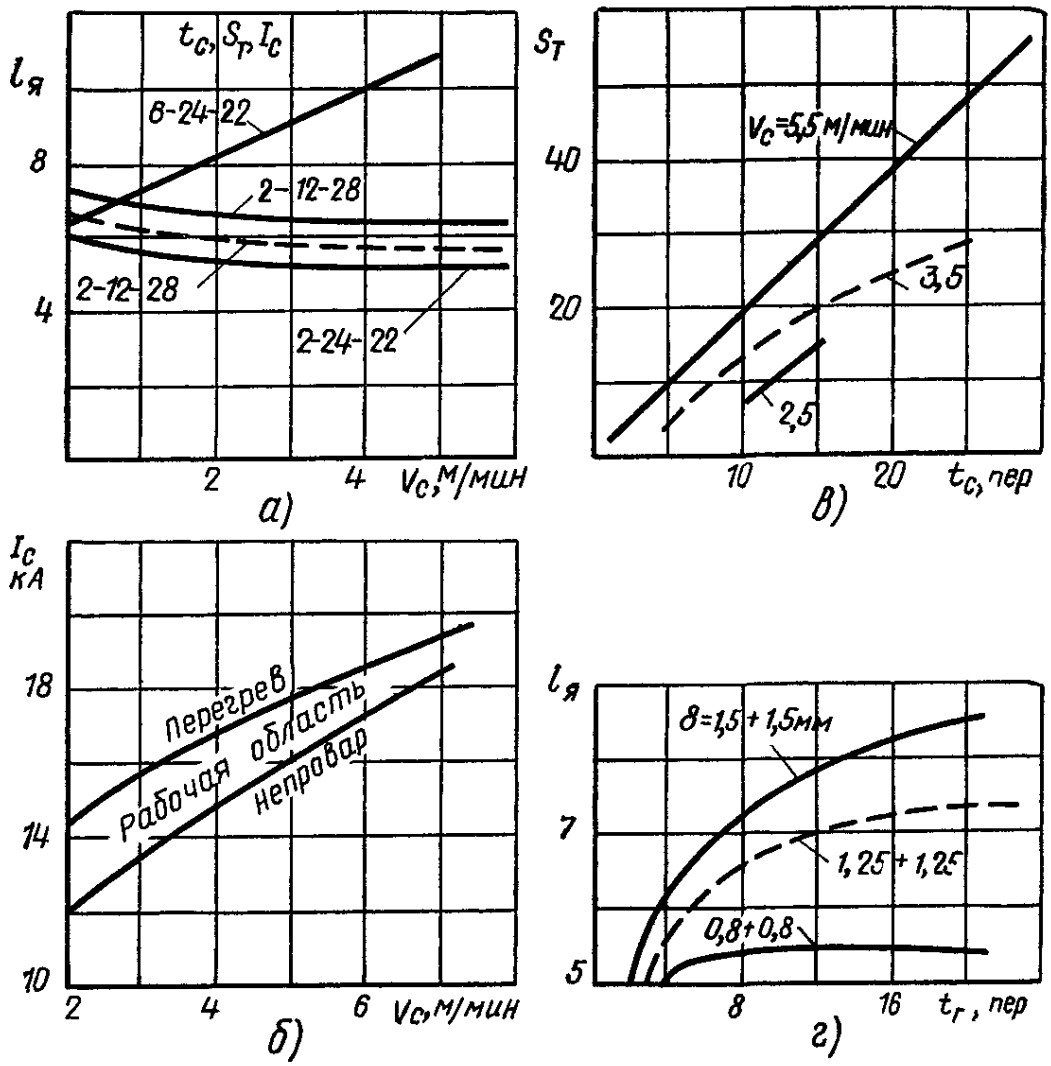


Рис. 117. Зависимость длины ядра точки $l_я$ при шовной сварке от скорости v_c при разных t_c, $s_т$ и I_c (*а*) и от длительности пауз $t_п$ при разной толщине полос δ (*г*), а также шага $s_т$ от длительности импульса тока t_c при разных v_c (*в*) и сварочного тока I_c от скорости v_c (*б*) для рабочей области

Ориентировочные режимы сварки (см. табл. 19 и 20) рекомендуются для деталей с отношением $\delta_1 : \delta_2$ не более 1 : 3 из неупрочненного одинакового материала или при благоприятном сочетании свойств разноименных материалов (сталь Х18Н10Т+30ХГСА). Вместе с тем листы δ = 2 + 6 мм из низкоуглеродистой стали не всегда свариваются качественно, хотя их точечная сварка вполне доброкачественна. При неблагоприятном сочетании (тонкий лист из более теплопроводного материала, чем толстый) соотношение уменьшается до 2 : 1. Колебания δ в диапазоне ± 10% обычно мало влияют на размеры

и качество соединений. Параметры режима выбирают по тонкой детали.

20. Режимы непрерывной (Н) и импульсной (И) шовной сварки низкоуглеродистой стали (при контроле герметичности каждой детали)

δ, мм	Сварка	0,8				1,25					2,0			
P_c, кгс		300				450					600			
$v_ш$ м/мин	Н	2,5	3,7	5,3	7,8	1,5	2,5	3,7	5,2	6,0	0,75	1,5	2,0	
I, кА		8,5	10	11	14	10	11,5	13,5	16,5	18	16	19,0	21,0	
t_c, пер.	И	3	2	1	1	4	4	2	1	1	6	2	1	1
$t_п$, пер.		2	1	1	1	4	3	2	1	1	6	1	1	1
$v_ш$, м/мин		1,8	2,6	3,7	5	1,0	1,7	2,5	3,5	4,0	0,75	1,5	2,0	2,2
I, кА		12	14	14	17	13,0	15,5	19	21	23	15	21,5	23	26

В режимах обычно указывается максимальный конечный ток или его плотность для машин переменного тока с $Z_{к.э} = 250$ мкОм При больших $Z_{к.э}$ I_{max} в контакте будет меньше, хотя его среднее значение может оставаться неизменным. Значения I_{max} при сварке различных металлов из-за разницы в $R_{ээ}$ (при одинаковом d и δ) могут быть неравны.

При мягких режимах (пониженных v_c и $S_т$) структуры благоприятнее, хотя при этом резко возрастают деформации и усиливается износ электродов. На конце шва для устранения трещин ток за 5 — 7 периодов снижают. Индукционная или печная термообработка соединений, сваренных на жестких режимах при повышенном на 15 — 30 % I_c и на 15 — 20% P_c обеспечивает достаточно пластичные соединения, если ее во избежание трещинообразования осуществляют не позднее чем через 8—24 ч после сварки. Рационально совмещение сварки с электротермообработкой по циклу (рис. 118), реализуемому через 4 — 5 рабочих циклов от начала шва. Шаговое перемещение детали при этом увязывается с двухимпульсным циклом и автономным регулированием I_c, t_c и $t_п$, $I_т$, P_c, $P_т$ при программном изменении давления в паузах между импульсами сварки, электротермообработки и между циклами.

Рабочий цикл в установившемся процессе при неподвижном электроде состоит из стадии образования ядра, стадии кристаллизации с охлаждением до A_{c1} с принудительным охлаждением электродов и стадии высокого давления При выключении тока давление снижается до сварочного и изделие перемещается на длину шага. Скорость охлаждения уменьшается, так как электрод уходит из горячей зоны. Подогрев соседних участков металла ускоряет по сравнению с точечной сваркой образование ядра. Наружное водяное охлаждение при шовной сварке ряда материалов недопустимо и его заменяют внутренним. Сварка с электротермообработкой уменьшает деформацию изделия и обеспечивает при высокой прочности весьма высокую пластичность шва.

Свинцовые, цинковые и оловянистые покрытия деталей налипают на электроды. Для устранения этого и повышения v_c используется отожженная медная или латунная проволока диаметром 1,5 мм, которая непрерывно перемещается в пазах электрода.

Можно применять прокладки между электродом и покрытием. Стали толщиной 0,8; 0,95 и 1,2 мм с алюминиевым покрытием толщиной 11 и 22 мкм сваривают так же, как при точечной сварке при ширине электрода 7 мм и v_c = 150 см/мин. Усилие сжатия P_c соответственно равно 400, 430 и 450 кгс, а ток равен 17 — 19, 16 — 18 и 18 — 10 кА. При повышении v_c до 230 см/мин при I_c = 18 — 20 кА для деталей толщиной 0,95 и 1,2 мм необходимо P_c = 430 и 500 кгс. Хромированная низкоуглеродистая сталь при пониженном токе на 10% сваривается качественно.

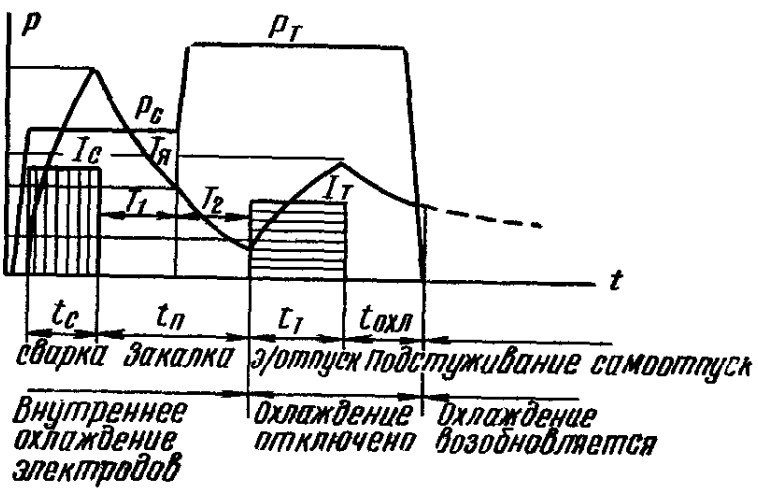


Рис. 118. Термический цикл при электротермообработке шва

При шовной сварке обычно шов выполняют за один проход. Замкнутые или прерванные швы перекрывают 5—8 точками при большем на 15 — 20% токе, а места пересечения продольных и поперечных швов иногда дополнительно скашивают.

Короткие детали сваривают непрерывно, а длинные (для уменьшения деформации) — от их середины к краям. Величина деформации при шовной сварке в несколько раз больше, чем при точечной. Обкатка шва роликами вхолостую почти полностью устраняет сварочные напряжения.

В герметично-прочных швах $S_т$ у сталей обычно близок к 2 — 2,5 δ, а у алюминиевых сплавов к 3 δ. Он увеличивается с увеличением v_c и t_c и уменьшается с уменьшением $t_п$. Длительность t_c обычно кратна периоду переменного тока (0,02 с). Ориентировочные режимы (см. табл. 19, 20) корректируют в зависимости от вида оборудования и требований к соединению.

Короткие обечайки с δ = 0,2 — 0,3 мм сваривают при токе 1,5 — 7,8 кА и давлении 50 — 70 кгс/мм². Возможно формирование ребер жесткости при сварке профильным роликом. Для нержавеющей стали при δ = 0,8 мм требуется ток 10 кА и P_c = 600 кгс.

При сварке жести нагревают постоянным током, а расплавляют наложением на него импульсным переменным или постоянным током. Также сваривают током с прямоугольными импульсами частотой 1000 — 1600 Гц. Постоянная составляющая тока 3 — 4 кА с амплитудным значением прямоугольного импульса 1 кА. При постоянном токе наблюдаются прожоги.

Контрольные вопросы

1. Назовите разновидности шовной сварки и области их применения.
2. Назовите основные параметры режима шовной сварки и расскажите об их влиянии на качество швов.
3. В чем состоят особенности сварки кольцевых деталей, деталей разной толщины?

ГЛАВА IX

МАШИНЫ ДЛЯ ШОВНОЙ СВАРКИ

Шовная машина в отличие от точечной снабжена механизмом привода электродов и особым токоподводом. Машина имеет станину *1* (рис. 119) с силовыми консолями *5* и *9*, трансформатор *11* (или другой

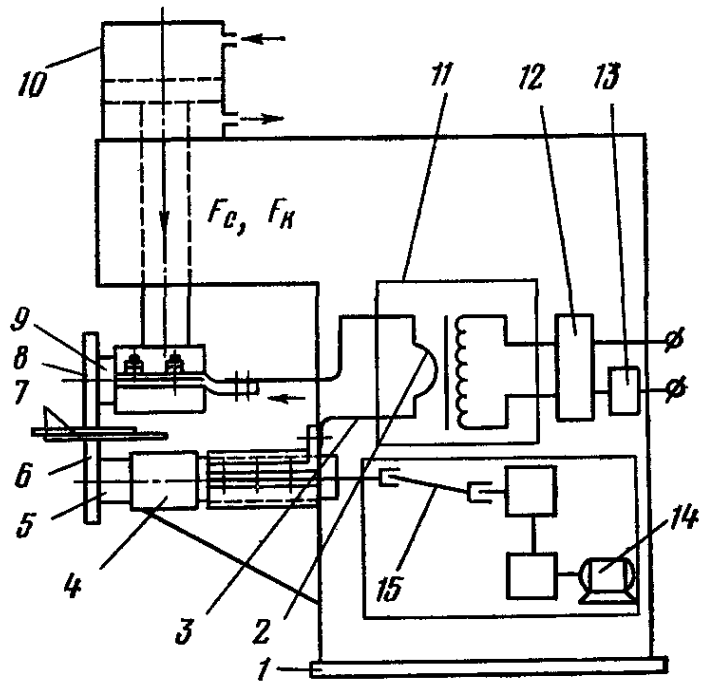


Рис. 119. Шовная машина:

1 — станина, *2* — сварочный контур, *3* — гибкая перемычка, *4* — кронштейн, *5*, *9* — консоли, *6*, *8* — электроды-ролики, *7* — детали, *10* — привод сжатия, *11* — сварочный трансформатор, *12* — переключатель ступеней, *13* — контактор, *14* — двигатель, *15* — карданный вал

преобразователь энергии), переключатель ступеней *12*, токоподводы, привод сжатия *10*, контактор *13* и различную электрическую, пневматическую и другую аппаратуру управления, размещаемую в отдельном шкафу или непосредственно на машине.

§ 44. Станины, приводы сжатия и электроды

Из-за меньшего, чем при точечной сварке количества ходов электрода, привод сжатия проще. Он имеет обычно однопоршневой пневмоцилиндр, верхняя полость которого соединена с рабочим воздухосборником, а нижняя через электропневматический клапан — с сетевым воздухосборником большего давления. При включении клапана поршень со штоком поднимается, несколько сжимая воздух в рабочем воздухосборнике, а при выключении воздух через дроссель и клапан выходит из нижней полости и электрод сжимает детали с заданным усилием. Пневмогидравлический привод аналогичен рассмотренным, а в гидравлическом для дожатия деталей часто применяют гидроуси-

литель, сжимающий масло в предварительно перекрываемой гидросистеме.

В шовных машинах приводным может быть верхний или нижний электроды, а также оба одновременно. Если нижний электрод, установленный вдоль токоподвода (продольная сварка), является ведущим (рис. 120), то он вращается через размещенные в одном корпусе конические и цилиндрические зубчатые колеса, которые передают дви-

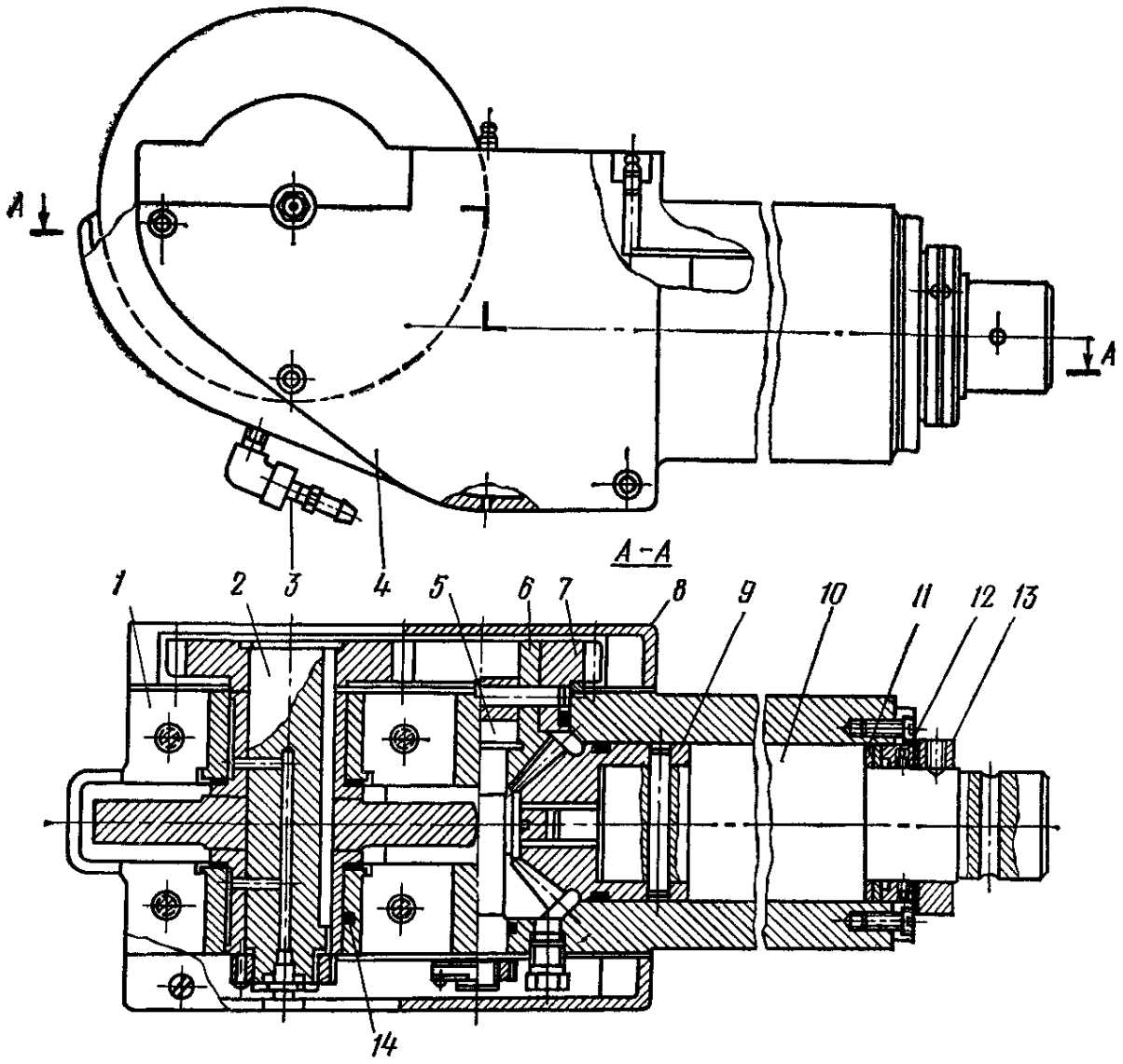


Рис. 120. Электродное устройство с ведущим электродом для продольной сварки: *1* — корпус, *2* — токоведущий вал с роликом, *3* — ниппель водяного охлаждения, *4*, *8* — щека, *5* — вал, *6*, *9* — коническое зубчатое колесо, *7* — цилиндрическое зубчатое колесо, *10* — карданный вал, *11* — шайба, *12* — сальник, *13* — стопорное кольцо, *14* — токоведущая втулка

жение с карданного вала на взаимноперпендикулярную ось. Электроды в машинах могут вращаться непрерывно или прерывисто.

В приводе непрерывного вращения используют обычно редукторы со сменными шестернями и карданный вал, приводимые электродвигателем. Вал соединяется с нижней консолью непосредственно, а с верхней через конические шестерни. Скорость регулируют бесступенчатым вариатором скоростей, двигателем постоянного тока или муфтой скольжения (машина МШ-2001). Электрод *1* (рис. 121) вращается асинхронным двигателем *11* через электроуправ-

ляемую муфту скольжения *10*, редуктор *9*, карданный вал *8* и конические *7 — 4* и цилиндрические *3 — 2* шестерни Также возможна передача вращения на электроды от гидродвигателей через гидроусилители.

В приводе с прерывистым (шаговым) перемещением электродов используют быстродействующие и надежные пневматические шаговые устройства и магнитные муфты.

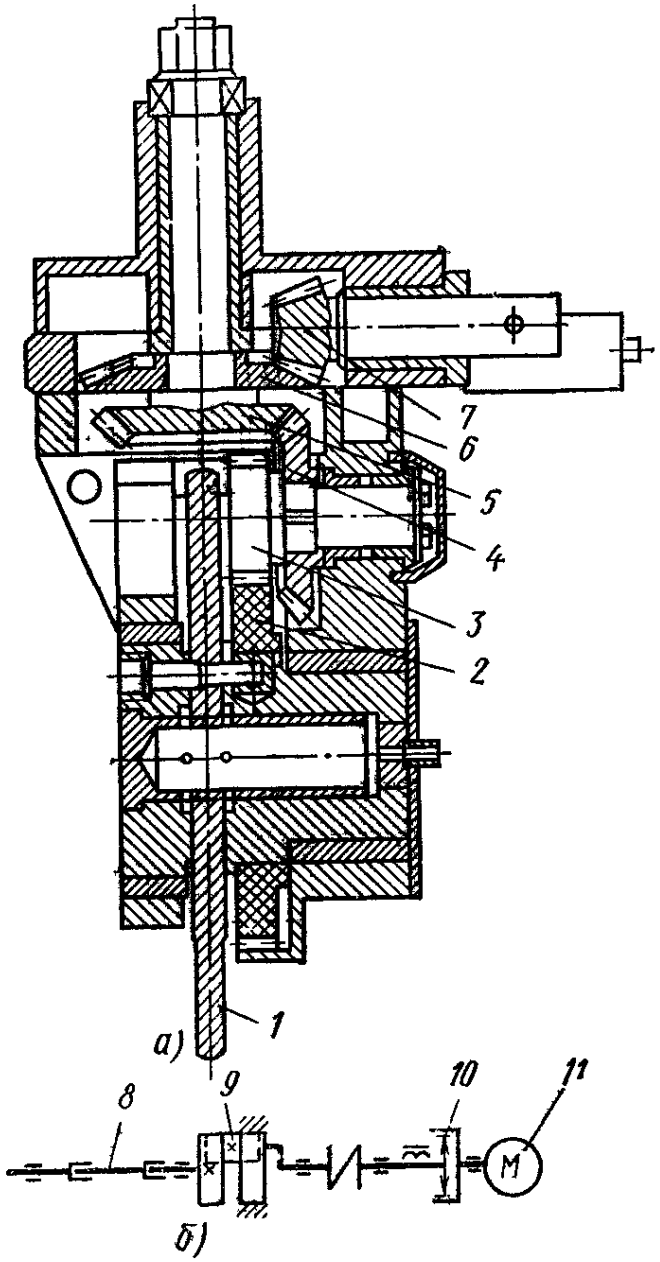


Рис. 121. Привод непрерывного вращения электрода машины МШ-2001 (*а*) и схема передачи движения от двигателя к карданному валу (*б*):

1 — электрод, *2, 3* — цилиндрические шестерни, *4, 5, 6, 7* — конические шестерни, *8* — карданный вал, *9* — планетарный редуктор, *10* — электроуправляемая муфта скольжения, *11* — двигатель

В пневматическом устройстве при срабатывании одного из электропневматических клапанов ЭПК воздух подается в верхнюю полость пневмоцилиндра *7* (рис. 122), и поршень *6*, опускаясь и вытесняя воздух из нижней полости, воздействует на храповой механизм *5*, собачка которого поворачивает храповое колесо *3* и через редуктор *2* верхний приводной электрод *1*. При подаче воздуха в нижнюю полость вторая собачка поворачивает колесо еще на один шаг. Шаг в диапазоне 2 — 40 мм регулируется гайкой *4*, изменяющей величину хода поршня. При частом стравливании воздуха головка из-за поступательного движения поршня вибрирует. Это устранено в приводе с электромагнитной муфтой, в котором вал *2* (рис 123) с электромагнитом *3* непрерывно вращается от двигателя постоянного тока *1*. При включении электромагнита *3* упругий ферромагнитный диск *5*, неподвижно укрепленный на ведомом валу *8*, притягивается к тарельчатому диску и передает вращение электродам, а при выключении электромагнита *3* и включении электромагнита *7* диск *5* прижмется к диску *6* и затормозится. Длительность хода и остановок электродов регулируют электромагнитами *3* и *7*.

В приводе обоих электродов от одного асинхронного двигателя с червячным редуктором и сменными шестернями две

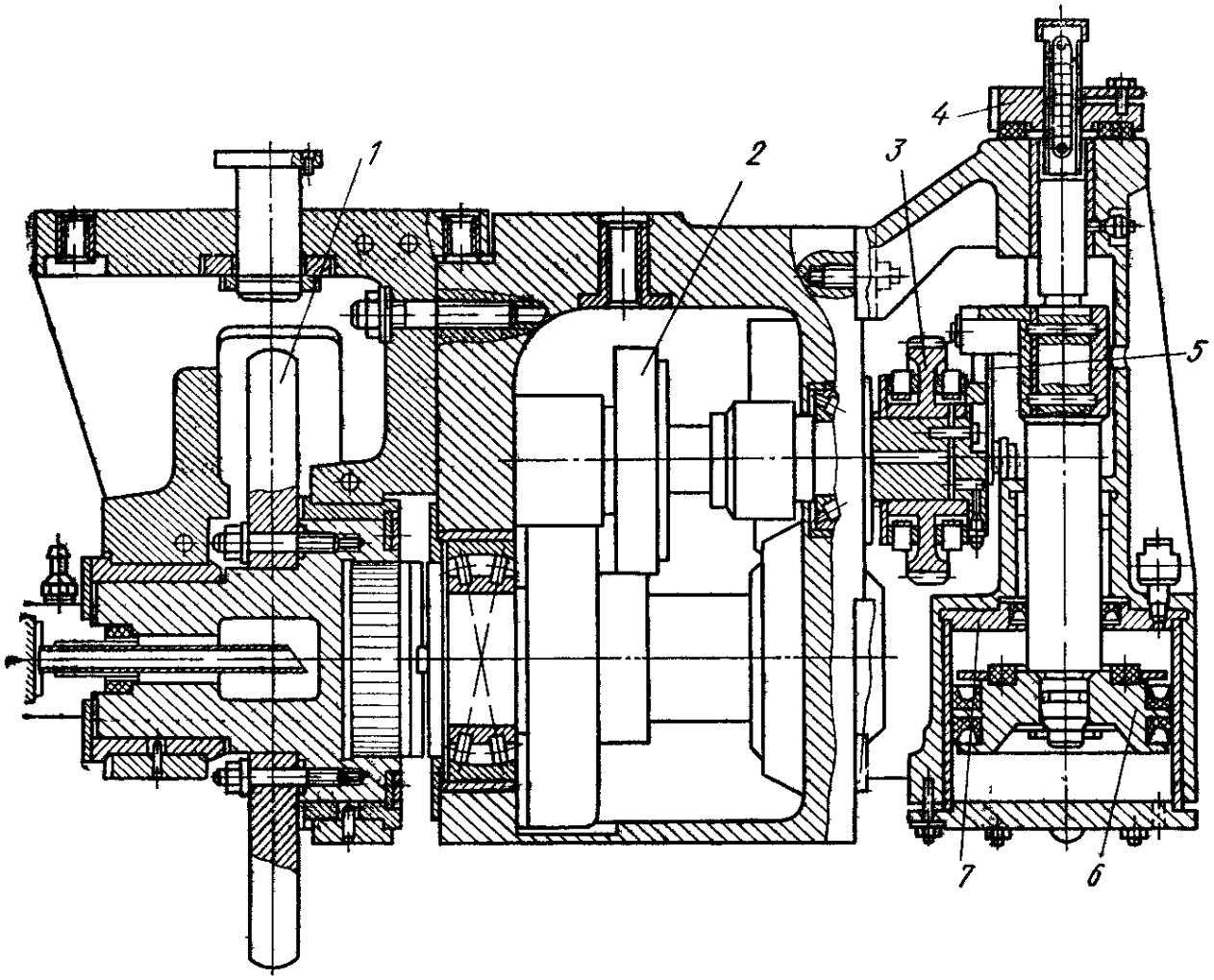


Рис. 122. Пневмопривод шагового вращения электрода

1 — электрод, *2* — редуктор, *3* — храповое колесо *4* — гайка *5* — храповой механизм, *6* — поршень, *7* — пневмоцилиндр

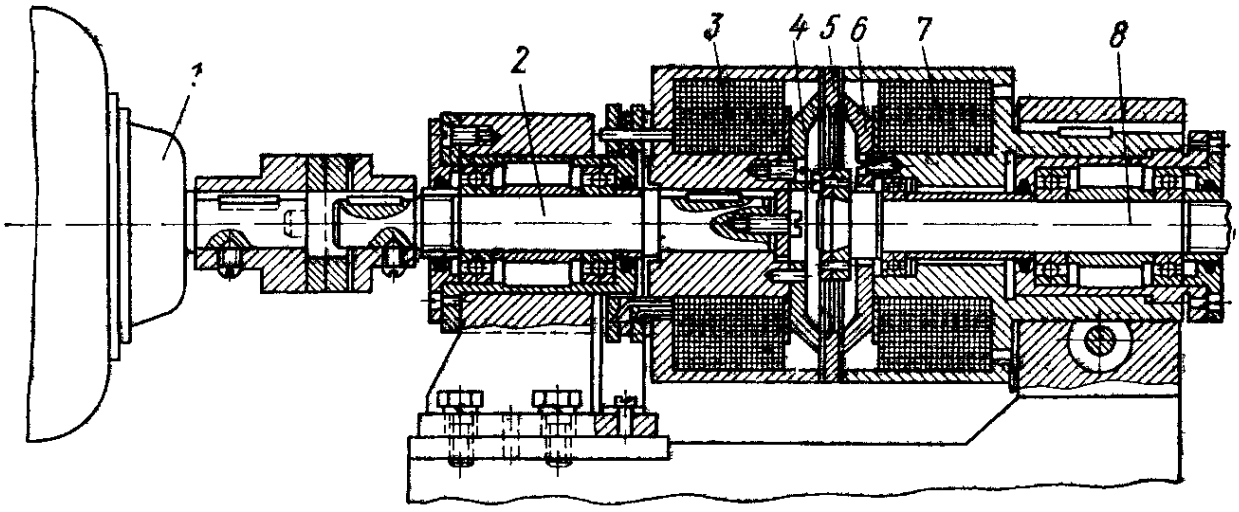


Рис. 123 Электромагнитная муфта привода шагового перемещения с двигателем:

1 — двигатель, *2, 8* — валы, *3, 7* — электромагниты, *4, 6* — тарельчатые диски, *5* — упругий ферромагнитный диск

пары конических шестерен на одном валу через два параллельных коленчатых вала вращают стальные шарошки с накатанной поверхностью, которые плотно прижимаются к рабочей поверхности электродов. Равенство скоростей достигается при равных диаметрах шарошек.

Вал двигателя *1* (рис. 124) также может соединяться с электромагнитной муфтой *2*, обеспечивающей до 250 включений в минуту. Далее движение передается через червячный редуктор *3*, цилиндрические *4* и конические *5* шестерни к распределительной коробке *6*. Валы коробки могут быть соединены карданным валом *7* с верхней или нижней электродной головкой. При поперечной сварке вал *7* соединяют с валом *8* обеих головок. При продольной сварке головки повертываются на 90° и вращение валу передается конической шестер-

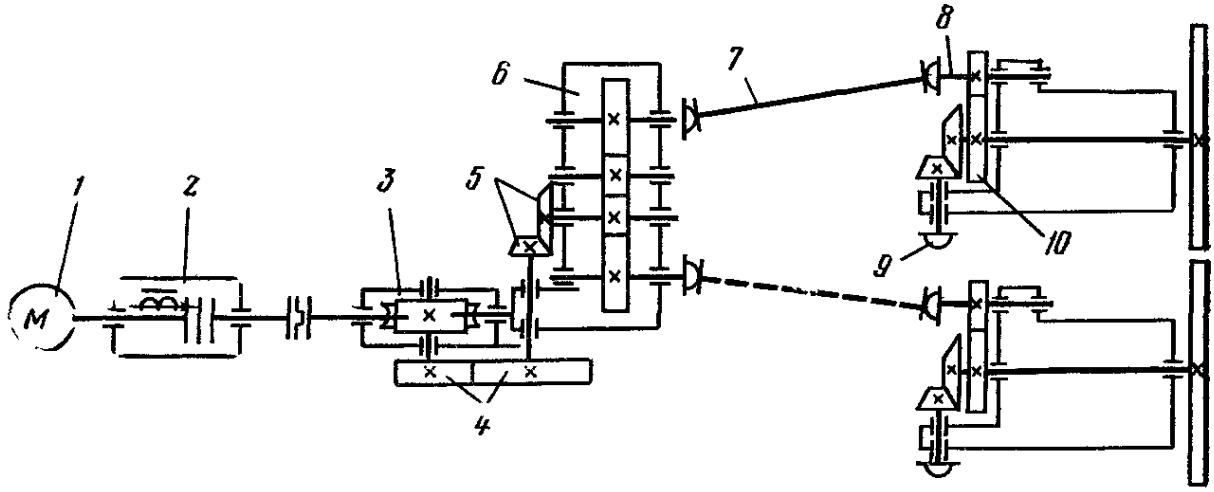


Рис. 124. Кинематическая схема привода электродов, используемая в головке для продольной и поперечной сварки

ней *9*. Шаг между точками зависит от скорости вращения, длительности включения муфты и размера электрода. При поперечной сварке вращение передается шестерней *10*.

В приводе обоих электродов используют дифференциал. Созданы также универсальные приводы, позволяющие в зависимости от вида изделия приводить верхний или нижний электроды. Для широкого диапазона регулирования скоростей (0,8 — 8 м/мин) используют двигатели постоянного тока, управляемые тиристорным блоком.

§ 45. Электрические схемы

В шовных машинах большие токи к электродам передаются через трущиеся в токопроводящей смазке электропроводные материалы или через шетки, контактируемые с валом или с электродами. В машинах малой мощности (рис. 125, *а*) токоведущий вал *2* вращается во втулке *3*, которая служит токоподводом и подшипником скольжения. Втулка зажата в токоведущем корпусе *4*, соединенном с трансформатором.

Сварочный электрод *1* закрепляется на токоведущем валу *2* шпильками. Головки снабжены каналами для охлаждения.

Машины средней мощности (рис. 125, *б*) имеют головку с валом *2* с закрепленным на нем электродом *1*. Подшипники *8* и *6* установлены

в корпусе *4*. Ток к валу *2* подводится двумя подпружиненными медными губками *7*, стянутыми между собой пружинами *5*. Губки *7* соединяются гибкими шинами со вторичным витком трансформатора. Токоведущий вал *2*, сварочный электрод *1* и контактные губки охлаждаются водой, контакт губок с валом смазывается графитовой смазкой.

При продольной сварке ток передается через втулку, контактируемую с валом электрода.

Токоведущая шина контактирует с основанием *11* головки (рис. 126). Контактные колодки *9* прижаты пружинами *10* к выступу основания

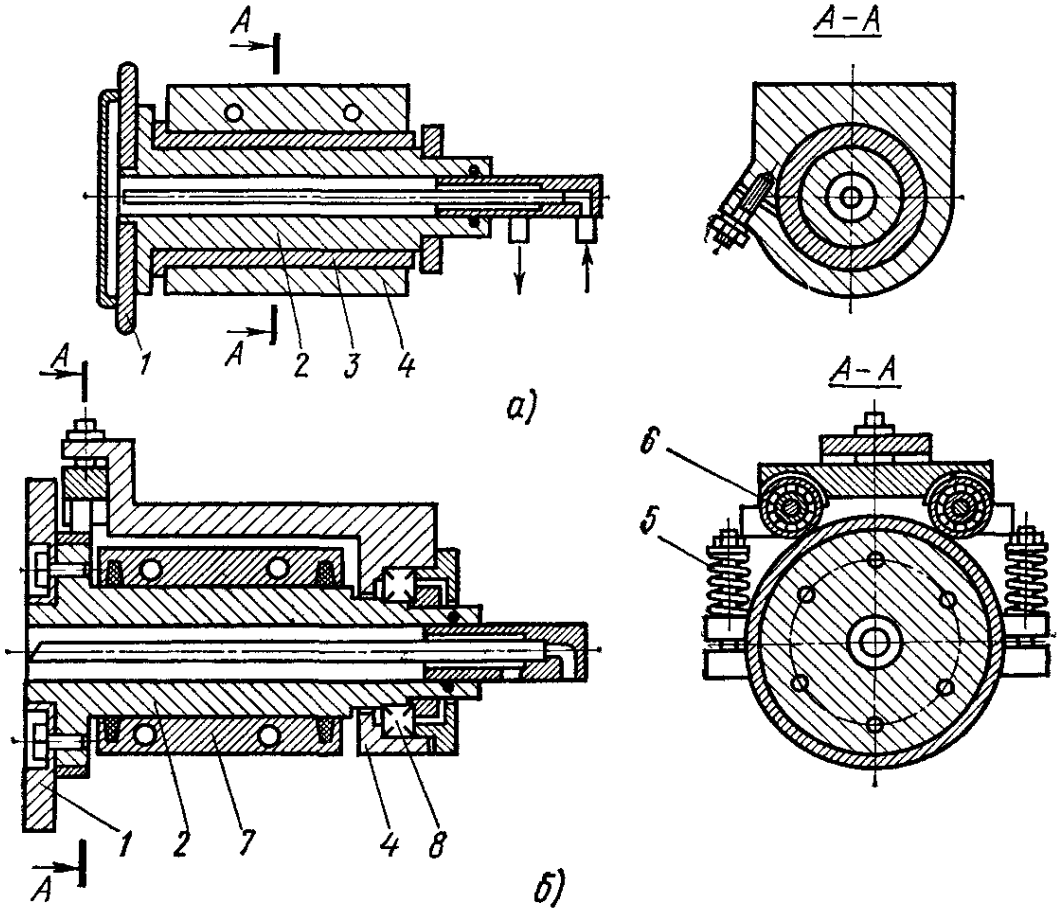


Рис. 125. Электродные головки машин малой (*а*) и средней (*б*) мощности:

1 — электрод, *2* — токоведущий вал, *3* — втулка, *4* — корпус, *5* — пружина, *6, 8* — шарикоподшипники, *7* — губка

11 и к валу *6*. Продукты износа и смазки удаляются прижимом *8* с полости, заполненной касторовым маслом. Такая система компенсирует износ вала и колодок, уменьшает абразивный износ и не требует графитовой смазки. Плотности тока в контактах достигают 0,6 А/мм^2.

При наличии воды требуемого давления срабатывает гидравлическое реле *РГС* (рис. 127) и подготавливается цепочка реле *Р1*. Включением выключателей *В2* и *В3*, а также автомата *В1* машина подготавливается к работе. При нажатии педальной кнопки *Кн1* включаются реле *Р2* — *Р4*, клапаны *Эм1*, *Эм2* и двигатель *М*, ролики опускаются. Если зажатие неправильно, то при отпускании *Кн1* ролики поднимаются. Вторичное нажатие *Кн1* вновь сопровождается опусканием роликов.

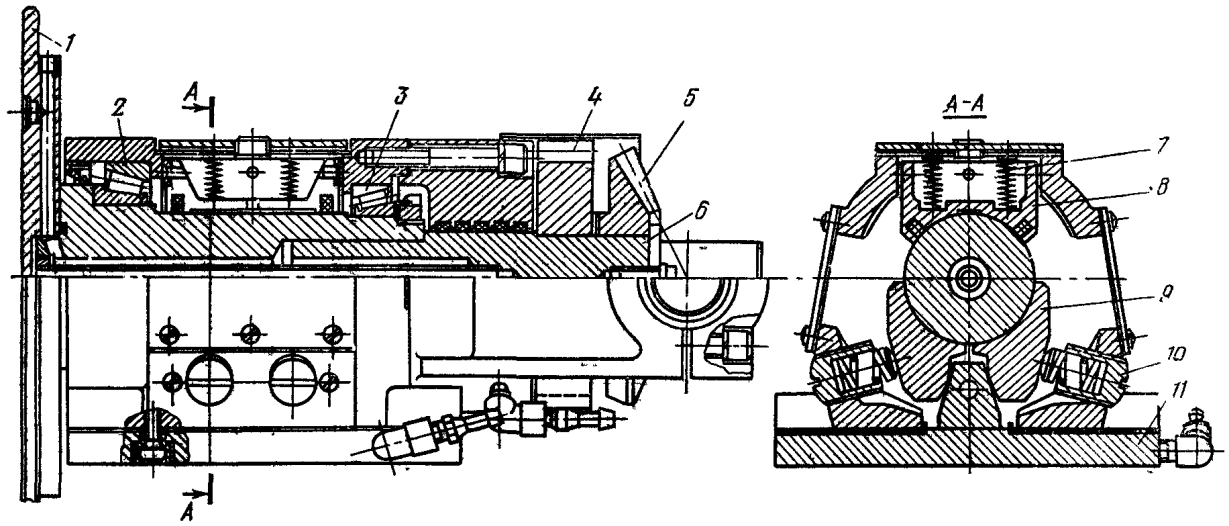


Рис. 126. Электродная головка машины МШВ-1601:

1 — электрод, *2*, *3* — подшипники, *4*, *5* — цилиндрическая и коническая шестерни привода, *6* — токоведущий вал, *7*, *10* — пружины, *8* — прижим, *9* — колодка, *11* — основание головки

По истечении выдержки времени реле *Р4* включает реле *Р5*, которое соответственно включает реле *Р6*, электромагнитную муфту *Эм3* и запускает прерыватель. При этом начинают вращаться ролики и включается ток. Равномерный разгон привода ПМСН-6 регулируется сопротивлением *R1*, которое по истечении выдержки времени шунтируется реле *Р6*. При отпускании кнопки *Кн1* отключается реле *Р2* и включается реле *Р7*, вследствие чего сварка продолжается.

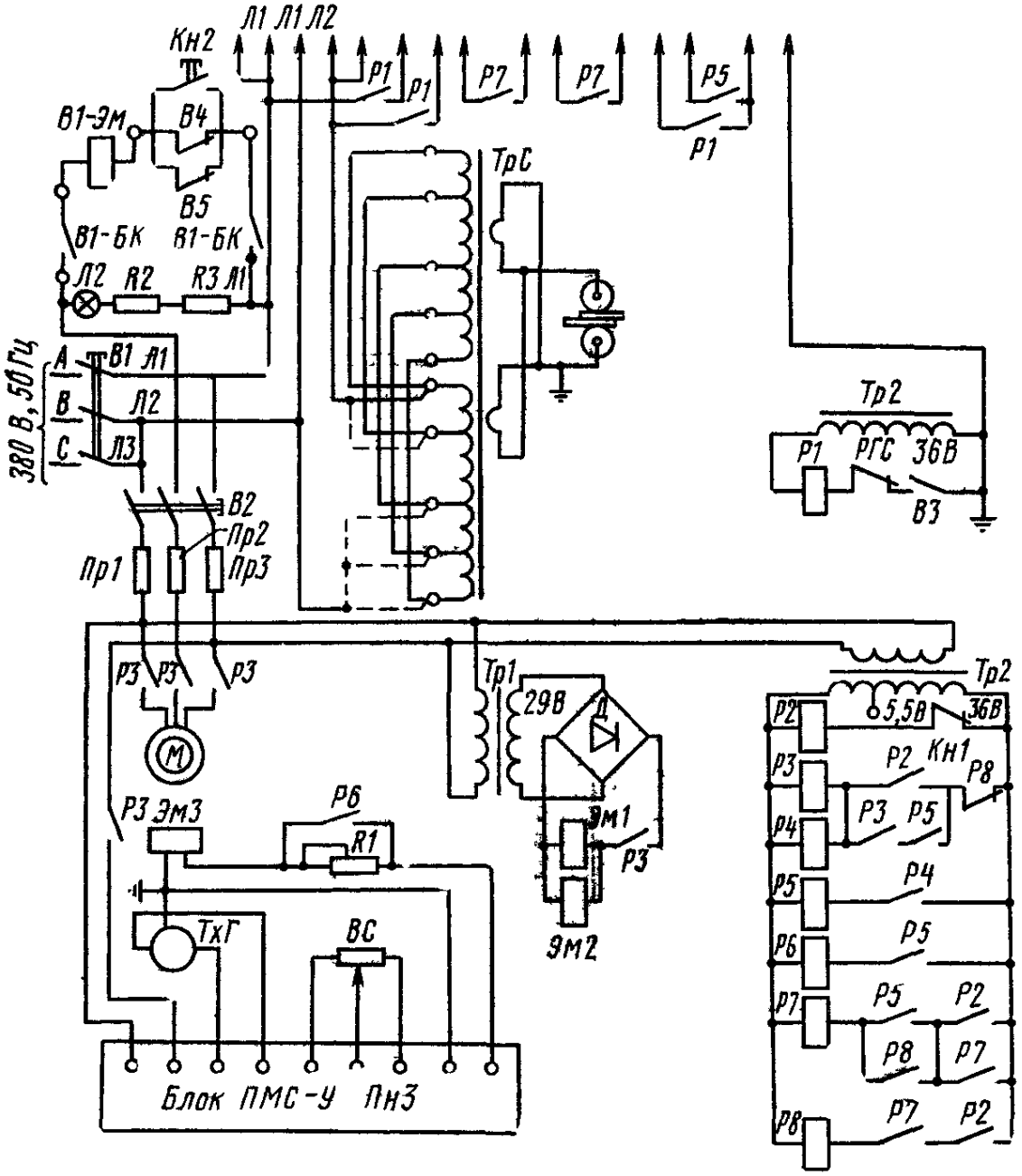


Рис. 127. Принципиальная электрическая схема шовной машины МШ-3201

Сварка заканчивается при новом нажатии *Кн1* и выключении реле *Р2* и *Р8*. Реле *Р8* отключает реле *Р3* и *Р4*, которые выключают *Эм1* и *Эм2*, реле *Р5*, привод вращения и ток. Верхний ролик поднимается. При отпускании *Кн1* выключается реле *Р2* и схема возвращается в исходное состояние. Выключатель *В3* служит для опробования машины без сварочного тока. Аварийное отключение осуществляется кнопкой *Кн2*.

Машина МШ-1001 (рис. 128) с радиальным ходом предназначена для непрерывной сварки низкоуглеродистой стали толщиной до 1,2 + 1,2 мм. Машина состоит из сварного корпуса *6*, сварочного трансформатора *10* с переключателем ступеней *8*, пневматического привода *11* сжатия электродов, нижнего кронштейна *5* с устройством *1*

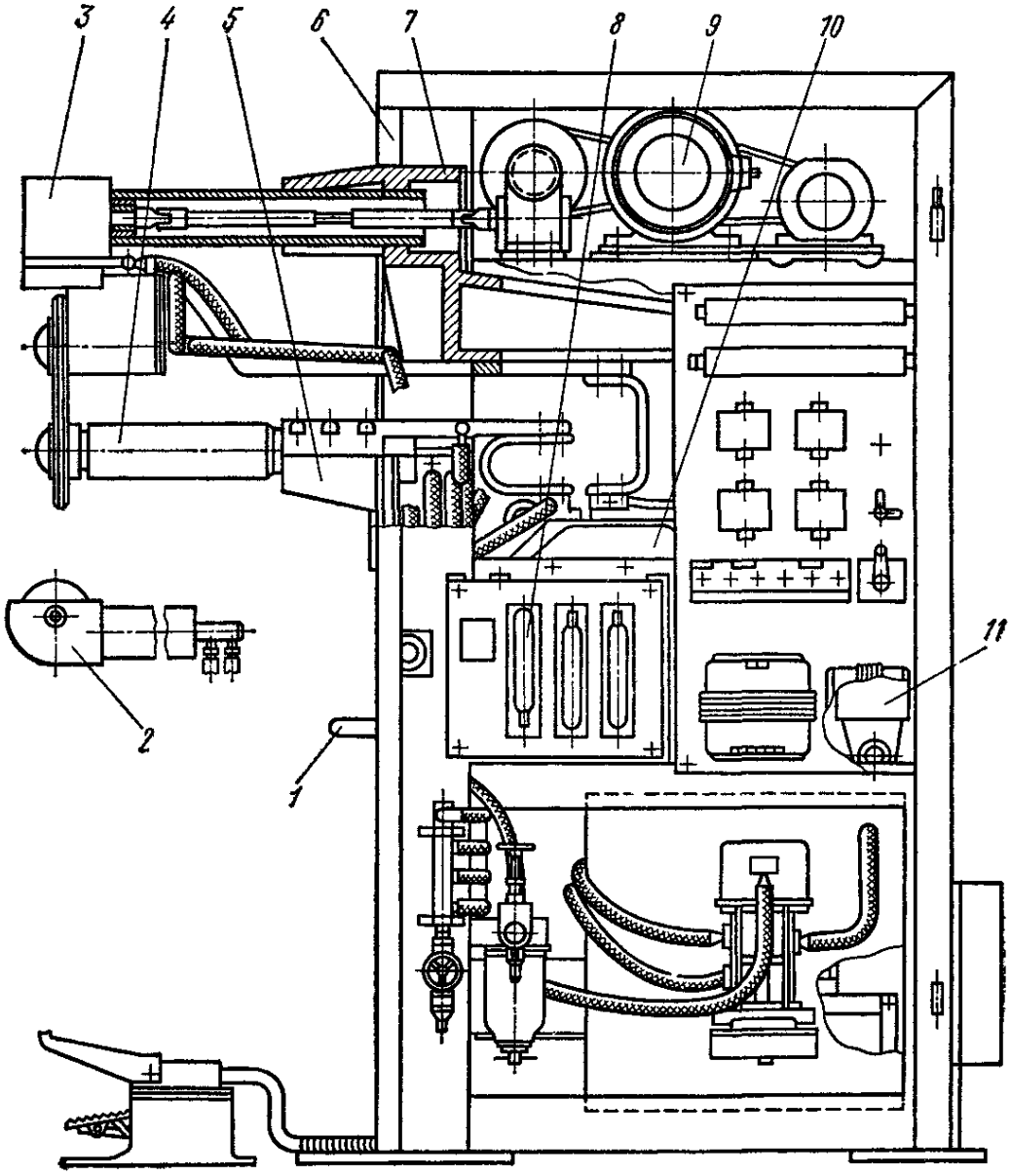


Рис. 128. Машина МШ-1001

для плавного вертикального перемещения, сменных нижних электродных устройств для поперечной *4* и продольной *2* сварки, верхнего рычага *7* с верхней универсальной электродной головкой *3*, привода ПСМ-0,17 бесступенчатого вращения верхнего электрода *9*, системы охлаждения, пневматического устройства и электрического устройства.

Машина сваривает при непрерывном (без пауз) протекании тока, который включается и выключается электромагнитным контактором.

Машина с поперечной сварки на продольную переналаживается поворотом верхней головки вокруг вертикальной оси и сменой нижнего электродного устройства.

Машина МШ-1601 предназначена для шовной сварки низкоуглеродистой стали толщиной 0,5 — 1,5 мм и легированных сталей без покрытий. Сварочный контур с витком трансформатора и прерыватель охлаждаются водой. Пневматический привод сжатия с вертикальным ходом имеет универсальную поворотную сварочную головку. При смене приводной нижней консоли возможна сварка поперечных или продольных швов.

Машина МШ-2001 (рис. 129) предназначена для продольной и поперечной шовной сварки низкоуглеродистой и легированной стали толщиной от 0,5 + 0,5 до 1,8 + 1,8 мм. Синхронный игнитронный прерыватель смонтирован на правой двери машины. Корпус выполнен совместно с верхней консолью. Призматическое направляющее устройство закреплено на консоли и имеет регулировку для выбора зазора. Привод сжатия пневматический. Верхняя головка имеет карданный бесступенчатый привод ПМС с центробежным регулятором скорости.

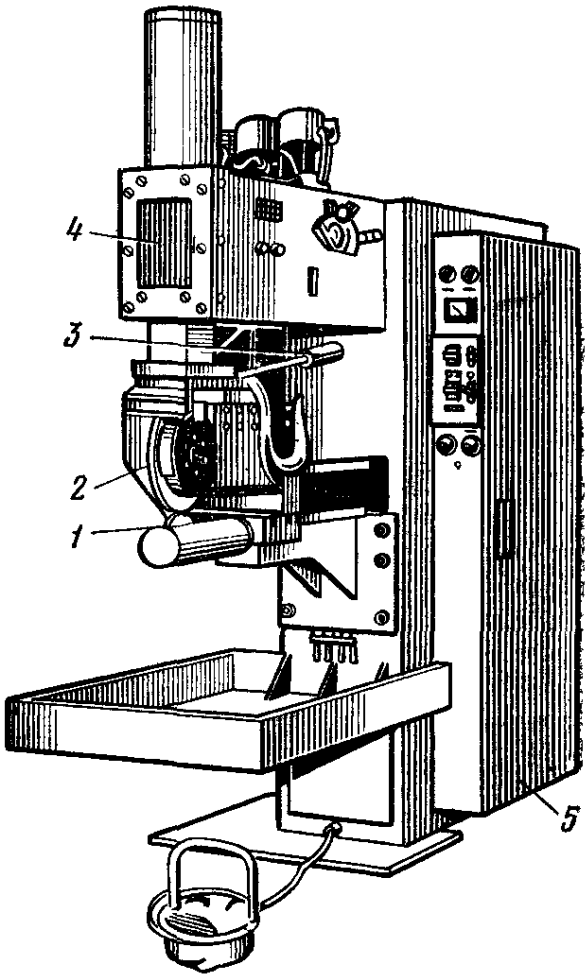


Рис. 129. Шовная машина МШ-2001:
1, 2 — электроды, *3* — привод электродов, *4* — механизм сжатия, *5* — шкаф управления

§ 47. Специальные машины

Машина постоянного тока МШВ-1601 предназначена для сварки коррозионностойких сталей толщиной 0,4—1,8 мм и алюминиевых сплавов толщиной 0,5—1,2 мм, а также для сварки крупногабаритных деталей из других легированных сталей, жаропрочных и титановых сплавов толщиной 0,3—1 мм. Номинальная мощность 133 кВ · А, ток 16 кА, вылет ~ 1500 мм, $P_с$ = 200 — 950 кгс, $P_к$ до 2200 кгс. Раствор составляет 500 мм, а скорость $v_с$ 0,2 — 8 м/мин. Шаги регулируются от 0 до 200 мм, а их количество в минуту от 10 до 250. Машина сваривает герметичным швом при непрерывном или прерывистом вращении, а также точками с заданным шагом. Вращение верхнего или нижнего электрода позволяет иметь приводным электрод со стороны более толстой детали или в кольцевых деталях сделать приводным для уменьшения проскальзывания внутренний электрод.

Ток выпрямляется кремниевыми выпрямителями ВВ2-1250. Элементы «Логика Т» использованы для дискретного отсчета длительностей цикла и для управления клапанами ЭПК и муфтой привода вращения электродов. Машина управляется от подвесного пульта или от педали.

Машина МШВ-6301 предназначена для продольной и поперечной сварки легких сплавов, латуни, титана, сталей и других металлов толщиной 0,5 ÷ 2,5 мм при непрерывном и шаговом перемещении с 3 диапазонами скоростей (0,2 — 1; 0,56 — 2,82 и 1,6 — 8 м/мин или от 10 до 250 шагов в минуту при длине шага 1 — 100 мм) за счет смеины шестерен редуктора. Скорость в каждом диапазоне регулируется плавно в пределах 1 : 5. Она комплектуется электрододержателями для точечной сварки.

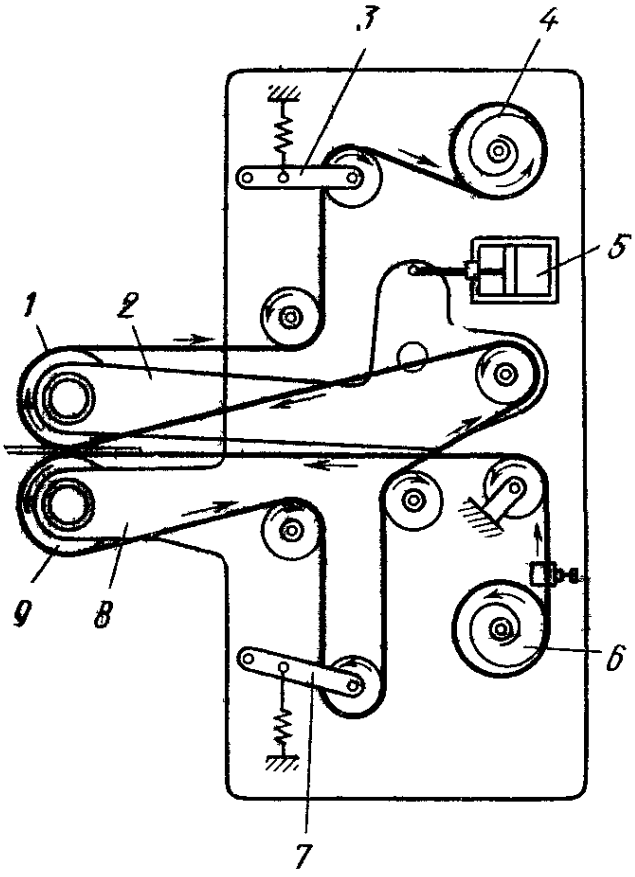


Рис 130. Схема машины для шовной сварки через медную проволоку:

1, 9 — электроды, *2* — верхняя консоль, *3 7* — механизмы натяжения, *4, 6* — барабаны для разматывания и сматывания проволоки, *5* — привод сжатия, *8* — нижняя консоль

Машина для сварки через медную проволоку (рис. 130) сваривает жестяную тару, покрытую оловом, цинком и др. Она имеет специальный подающий механизм для проволоки, механизмы ее натяжения, а также иногда устройства для изменения формы проволоки волочением или прокаткой

Клещами сваривают крупные нетранспортабельные детали или делают прихватки. Они имеют обычно радиальный ход и пневматический или пневмогидравлический привод механизма сжатия и механический привод электродов.

Патрубки приваривают свободно вращающимся на горизонтальной оси электродом *1* (рис. 131,*а*), который, поворачиваясь вместе с оправкой *3* вокруг вертикальной оси, приваривает деталь *4*. Сварку также производят при вращении детали *4* между электродами *1* и *2* (рис. 131, *б*). В некоторых случаях электрод совершает и более сложные движения (рис. 131, *в*). Также возможно принудительное (рис. 131, *г*) перемещение деталей около вращающихся электродов. Так, собранный точечной сваркой или в кондукторе бензобак *4* автомобиля после закрепления на тележке *6* сваривается электродами *1*, *2* поджимных устройств. Шарнирно соединенная с корпусом машины плита приспособления движется пантографом по замкнутой кривой, соответствующей форме бензобака. Положение бензобака по высоте регулируется устройством *5*, связанным с плитой.

Вместо пантографа для сварки бензобаков также применяются поворотные устройства и параллельное перемещение электродов, причем расстояние между электродами регулируется автоматически При параллельных швах детали перемещаются поступательно, а на закруглениях поворачиваются около оси.

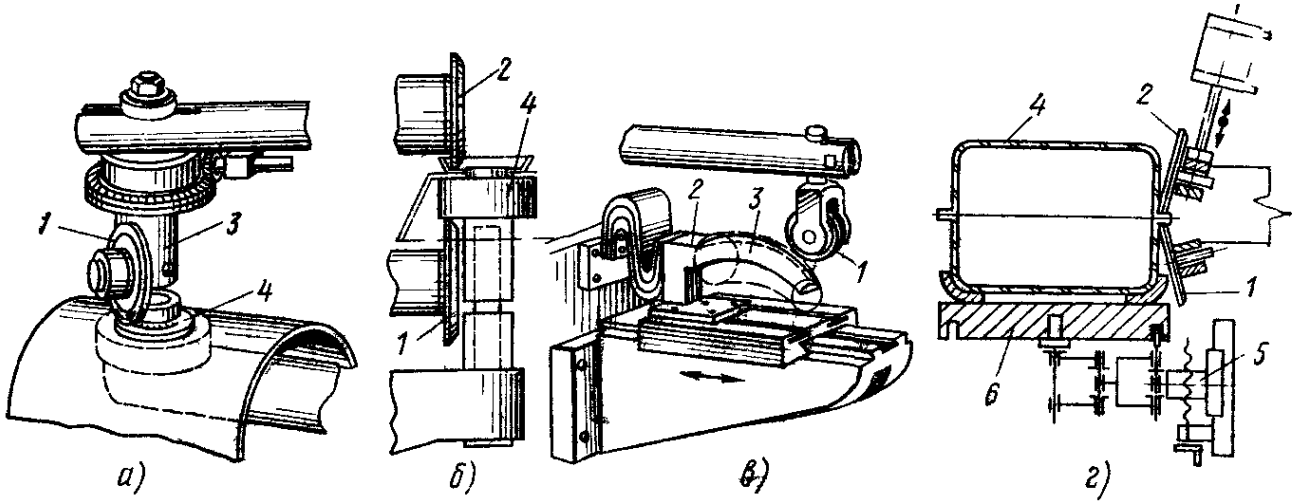


Рис 131 Приспособления для шовной сварки
1, 2 — электроды, *3* — оправка *4* — деталь *5* — поворотное устройство *6* — тележка

Иногда для сложных деталей изготавливаются машины со специальной оснасткой для сборки.

Контрольные вопросы

1 В чем заключаются особенности шовных машин переменного и выпрямленного тока?

2 Расскажите о конструкции токоподводов машин малой и большой мощности.

ГЛАВА X

ТЕХНОЛОГИЯ РЕЛЬЕФНОЙ СВАРКИ

Рельефная сварка осуществляется по одному или нескольким естественным или специально подготовленным рельефам (выступам). Рельефы иногда заменяют тонкими цилиндрическими или кольцевыми вставками. Рельефная сварка производительна, удобна для автоматизации и экономически выгодна в массовом и крупносерийном производстве. С ее помощью можно соединять несколько деталей в двадцати и более точках одновременно с меньшим шагом и расстоянием от кромок, чем при точечной сварке. Рельефы способствуют разрушению окисной пленки и концентрируют нагрев, позволяя сваривать детали с большим отношением толщины (1:6 и более).

Рельефной сваркой чаще всего соединяют нахлесточные, Т-образные, стыковые и крестообразные детали и, в частности, пластин-

ки резцов, сетки и арматуру железобетона, гайки штуцера и винты, а также различные другие детали (рис. 132).

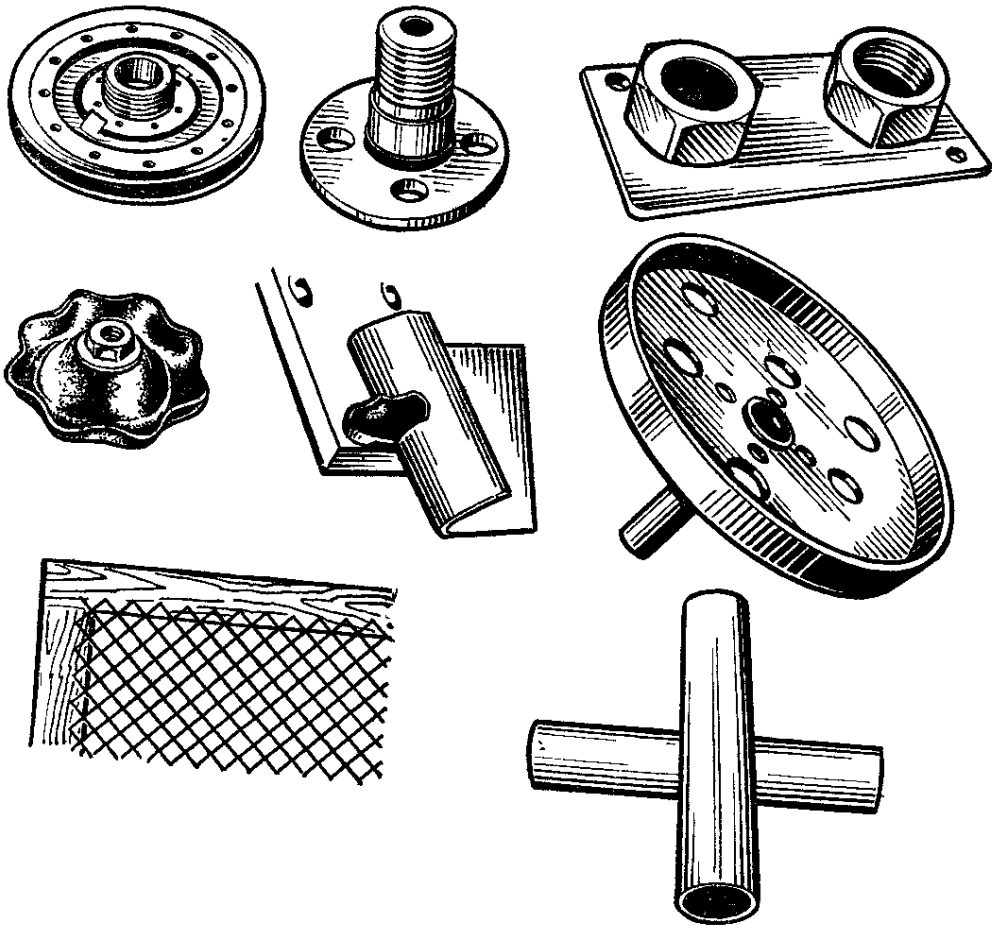


Рис. 132. Детали, сваренные рельефной сваркой

§ 48. Разновидности рельефной сварки

Различают рельефную сварку внахлестку, вкрест и Т-образную. Внахлестку по рельефам соединяют преимущественно листы, вкрест— стержни, а при Т-образной сварке к листам торцами приваривают стержни, детали крепежа, втулки заглушки и др.

Сваривают по одному (рис. 133, *б*, *н*, *р*) или нескольким (рис. 133, *а*, *д*, *е*) штампованным (рис. 133, *б*, *в*, *г*), высаженным (рис. 133, *д*, *е*) или закладываемым (рис. 133, *ж*) рельефам, а также по естественным рельефам при соединении вкрест (рис. 133, *н*) и по острой кольцевой кромке при Т-образной сварке (рис. 133, *и*, *к*, *з*) или по специально подготовленной сфере (рис. 133, *р*), конусу (рис. 133, *о*), конусу с притупленной вершиной (рис. 133, *п*), по кольцевой конической (рис.133, *л*, *и*) или с притупленным конусом поверхности (рис. 133, *м*), а также по рельефам с несколькими круглыми прямоугольными, треугольными или другими поверхностями (рис. 133, *с*).

Форма, размеры и число рельефов зависят от имеющегося оборудования, конструкции, размеров и материала детали.

Из трех круглых рельефов: МИС стандарта Т и американского широко используют рельеф Международного института сварки (рис.134).

Особо пластичные материалы требуют сплошных, меньших на 20—30%, рельефов без лунок. Рельефы формуют при контактном нагреве

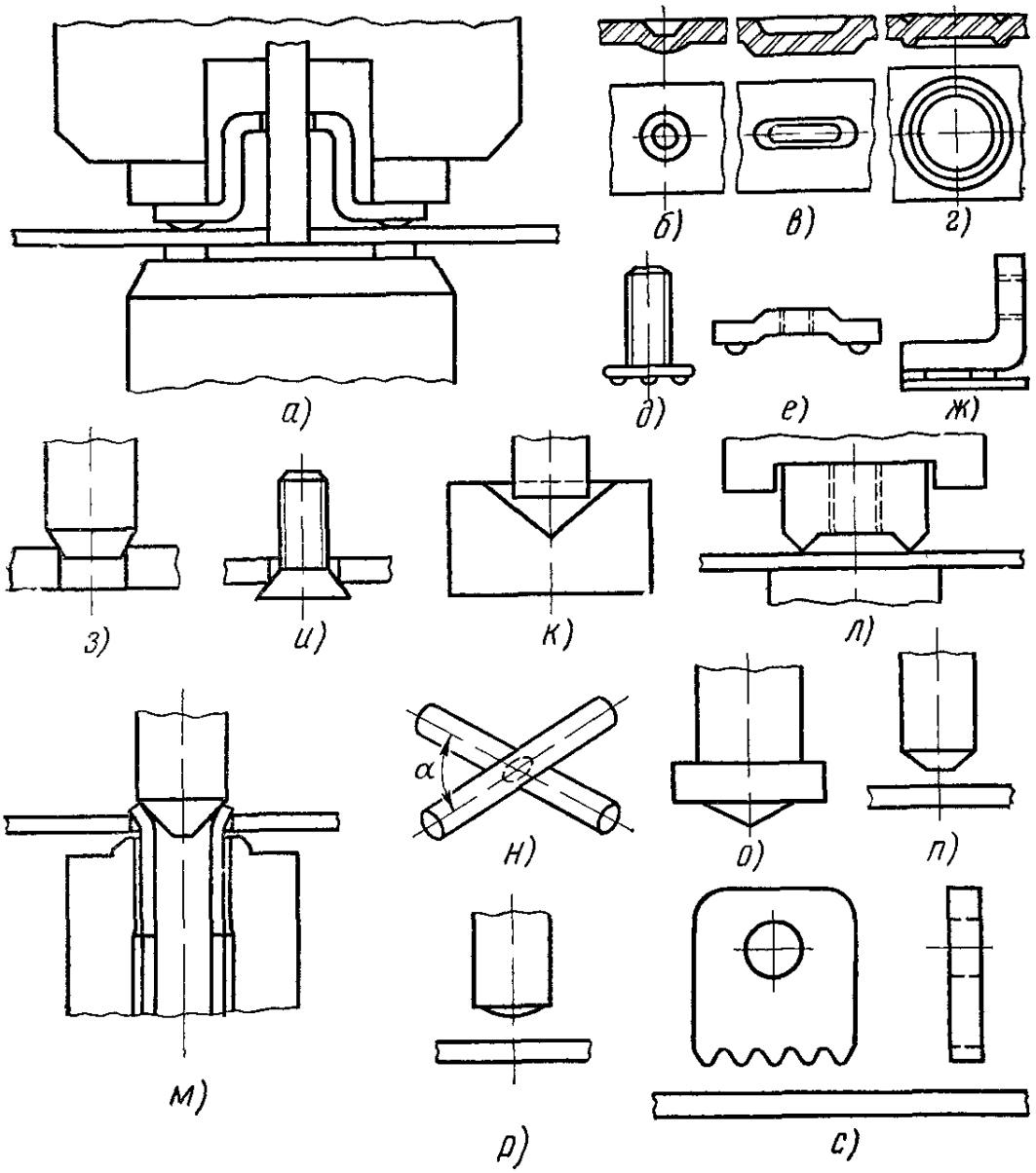
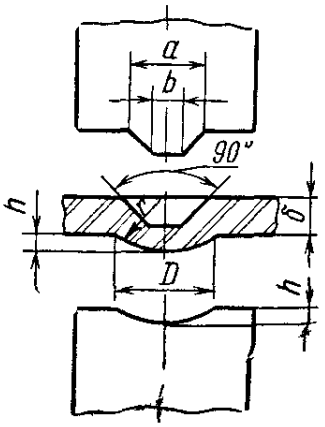


Рис 133 Разновидности рельефов

электродами с выемкой или на алюминии холодной высадкой. На листах тоньше 0,6 — 0,7 мм из-за малой жесткости круглых рельефов целесообразны продолговатые и кольцевые рельефы (рис. 133, *в*, *г*). Их высота и диаметр для листов $\delta = 0{,}3 - 0{,}45$ мм, близких к 0,4 и 1,8 мм. Промежуточные вставки закладывают при невозможности изготовления рельефов (например, на толстых деталях). Проволоку вкрест и детали с острой кромкой сваривают по естественным рельефам.



δ	1,0-1,3	1,4-1,8	1,8-2,5
D	3,0	3,3	4,8
h	0,9	1,0	1,1
r	1,6	1,8	2,0
b	1,3	1,4	1,6
a	3,5	4,1	4,7

Рис. 134. Рельеф Международного института сварки с размерами инструмента для полос толщиной δ

Рельефная сварка может завершаться кристаллизацией ядра, соединением без плавления, или одновременно с расплавлением и без него. Различия обусловлены размерами и формой рельефов, материалом и конструкцией деталей, а также оборудованием и принятой технологией.

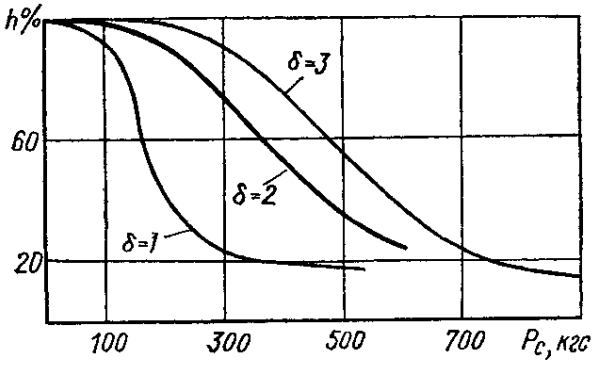


Рис. 135. Деформация рельефа МИС в % при разных усилиях P_c в зависимости от толщины полос δ

При заданном рельефе и неизменных других условиях качество соединения зависит от I_c, t_c и P_c. С повышением P_c рельеф сильнее сминается по высоте h (рис. 135), площадь его контакта увеличивается и нагрев стабилизируется. Оптимальное уменьшение h при $\delta = 1—2$ мм близко к 80%, а диаметр контакта 6—8 мм. После такой деформации сопротивление $R_н$ стабильно и ток распределяется по рельефу равномерно. При деформации на $0{,}6—0{,}7h$ контакт диаметром d_1 (рис. 136, *а*) при нагреве увеличивается до d_2 с образованием пояска, препятствую-

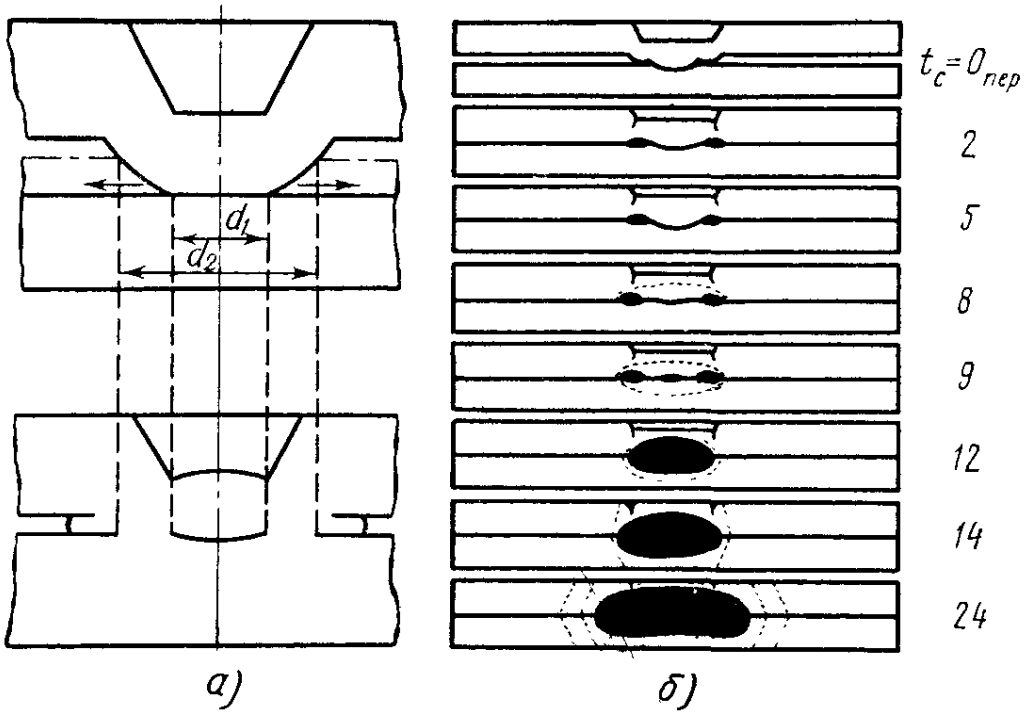


Рис. 136. Схемы формирования соединения при деформации рельефа на 0,6 δ (*а*) и на 0,85 δ (б)

щего пластическому течению. При малом t_c и окисленности поверхности расплавляется площадь, ограниченная диаметром d_1 и d_2. Чем меньше размеры рельефа, тем раньше прекращается рост пояска. С увеличением t_c площадь соединения увеличивается внутри и снаружи пояска. При начальном смятии деформация рельефа при нагреве током

незначительна. Касание деталей вне рельефа предупреждают увеличением размера и числа рельефов. Интенсивность нагрева зависит от $R_к/2R_э$. По мере снижения $R_к$ в начале нагрева влияние горячего металла рельефа на концентрацию тепловыделения усиливается. Сварка с расплавлением требует оптимальной энергии, зависящей от $I_с$, $U_с$ и $t_с$. При малой энергии потери тепла не восполняются, и ядро не образуется, а при большой — возможен выплеск.

На полосах толщиной 2 мм при длительном нагреве рельефа МИС (рис. 136, *б*) после двух периодов переменного тока рельеф расплавляется по наружному кольцу контакта и начинает деформироваться в сторону углубления. Обратная деформация завершается к 14-му периоду. Расплав в центре рельефа появляется в 9-м периоде, объединяясь в дальнейшем с кольцевым расплавом. При токах порядка 15 кА формирование ядра завершается к 24-му периоду. С увеличением тока ядро формируется быстрее.

21. Конструктивные элементы соединений (мм), выполняемых рельефной сваркой (расстояние от кромки до оси рельефа равно 0,5 *а*)

$\delta_1 = \delta_2$	*а* номин	*а* перед откл	*а*	$S_т$
0,3	1,5	+0,5	3,0	5
0,4—0,6	2,5		4,0	7
0,7—0,8	3,0	+1,0	5,5	9
0,9—1,1	4,0		7,0	10
1,2—1,4	5,0		8,0	12
1,5—1,6	6,0		10,0	15
1,8—2,2	7,0	+1,5	12,0	18
2,5—2,8	8,0		14,0	23
3,0—3,2	9,0		17,0	27
3,5—3,8	10,0	+2,0	20,0	30
4,0	11,0		22,0	34
4,5	12,0		24,0	38
5,0	13,0		26,0	42
5,5	14,0		28 0	46
6,0	15,0		30,0	50

Окончательный диаметр ядра, а также шаг между рельефами и величину нахлестки *а* выбирают в зависимости от толщины детали (табл. 21). Синхронные записи тока и перемещения электродов указывают на то, что перемещение на участке *ABC* до нагрева (рис. 137, *а*) растет почти линейно с усилием $P_с$, а при нагреве (участок *CDE*) вначале рост замедляется, а затем из-за увеличения объема расплава расстояние между плитами уменьшается (участок *D* — *E*). После выключения тока рельеф сжимается (участок *E* — *F*) усилием $P_с$. Деформация на участке *E* — *F* зависит от $\sigma_т$, ρ и δ материала деталей, а подъем на участке *DE* — от соотношения усилия сжатия и усилия, создаваемого расплавом.

Начальное нарастание тока при его модулировании (рис. 137, *б*) сглаживает пик *D*, устраняет начальный выплеск, способствуя обжатию расплава.

Жесткий режим ускоряет сжатие рельефа (участок *CD*), увеличивает объем расплава и уменьшает расстояние между электродами (участок *DE*). На мягком режиме оба процесса замедляются. Прочность качественных соединений без расплавления зависит от площади сварки. Касание деталей меняет режим сварки. Рельеф должен сминаться не ранее расширения объема расплава на величину, предупреждающую касание. Касание деталей предупреждают, сохраняя отношение $h/D = 0{,}2—0{,}3$.

Диаметр литого ядра $d_я$ соединений обычно выбирают по толщине δ

$$d_я = 4\delta^{2/3},$$

причем для $\delta < 1{,}5$—2 мм исходя из максимальной прочности $d_я$ можно уменьшить, а у однорельефных увеличить.

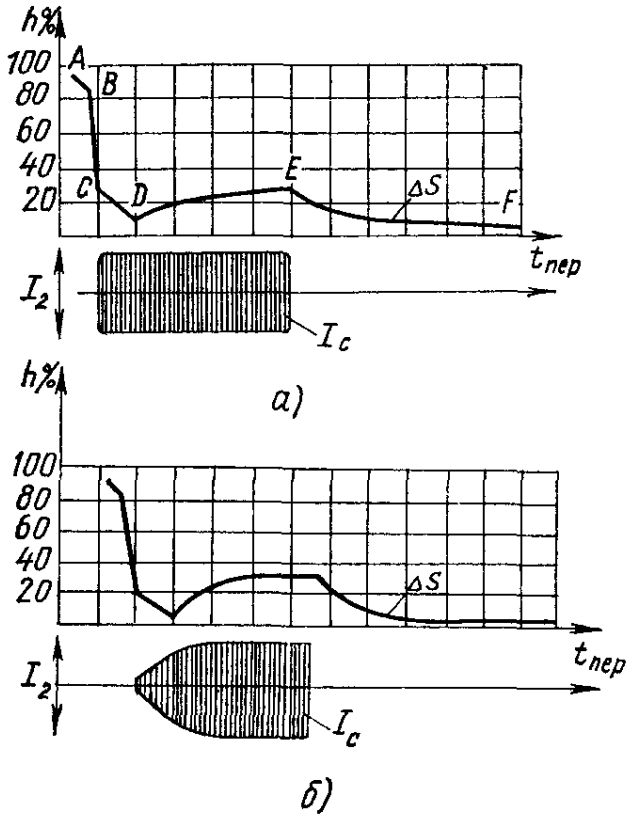


Рис. 137. Перемещение плиты при деформации рельефа (верхняя кривая) во время сварки с постоянной (*а*) и нарастающей (*б*) амплитудой тока

При предварительной деформации на $(0{,}5—0{,}6)h$ греется малая площадь контакта, которая растет за счет интенсивно нагретого металла и ядра.

При максимальной прочности совместная работа рельефных соединений возможна, если $d_я = (2{,}5 \div 3{,}5)\,d$. Смещение расплава предупреждается при $S_р = d_я + 2a\sqrt{t_с}$. При смещении больше $0{,}5d_я$ соединения некачественны. С уменьшением $S_р$ усиливается теплоотвод к соседним рельефам и $I_с$ снижают.

Расплавление стабилизирует свойства соединений. В твердом состоянии сваривают чистые поверхности, предупреждая их окисление при нагреве.

С увеличением δ от 2 до 4 и 6 мм $d_я$ увеличивается от 7 до 11 и 15 мм, а прочность на $P_{ср}$ с 1500 до 4300 и 6500 кгс соответственно.

Пластичность соединений во многом зависит от состава стали. Так, увеличение легирующих элементов углерода с 0,08 до 0,2% снижает прочность на отрыв и повышает прочность на срез. Их отношение уменьшается с 48 до 15% у пластин с $\delta = 1{,}6$ мм и с 78 до 28% у пластин с $\delta = 3{,}2$ мм. Пластичность повышают термообработкой.

§ 50. Подготовка деталей к сварке

Рельефы в листовой стали получают штамповкой, острые кромки — точением, а выступы на кованых деталях — высадкой и прокаткой. Вставки штампуют, нарезают из проволоки, прокатывают.

Допуск на диаметр рельефа при $\delta \geqslant 1{,}25$ мм составляет 0,1 мм, при $\delta \geqslant 1{,}5$ мм — 0,2 мм. Допуск на высоту в 1,5 раза меньше. Рельефы нелесообразно делать на более толстой или прочной детали или на детали с большей электропроводностью. При $\delta <$ $< 0{,}6$ мм обычно делают кольцевые рельефы (см. рис. 133, *б*).

Рельефы на толстой детали при $\delta_1 : \delta_2 = 1{:}3$ требуют жестких режимов. При большем отношении рельеф на толстой детали получить

трудно и его делают на тонкой детали, сваривая на мягких режимах, или применяют вставки.

Т-образные кольцевые (см. рис. 133, *л*) равнопрочные соединения с шириной зоны 1,5δ получают при скосе 60° и его ширине у основания ≈ 0,8δ.

Фланцы втулок при δ = 1; 1,5; 2,0 и 2,5 мм приваривают с расплавлением по притуплению, равному 2; 2,5; 2,8 и 3 мм. Высота рельефа 0,5; 0,6; 0,7 и 0,8 мм соответственно. Общий скос на рельефе 120°.

Гайку к детали с отверстием приваривают, если наружный диаметр гайки больше на 1,5—2 мм диаметра отверстия.

Сферическая или коническая форма с острой или притупленной вершиной *Т* (см. рис. 133, *о*, *р*) выбирается в зависимости от δ детали. Лучшее соотношение высоты рельефа и δ 1:3. Иногда соотношение уменьшают до 1:2. При хорошей фиксации стержней возможны рельефы на листах.

Для стержней диаметром 10, 20 и 30 мм угол при вершине конуса составляет 120—150°, а высота конуса соответственно 2; 2,5 и 3 мм.

При вварке в отверстие листа трубок их предварительно развальцовывают, а электрод затачивают на угол 45° (см. рис. 133, *м*). Листы втавр привариваются по закругленным или плоским прерывистым площадкам (см. рис. 133, *с*), или по продольному скосу.

Заусенцы и неровности на деталях, непараллельность и несоосность электродов приводят к шунтированию тока. Заусенцы удаляют, а детали перед сваркой правят.

Размеры рельефов могут изменяться в зависимости от $P_с$, размеров деталей и состояния их поверхностей. В нахлесточных соединениях их определяют по формулам:

$$D = (0{,}6 - 0{,}8)d_я,\ h = (0{,}2—0{,}3)D.$$

Максимальная величина D близка к $0{,}85d_я$. Из-за перераспределения тока между рельефами требуется более тщательная зачистка деталей. Горячекатаные детали с рельефами часто сваривают без зачистки.

§ 51. Выбор параметров режима сварки

Режимы сварки (табл. 22) могут быть жесткими и мягкими.

22. Прочность на срез $P_{ср}$ рельефных соединений, полос толщиной δ при разных режимах

δ, мм	Жесткий режим				Средний режим				Мягкий режим			
	$I_с$, кА	$t_с$, пер.	$P_с$ кгс	$P_{ср}$ кгс	$I_с$, кА	$t_с$ пер	$P_с$, кгс	$P_{ср}$, кгс	$I_с$, кА	$t_с$, пер	$P_с$, кгс	$P_{ср}$, кгс
0,94	9,2	12	147	650	8,7	21	147	630	7,6	32	147	470
1,5	11	21	226	1160	9,7	30	226	1100	8,6	42	226	1140
2,56	14,7	34	475	2300	12,5	46	475	2100	11,0	56	475	1700

У некоторых изделий допустима сварка при меньших $d_я$ или без расплавления. Рельефная сварка возможна на режимах разной жесткости.

Модуляция тока, устраняющая начальный выплеск осуществляется с его нарастанием от $(0,3-0,5)I_с$ до $I_с$. Выплеск также возможен при малой деформации рельефа или чрезмерных $I_с$ и $t_с$. Среднее давление при начальной деформации близко к $0,8h$ (в расчете на диаметр ядра близко к 12—15 кгс/мм², а при $0,6—0,7h$ — к 70—100 кгс/мм²).

Рельефная сварка требует больших j и $p_с$. Так, в нахлесточных соединениях толстых деталей $j = 200$ А/мм², а у тонких меньше 150 А/мм².

При сварке по острой кромке давление составляет 4—5 кгс/мм², а ток достигает 800 А/мм. Соотношение между длительностью предварительного сжатия $t_{пр}$, сварки $t_с$, проковки $t_к$ составляет 1,25 : 1 : 1,25.

Ковочное усилие $P_к$ прикладывают перед выключением тока. Большие скорости нагрева и относительно большие перемещения электрода затрудняют поддержание $P_с$, которое зависит от веса подвижных частей привода Q, усилия, развиваемого приводом $P_{ст}$, силы трения $P_{тр}$, ускорений подвижных частей привода a и силы тяжести g.

$$F_с = Q + P_{ст} \pm Q\frac{a}{g} - P_{тр}.$$

При больших a существенно изменяется $P_с$. Для его стабилизации снижают скорость нагрева, увеличивают $P_{ст}$ и уменьшают Q и $P_{тр}$.

Рельеф нагревают с оптимальной скоростью. Если скорость велика (велик ток), то происходит выплеск. С разогревом рельефа j снижается. Выбирают j по размеру рельефов и расстоянию между ними $S_р$. Для распространенных размеров рельефов и $S_р = 20 + 2,7\delta$ плотность тока j уменьшается с увеличением их сечения.

Ориентировочно $P_с = F \cdot \sigma_в \cdot 0,3$, $P_{пр} = (0,5—1,2)P_с$, а $P_к = 1,2P_с$. Предварительное сжатие должно быть плавным. У толстых деталей допускается кратковременное двух- и трехкратное импульсное включение тока небольшой амплитуды длительностью 0,2—0,3 с при $P_п = 1,2P_с$.

Общее $P_с$ увеличивают пропорционально количеству рельефов.

Режимы сварки внахлестку с модуляцией тока обеспечивают требуемый $d_я$ при ограниченной $t_с$ (табл. 23). Используются также меньшие значения $I_с$ и $P_с$ при увеличенной $t_с$.

23 Режимы рельефной сварки листов толщиной 3,6—6,4 мм

δ мм	$d_р$ мм	$h_р$ мм	$S_р$ мм	a, мм	$a_н$ мм	$P_с$, кгс	$P_к$ кгс	$t_м$ с	$t_с$ с	$I_с$, кА	$P_{ср}$ кгс
3,6	8	1,6	38	19	11	900	1900	0,3	1,2	15,4	3500
4	9	1,7	40	20	12	1000	2000	0,3	1,4	16,1	3800
4,4	9,5	2	44	22	13	1200	2400	0,4	1,64	17,4	4500
4,8	10	2	48	24	14	1300	2600	0,4	1,96	18,8	5300
5,2	11	2,3	50	25	15	1400	2800	0,5	2,24	20,2	5900
6,4	13,5	2,8	64	32	18	1700	3500	0,6	2,9	23,3	8200

Качество стабилизируют и устраняют выплески при равномерном распределении I_c и P_c по рельефам. Непараллельность перемещения электродов при сжатии не должна превышать 0,2 мм.

Нахлесточные соединения чаще сваривают на мягких режимах, при которых прочность снижается незначительно, а ток резко уменьшается.

Рельефной сваркой обычно соединяют сталь и реже цветные металлы и сплавы. В автоматных сталях возможны трещины, а в кипящих — расслоение. Хорошо свариваются низкоуглеродистые и хромоникелевые стали, значительно хуже — ферритные низкоуглеродистые.

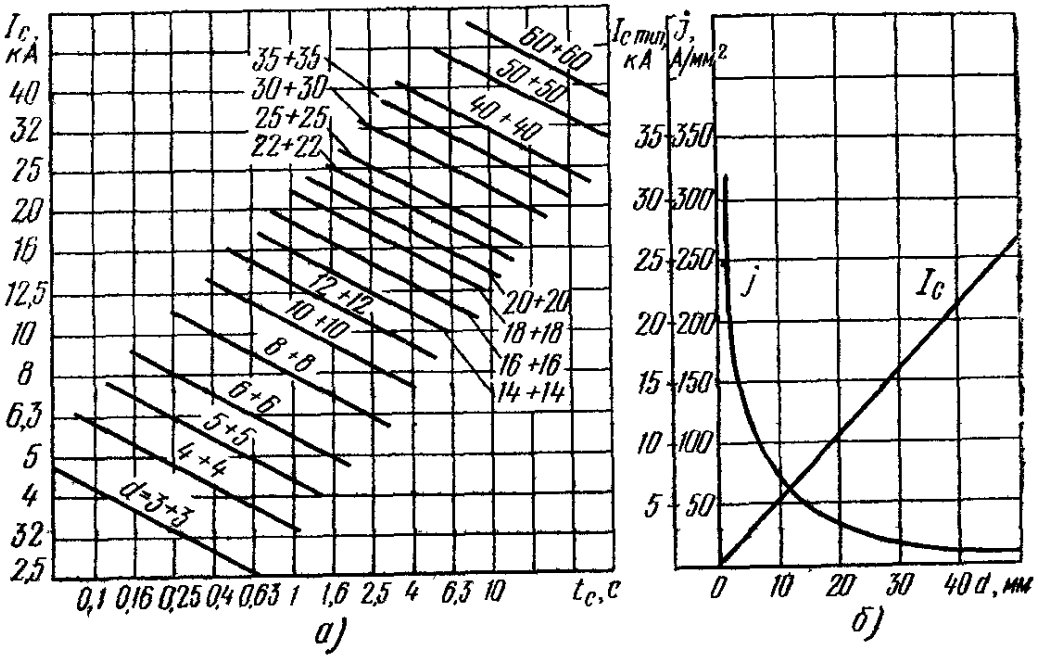


Рис. 138. Зависимость минимального сварочного тока I_c от диаметра стержня d и длительности сварки t_c (*а*), а также минимального тока I_c и плотности тока j для разных d из Ст3 (*б*)

Легированные стали закаливаются более интенсивно, чем при точечной сварке. При эквиваленте по углероду, большем 0,4, необходима термическая обработка.

Трубы в трубные доски (см. рис. 133, *м*) вваривают после притупления острой кромки доски на режимах, близких к соединению деталей по кольцевым рельефам. Притупление предупреждает утонение стенки трубы.

Детали крепежа (см. рис. 133, *д*, *е*, *ж*) со штампованными сферическими [$D = (1{,}1 - 1{,}5)\delta$ и $h = (0{,}3^5 - 0{,}4)D$], удлиненными рельефами или при рельефе на листе требуют меньших токов, чем нахлесточные соединения. Также возможна сварка без рельефов.

Трубы или листы втавр сваривают при токе, подведенном к боковым поверхностям вблизи от места сварки и приложении P_c к их удаленному торцу. На торцах труб в зоне сварки иногда делают вырезы. При длинных швах нагрев проводят прерывистым током.

Стержни и трубы, заточенные на угол 90° (см. рис. 133, *л*), с полосами часто сваривают втавр без расплавления. Высокая прочность достигается при кольцевом выступе (см. рис. 133, *г*).

Вкрест сваривают стержни, трубы, полосы, а также арматуру с выдавливанием расплава. На конечной площади давление больше 7,5 кгс/мм². С увеличением Δ_{oc} прочность повышается и при $\Delta_{oc} = 0{,}25d$ она такая же, как у целого низкоуглеродистого стержня. С повышением содержания углерода вследствие разупрочнения при нагреве $\Delta_{oc} = (0{,}33 - 0{,}4)d$.

Равнопрочность обеспечивается при разных I_c и t_c (рис. 138, *а*), если I_c мал, то соединение неравнопрочно. Минимальные значения тока с увеличением диаметра стержней увеличиваются линейно, а плотность резко снижается (рис. 138, *б*). Связь между d, I_c и t_c следующая:

$$I_c^2 \sqrt{t_c} = ad^{2,5}.$$

Стержни из прочных нагартованных металлов чаще сваривают на жестких режимах с последующим отпуском.

Стержни неодинакового диаметра сваривают, исходя из минимального диаметра с учетом теплоотвода и площадей контакта (табл. 24).

24. Ориентировочные режимы сварки стержней диаметром d вкрест и усилие среза соединения $P_{ср}$

d, мм	3	4,5	6	7,5	9	10,5	12,5	20
P_c, кгс	120	250	380	630	900	1300	1540	1800
t_c, пер.	10	16	23	32	40	50	60	70
I_c, кА	3,1	6,2	8,5	11,3	16,0	20,8	25,8	35
$P_{ср}$, кгс	510	1130	1800	2600	3690	5400	6700	8000

Контрольные вопросы

1. Расскажите о разновидностях и областях применения рельефной сварки.
2. Расскажите об особенностях сварки соединений внахлестку, деталей крепежа, Т-образных соединений, арматуры вкрест.

ГЛАВА XI

МАШИНЫ ДЛЯ РЕЛЬЕФНОЙ СВАРКИ

Рельефные машины из-за больших перемещений электродов имеют малоинерционный диафрагменный привод при строго параллельном сближении плит с электродами. Если применяют пневмоцилиндры, то направляющие оснащают роликами, а ползун пружинной подвеской. В машинах необходим малый вес подвижных частей, а также модуляция тока и стабилизация напряжения. Переменный ток для теплопроводных материалов с $\delta < 1$—15 мм недостаточно эффективен, а при $\delta < 0{,}3 - 0{,}4$ повторные импульсы из-за охлаждения деталей не повышают температуры. Постоянный ток и энергия, запасаемая в конденсаторах, более предпочтительны.

Машины рельефные МР-1607 и МР-2507 с $W_н$=70(ПВ=12,5%) и 130 кВ·А (ПВ=20%) и регулируемым 8 и 12 ступенями U_{20} от 2,3 до 4,6 и от 2,6 до 5,2 В развивают $P_с$ = 200—800 и 400—1600 кгс соответственно. Машины снабжены современной аппаратурой управления и рассчитаны на точечную и рельефную сварку. Электрододержатели крепятся непосредственно к электродным плитам. Их вылет составляет 385 и 410 мм. В машинах используют игнитронные контакторы КИА, синхронно включаемые и выключаемые регулятором РЦС-4-2.

Машина МР-4002 с $W_н$ 310 кВ·А(ПВ=20%) и регулируемым U_{20} от 3,5 до 6,9 В и $P_с$ от 400 до 3200 кгс сваривает с постоянным $P_с$ и переменным $P_с + P_н$. Давление поршня на ползун, перемещаемый в роликовых направляющих, передается через блок тарельчатых пружин.

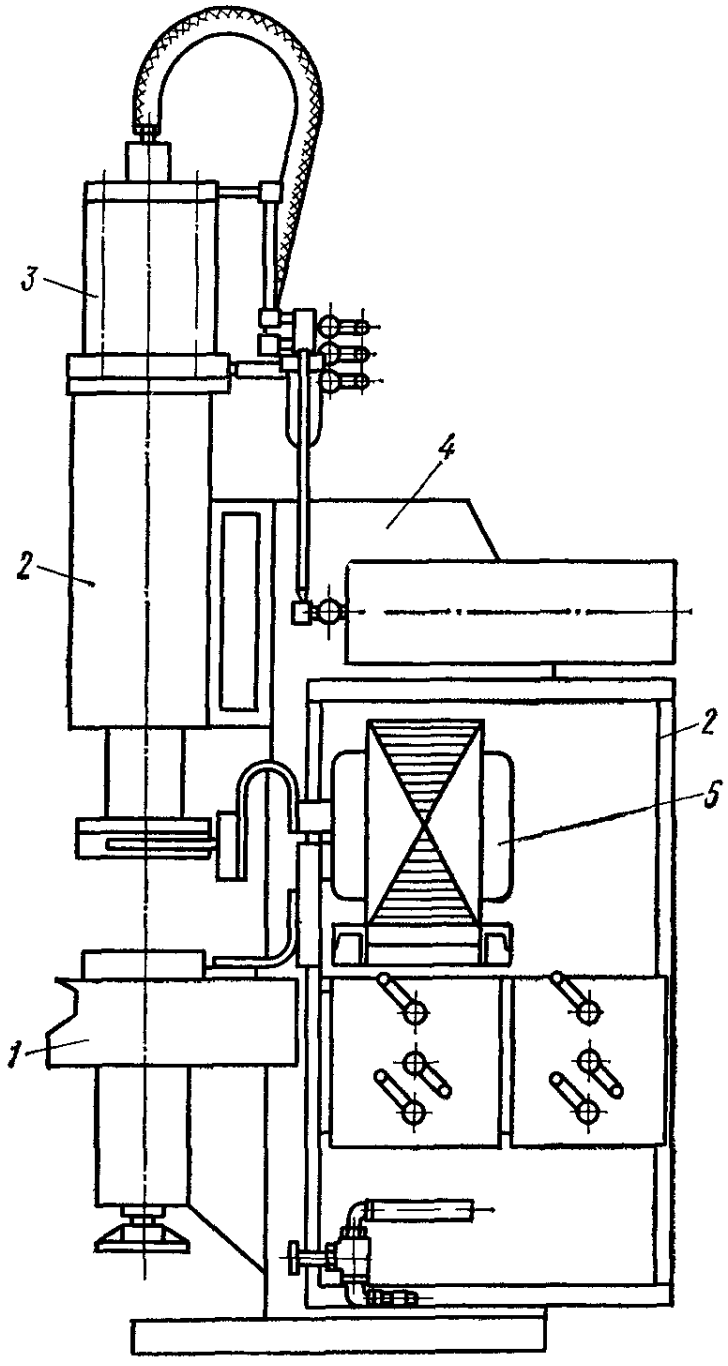


Рис. 139. Машина рельефная МР-6303:
1 — стол, *2* — направляющее устройство, *3* — привод электродов, *4* — корпус, *5* — сварочный трансформатор

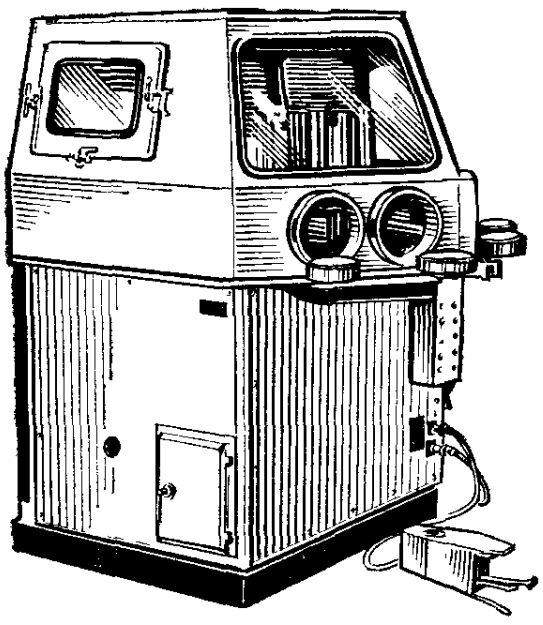


Рис. 140. Машина рельефная конденсаторная МРК-1001

Машины МР-6302, МР-6303 (рис. 139) и МР-6304 рассчитаны на номинальный ток 63 кА.

Унифицированный корпус допускает установку сменных приводов электродов и трансформаторов. Двухтрансформаторная схема электро-

питания снижает индуктивные потери. Вторичные, включенные параллельно витки, соединены с плитами, а первичные могут включаться параллельно и последовательно. Пневматический привод с противодавлением обеспечивает широкий диапазон P_c и $P_н$. Тарельчатый блок пружин и подшипники качения в ползуне стабилизируют давление. Ток коммутируется игнитронным контактором. Возможна сварка одним или двумя импульсами (основными и дополнительным) с независимым регулированием крутизны I_c, а также сварка в пульсирующем режиме.

Машина рельефная выпрямленного тока МРВ-4001 с $W_н = 30$ кВ·А (ПВ=80%) и P_c=400—5000 кгс сваривает одним импульсом при неизменном P_c сепараторы шарикоподшипников толщиной от 0,7 до

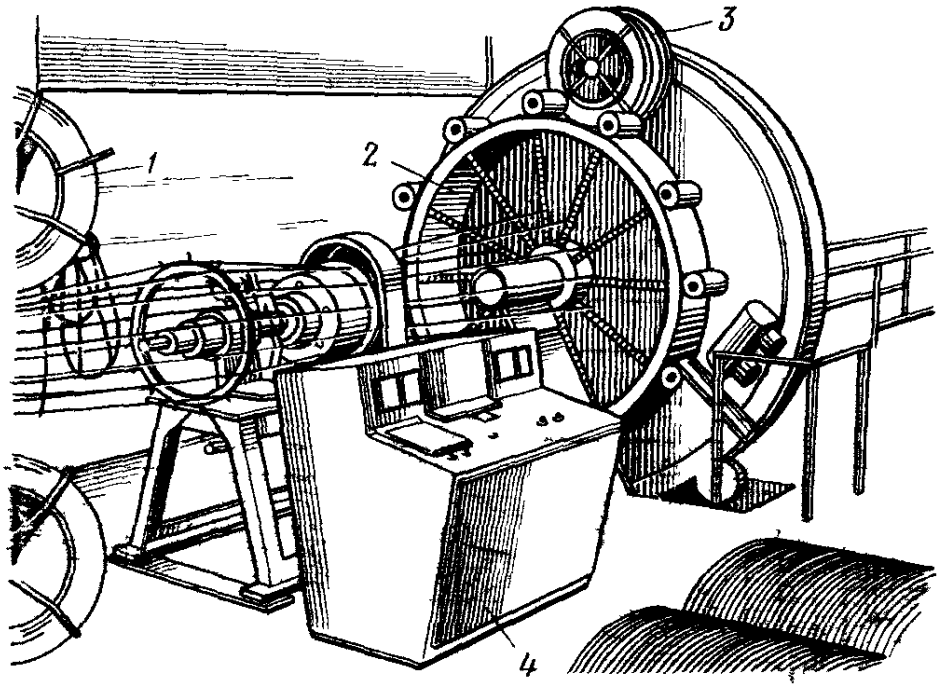


Рис 141 Машина для изготовления цилиндрических каркасов переменного и постоянного диаметров из проволок:
1, 3 — катушки с проволокой, *2* — направляющий калибр, *4* — пульт управления

1,3 мм при числе рельефов 6—10, а машина МВВ-8001 с $W_н = 700$ кВ·А (ПВ=12,5%) и P_c=400—4000 кгс — сепараторы толщиной 0,7—2,0. Конструкция и силовая часть такие же, как и у машины МРВ-6301. Полупроводниковые приборы сваривают на однопозиционных консольных конденсаторных машинах МТК-5-3, МТК 8002 и МТК 16001 со скафандром на нижней и приводом давления на верхней части скобы. Двухпоршневой привод и тарельчатые пружины стабилизируют регулируемое в широком диапазоне давление

Машины рельефные конденсаторные МРК-4001, МРК-4002, МРК-10001 (рис. 140) и МРК-10002, а также МРК-16001, МРК-16002, МРК-16003 с U_c = 150—400 В, $I_{2н}$ = 40, 100 и 160 кА и P_c в диапазоне 1000 — 5000; 2000 — 12 500 и 400 — 20 000 кгс рассчитаны на многопозиционную сварку в шаговом поворотном с 12 контактными головками приспособлении скафандра. Базовой является машина МРК 10001,

сваривающая однополярным импульсом в среде заданного состава. Конденсаторы разряжаются через тиристоры. Привод давления — пневматический двухдиафрагменный. Загрузка ручная, а выгрузка выталкивателем. Схема управления на элементах «Логика Т»

Машина АТМС 14-75-7 для сварки плоских арматурных сеток шириной 3800 мм из продольных и поперечных прутков диаметром 3—12 и 3—10 мм соответственно имеет прямолинейный ход с 18 пневмоцилиндрами и 18 сварочными трансформаторами, подключенными к 36 электродам. Подвод тока односторонний. Сетка перемещается на заданный шаг пневматическим механизмом. Продольные проволоки подаются из бухт непрерывно, а поперечные — вручную.

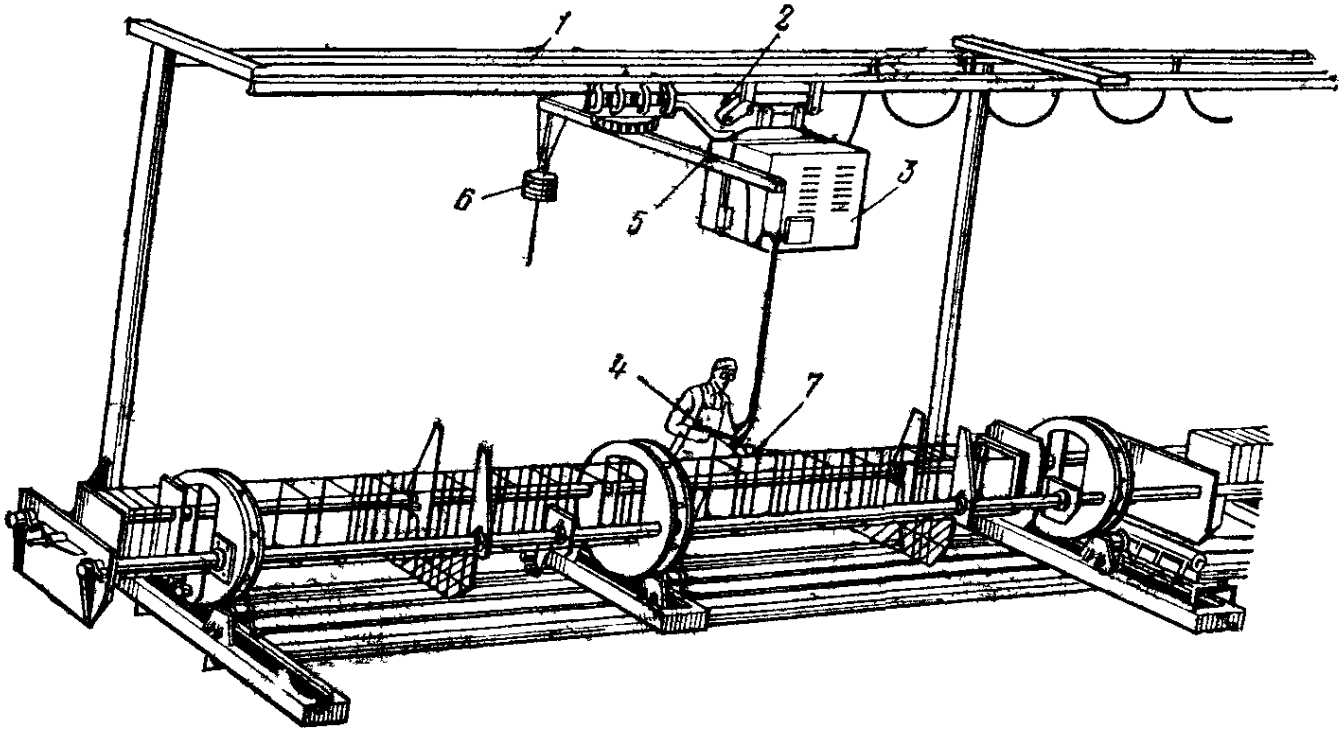


Рис. 142. Установка для сварки каркасов

Машина АТМС 14-75-9 имеет 12 трансформаторов и 24 электрода. Машина МТМК-3-100-2 предназначена для сварки каркасов, а машина МТМС-10-35 — арматурных сеток (20 электродов).

Круглые каркасы сваривают на специальных машинах (рис. 141) или в установках (рис. 142). В специальной машине (см. рис. 141) продольные проволоки диаметром 5—13 мм сматываются с катушек *1*, правятся и через трубки подаются к направляющему калибру *2*, который может перестраиваться при работе на диаметр 350—2200 мм. Электроды головки, вращаясь вокруг на кольцевом устройстве, приваривают наматываемую с отдельных катушек по спирали проволоку диаметром 5—9 мм. Скорость изготовления каркаса меняется от 0,3 до 3 м/мин. Количество продольных проволок 12—18. Машина управляется бесконтактными элементами. Клещи *4* при сварке каркасов монтируют на стреле поворотной турели *5* (см. рис. 142), размещенной с аппаратным шкафом *3* на тельфере *2*, который передвигается по монорельсу *1*. Клещи с кабелем уравновешиваются контргрузом *6* и поворачиваются в плоскости на 360°, а на подвесном кольце *7* — на 90° по

вертикали. Напряжение регулируется ножевым переключателем на промежуточном трансформаторе 380/72 В (для снижения опасности работы). При установке тиристорного контактора возможно фазовое регулирование.

Контрольные вопросы

1. Как устроены машины для рельефной сварки переменным и выпрямленным током, конденсаторные машины?
2. Назовите основные узлы машин для рельефной сварки.

ГЛАВА XII

ШОВНО-СТЫКОВАЯ СВАРКА

Шовно-стыковую сварку применяют при изготовлении глушителей, кабин, крыльев автомобиля, холодильников, обечаек, бидонов, фланцев, вентиляционных труб, приборов и других изделий из низкоуглеродистой и ряда легированных сталей.

§ 53. Разновидности шовно-стыковой сварки

Шовно-стыковая сварка осуществляется по скосам, полученным фрезерованием (рис. 143, *а*) или резкой с перекрытием ножей (рис. 143, *б*), холодной или горячей (рис. 143, *в*) деформацией наложенных листов, а также без скосов по накладкам (рис. 143, *г*), по засы-

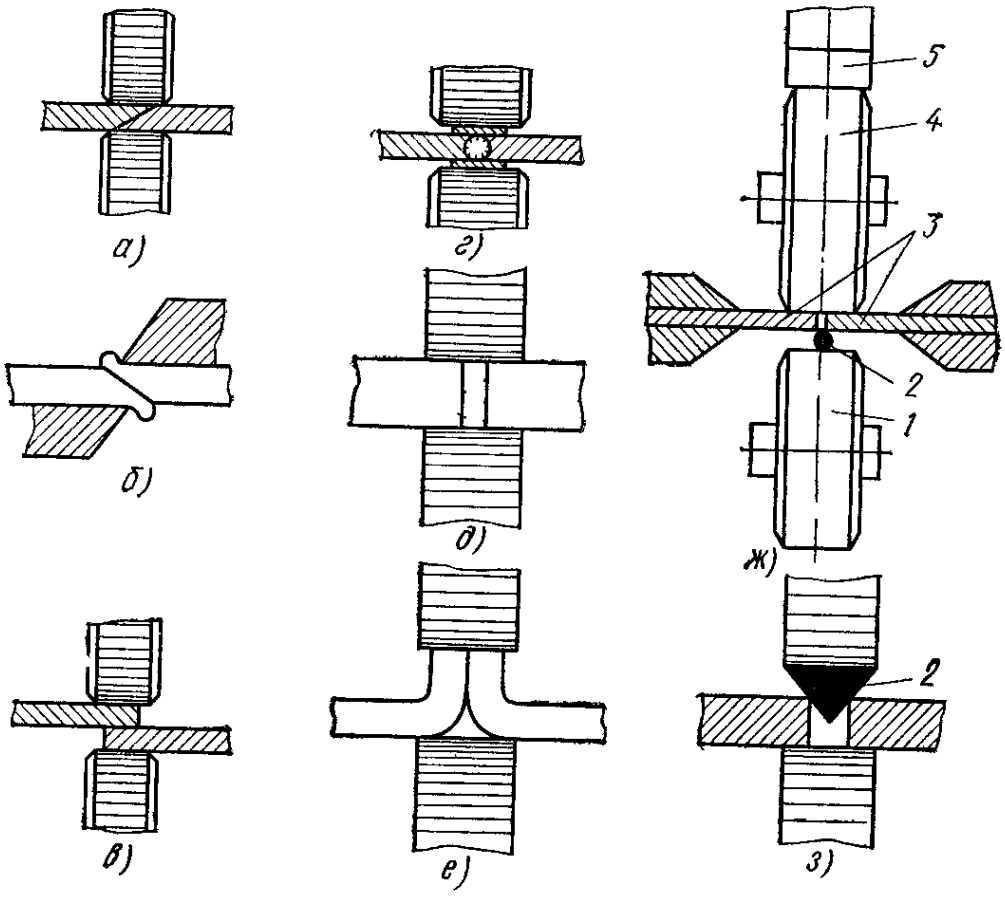


Рис 143 Разновидности шовно-стыковой сварки:
1, 4 — электроды, *2* — проволока, *3* — детали, *5* — резцы

паемому встык металлическому порошку (рис. 143, *д*) отбортовке (рис. 143, *е*) или закладываемым проволокам различной формы (рис. 143, *ж*, *з*).

Сварка по фрезерованным скосам затруднена несовпадением свариваемых поверхностей, а сварка с заполнением зазора порошком, износом электродов и распылением порошка под действием магнитных потоков. Более перспективна сварка с раздавливанием концов до и при сварке, а также сварка с накладками и с закладыванием встык проволок.

§ 54. Подготовка к сварке

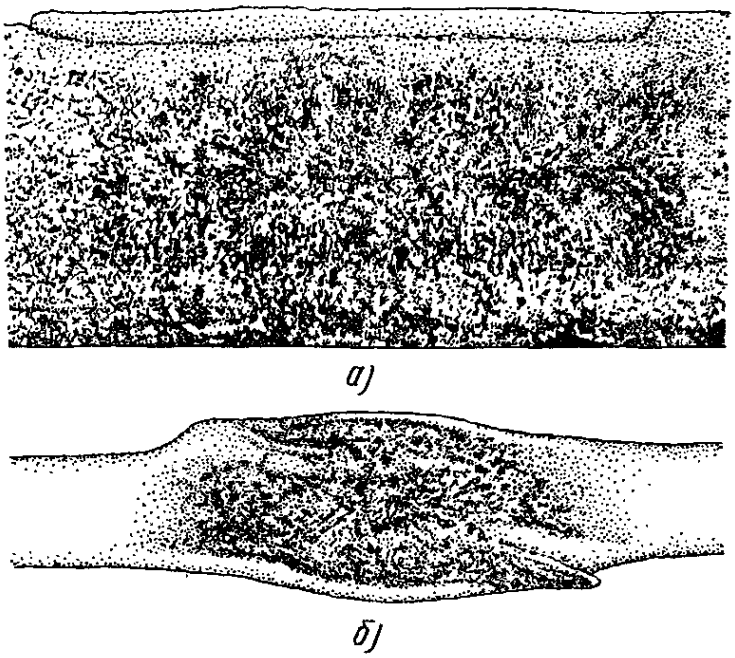
Для шовно-стыковой сварки важно точное направление электрода по стыку, параллельность соединяемых поверхностей и надежное закрепление листов в зажимах без их смещения при резке, деформации и сварке. Для точного совпадения кромок концы полос обрезаются непосредственно в сварочной машине встроенными ножницами. При закладывании проволок возможна сварка горячекатаных листов без их зачистки, хотя электрод *4* (см. рис. 143, *ж*), контактирующий с окислами одной из поверхностей, приходится регулярно зачищать от налипающей окалины резцом *5*.

§ 55. Формирование соединения и его свойства

Форма и структура металла ядра при сварке с накладками и обычной шовной сварке близки (рис. 144, *а*). При накладках с двух сторон листы соединяются по всей толщине, а при одной накладке возможен непровар. Прочность соединений и пластичность при двух накладках такие же, как и у исходного металла а при одной прочность на 20—30%, а пластичность на 50 — 60% ниже.

Соединения листов с покрытиями не нарушают их коррозионной стойкости и деформируются так же, как листы без покрытий. Накладки (рис. 144, *а*), вдавливаясь в деталь, дают в стыке небольшое превышение (0,1 — 0,2 мм). Коррозионную стойкость соединений низкоуглеродистой стали повышают применением накладок из нержавеющей хромистой или хромоникелевой стали.

Наиболее сильно плоскость соединения деформируется при горячем раздавливании кромок (рис. 144, *б*).



а)

б)

Рис. 144 Макроструктура после сварки с накладками (*а*) и с раздавливанием кромок (*б*)

Утолщение у низкоуглеродистых сталей составляет 5 — 10%, а у высокопрочных оно может увеличиться до 10—25%. Обкатка роликами в холодном состоянии или после нагрева устраняет или уменьшает это различие в толщине. После холодного деформирования кромок соединение более плоское, со структурой более мелкозернистой, чем при одновременной прокатке и сварке. Прочность соединений такая же или выше, чем у основного металла, а пластичность при надлежащем термомеханическом цикле даже у легированных сталей близка к пластичности исходного металла.

§ 56. Сварка с накладками

Накладки локализуют нагрев и деформацию кромок, стабилизируют качество по длине, обеспечивают высокие скорости и повышают стойкость электродов. Сборка перпендикулярных торцов полос должна быть точной с зазором менее 0,3 мм. Сваркой с накладками соединяют листы, покрытые цинком, оловом, кадмием, алюминием, а также листы из низкоуглеродистой и аустенитных сталей толщиной 0,5—5 мм. Допустимое различие толщин не более 3. Наряду с прямолинейными швами сваривают криволинейные. Ширина накладок обычно близка к 4 мм, а рабочей части электродов 6 мм. Более широкие накладки затрудняют концентрацию нагрева в стыке, а более узкие усиливают деформацию соединения.

Толщина накладок составляет $\delta_н = (0{,}15—0{,}3)\delta$. Для листов из низкоуглеродистых сталей $\delta = 0{,}5—2$; 1,5—3 и 3—5 мм, $\delta_н = 0{,}20 — 0{,}35$ и 0,5 мм. При более тонких $\delta_н$ усиливаются потери тепла в электроды, а при более толстых — затрудняется формирование соединений. Легированные стали сваривают с накладками из такого же материала, чаще из стали 1Х18Н10Т. У оцинкованных листов эту сталь не применяют из-за появления трещин в соединении.

Из-за быстрого охлаждения увеличение содержания углерода от 0,04 до 0,08 и 0,25% повышает твердость от 150 до 280 и 390 HV. Зона влияния близка к 20 мм. При неправильно выбранном режиме возможны горячие трещины средней части листа параллельно его поверхности.

Шовно-стыковую сварку с накладками осуществляют при больших импульсных $I_с$ (табл. 25). Обычно $P_с = 200—300$ кгс. С повышением $P_с$ проплавление ядра уменьшается и накладка плохо приваривается, а при уменьшении плавятся участки контакта и возможен выплеск.

Чрезмерные $v_с$ препятствуют кристаллизации ядра под давлением. Интенсивное охлаждение электродов и стыка позволяет повысить $v_с$ до 7 м/мин. Электроды из сплава Бр.07Х диаметром 160—220 мм и толщиной 16 мм при ширине рабочей поверхности 6 мм имеют с одной или с обеих сторон скосы на угол 30°. Чем меньше диаметр, тем выше концентрация тока и нагрева, однако при этом длина ядра мала и, несмотря на уменьшение теплоотвода $v_с$, ограничена.

При сварке с накладками приводными обычно делаются оба электрода, которые зачищают в машине резцовой головкой. Применяется также привод через шарошки. Подача эмульсии, исключающей кор-

25. Ориентировочные режимы шовно-стыковой сварки листов низкоуглеродистой и низколегированной стали

Вид сварки	δ, мм	$\delta_н$, мм	a, мм	$P_с$, кгс	$I_с$, кА	$t_с$, пер	$t_п$, пер	$v_с$ м/мин
Раздавливанием	0,5+0,5	—	1,0	250	10	2	1	3,0
	1,0+1,0	—	1,5	275	14	2	1	2,0
	1,25+1,25	—	2,0	300	15	2	1	1,5
	1,5+1,5	—	2,5	325	13	3	2	1 3
	2,0+2,0	—	3,0	350	14	3	2	1,2
С накладками	0,6	0,2	—	250	12	1	1	3,0
	0,75	0,3	—	250	13	1	1	2,5
	1,0	0,3	—	250	14	2	1	2,0
	1,25	0,3	—	250	15	3	2	1,8
	1 5	0,4	—	250	14	3	2	1,5
	2,0	0,4	—	250	15	3	2	1,3
	2,5	0,4	—	250	14	4	2	1,0

розию деталей, без парообразования на некотором расстоянии от свариваемой точки предупреждает перегрев стыка и окисление и позволяет получить мелкозернистую структуру.

§ 57. Сварка с раздавливанием кромок

Разрушающая нагрузка $P_{разр}$ у соединений из стали 08кп толщиной $\delta = 1$ мм, сваренных с раздавливанием кромок на неизменном режиме при увеличивающейся нахлестке a в начале повышается, а затем снижается (рис. 145, *а*), хотя $P_{разр}$ стыка непрерывно растет. Для $I_с = 18$ кА, $t_с = 0{,}06$ с и $P_с = 400$ кгс оптимальная $a = 1{,}5$ мм, т. е. $a \simeq (1 - 1{,}5)\delta$. Нагрузка $P_{разр}$ при $a = 3$ мм ($a = 3\delta$) повышается с увеличением $I_с$ и $P_с$. С повышением $I_с$ при неизменных остальных параметрах наибольшая прочность (рис. 145, *б*) соответствует $I_с = 18$ кА. Если ток больше, то подплавляется поверхность и расширяется зона влияния литой структуры.

Качество соединений и их поверхность во многом зависят от равномерности нахлестки. Наиболее легко с горячим раздавливанием соединяют стали, содержащие не более 0,2% С, и аустенитные стали.

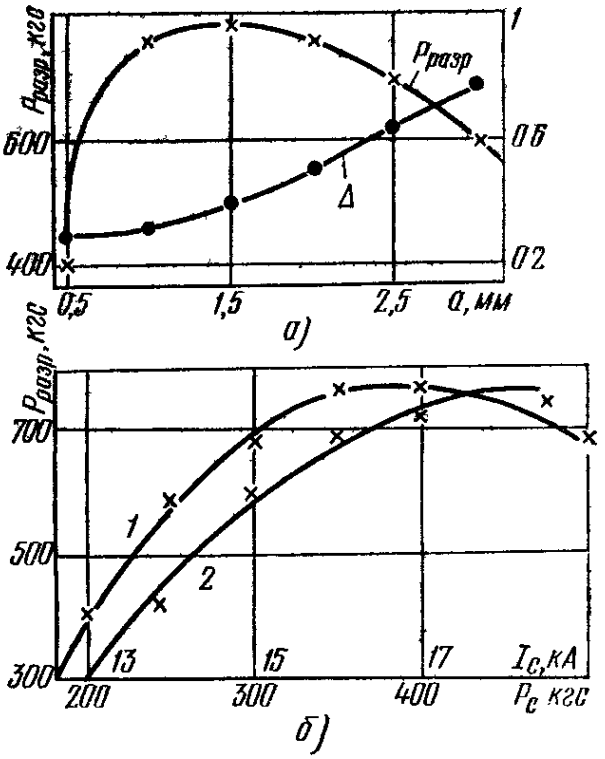


Рис 145. Зависимость разрушающей нагрузки $P_{раз}$ и превышения Δ от величины нахлестки a (*а*) и $P_{разр}$ от сварочного тока $I_с$ (*б* — кривая *1*) и усилия сжатия $P_с$ (*б* — кривая *2*)

Хорошие результаты получены при сварке ферритных сталей. Скорости сварки при этом достаточно высоки Прочность нагартованных сталей снижается не более чем на 10%. Однако после нагартовки или термообработки она может быть значительно повышена. Для закаливающихся сталей применяется термообработка при увеличенной установочной длине непосредственно нагревом электродами. При односторонней сварке лент $\delta = 0{,}4$, 0,8 и 1,2 мм двумя электродами с раздавливанием кромок на опорной плите с формирующей подкладкой нахлестка $\Delta = 1{,}5$; 1,5 и 2 мм, $P_c = 550$—600, 650—700 и 900—950 кгс, а $I_c = 20 - 22$, 23 — 24 и 24—25 кА соответственно. Ориентировочно для $\delta =$ $= 2$ мм, $P_c = 1000$ кгс и $I_c = 27$ кА, а для $\delta =$ $= 2{,}5$ мм, $P_c = 1050$ кгс и $I_c = 28$ кА. Тепловой режим регулируется вследствие изменения $t_п$ и фазы напряжения.

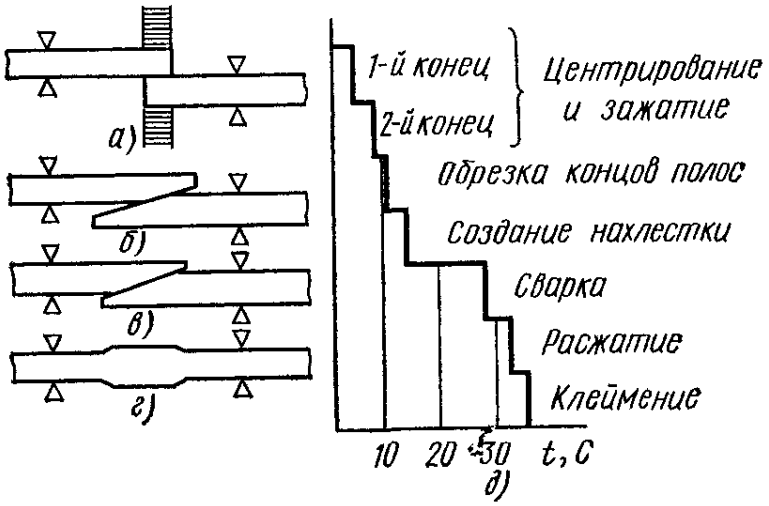


Рис 146 Схема сварки с предварительным холодным раздавливанием (*а, б, в, г*) и циклограмма подготовки к сварке и сварка (*д*)

Сварка с раздавливанием кромок обычно используется для полос толщиной до 1,5 мм Более толстые полосы предварительно обжимают роликами вхолодную (рис. 146, *а, б*). Затем кромки смещают (рис. 146, *в*) и далее сваривают прочноплотным швом (рис. 146, *г*). Такой процесс пригоден для сварки полос шириной 500 мм и более. Типовая циклограмма такого процесса (рис 146, *д*) указывает на его высокую производительность. Небольшой непровар (не более 0,1 мм) с каждой стороны, как показывает прокатка соединений, не влияет на проходимость стыка через стан до обжатий 60—70% Процесс перспективен для сталей, склонных к росту зерна, так как пластическая деформация при сварке уменьшает неблагоприятное влияние перегрева. Процесс используют для сварки аустенитных сталей и других жаропрочных материалов.

В машине с установочным ножом и перемещаемыми точно вдоль электродов тележками при подаче проволоки через правильное устройство из кассеты возможна полная автоматизация сварки обечаек. Прочноплотные соединения обечаек из листов толщиной 1,5 и 2 мм получают при $I_c = 17$—20 кА, усилии сжатия 500 и 600 кгс, t_c 0,06 с, $t_п$ 0,04 и $v_c = 2$ м/мин. Ширина контактной поверхности электродов близка к 10 мм.

Контрольные вопросы

1 Назовите разновидности шовно-стыковой сварки и области применения их.

2 Перечислите основные параметры режима сварки с раздавливанием кромок и накладками.

ГЛАВА XIII

МАШИНЫ ДЛЯ ШОВНО-СТЫКОВОЙ СВАРКИ

Машины имеют установочные тележки для закрепления лент, ножницы для обрезки концов лент, сварочный узел с трансформатором и электродами, аппаратуру управления и другие устройства.

§ 58. Машины для сварки с накладками

Сферические детали сваривают на достаточно жестких шовных машинах, снабженных приспособлениями и устройствами для подачи накладок. Детали собирают с зазором менее 0,3 мм, центрируют и закрепляют пневмоцилиндрами или электромагнитами. Форма электро-

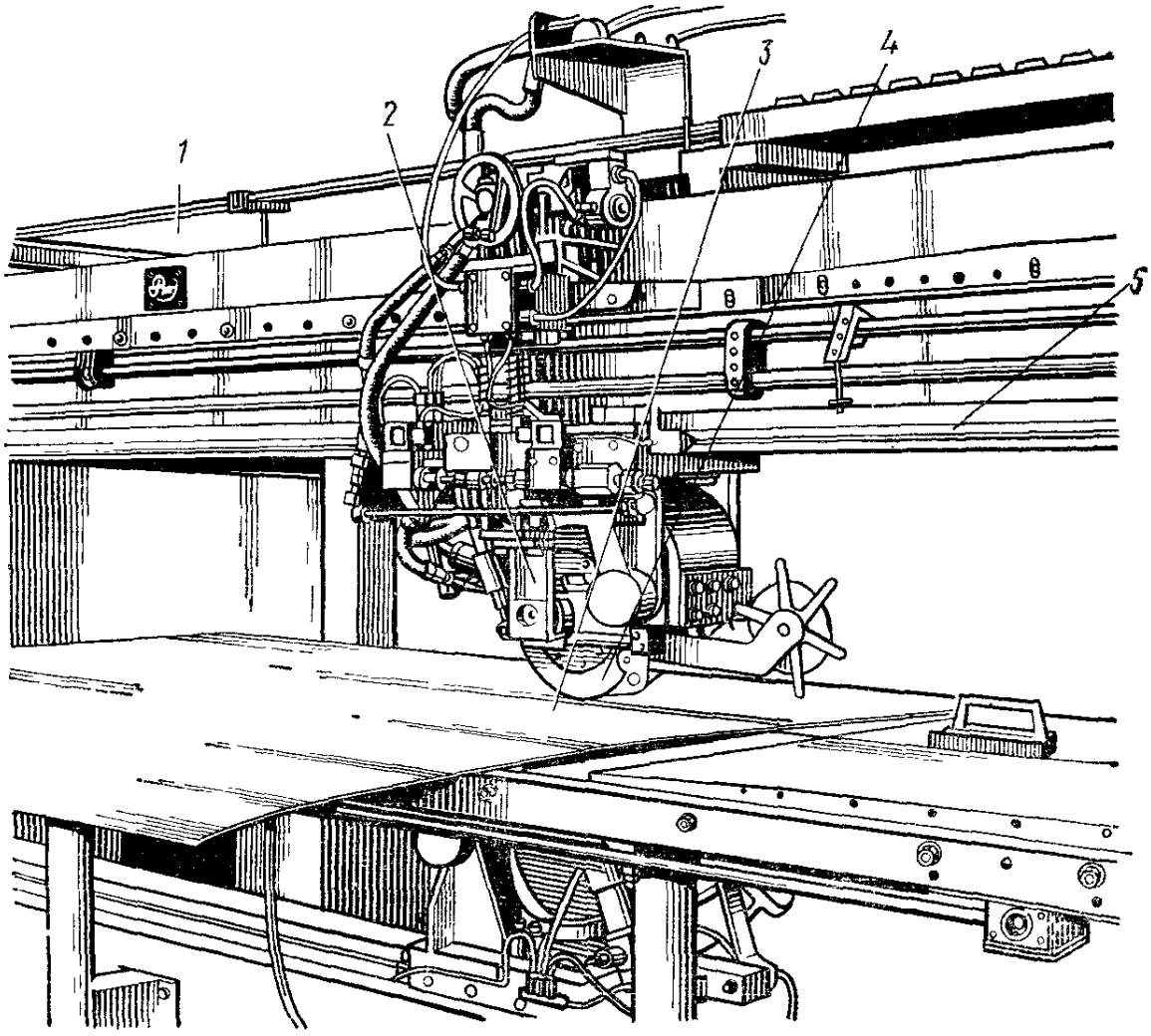


Рис 147. Машина для сварки с накладками плоских листов

магнитных зажимных плит соответствует форме изделий. Одной накладкой сваривают с сохранением коррозионной стойкости оцинкованные или покрытые алюминием трубы глушителей, освинцованные бензобаки и др. Листы шириной до 5 м сваривают на портальных машинах (рис. 147) с двумя корпусами, соединенными плечами *1*,

по которым перемещается электродная головка *2*. Первичные и аторичные обмотки двух трансформаторов мощностью 110 кВ·А (ПВ=50%) соединены параллельно. Оба электрода *3* и *4* вдоль токоподводящей шины *5* перемещаются электродвигателем постоянного тока с регулируемым числом оборотов через ступенчатый шкив и резьбовой шпиндель. Электроды прижимаются пневмоцилиндрами с регулируемым давлением воздуха На устройствах крепления электродов расположены катушки для подачи накладок Потенциометр, расположенный на салазках, позволяет изменять фазу напряжения а питающем трансформаторе тиристорным прерывателем с учетом изменения индуктивности сварочной цепи. На листах толще 2 мм расхождение кромок предупреждается прихваткой накладок перед сваркой. Скорость сварки регулируется плавно до 5 м/мин, а возврат происходит при 10 м/мин

§ 59. Машины для сварки с раздавливанием кромок

Машины с раздавливанием кромок (рис. 148) имеют жесткую станину с установочными тележками и раму *1* (консоль) с направляющими качения *2*, в которых без люфтов она перемещается в поперечном направлении. На жесткой раме с малой массой размещены режущие устройства *4*, обжимные ролики *6* и сварочные электроды *5*. Рама перемещается электродвигателем *3* постоянного тока с тиристорным управлением, обеспечивающим бесступенчатое регулирование и программирование v_c. Самотормозящий двигатель для быстрого торможения снабжен дополнительным тормозом. Концы лент толщиной до 3 мм отрезают обычно дисковыми, а толщиной 1—6 мм гильотинными ножницами *4*. Дисковые ножи отрезают при движении рамы в одном направлении, а сварка — в другом Также возможна резка одним диском обеих кромок. Цилиндры *7* и *8* обеспечивают требуемые усилия сжатия.

Обжимные ролики, изготовленные из инструментальной стали и установленные в игольчатых подшипниках, размещены симметрично. Полосы при резке центрируются центрователем. Подвижные зажимные губки перемещаются двумя 2-кривошипными механизмами.

Сварочный трансформатор установлен сбоку на раме.

Трансформаторы, выбираемые в зависимости от ширины и толщины лент, имеют мощность 50—100, 150 и 220 кВ·А (ПВ = 50%)

Фаза напряжения регулируется тиристорным прерывателем. Управление осуществляется бесконтактными элементами. Маслосборник, поршневой насос, фильтры, клапаны аккумулятора и другая гидроаппаратура установлены рядом с машиной

Контрольные вопросы

Расскажите о конструктивных особенностях машин для шовно-стыковой сварки с раздавливанием кромок и с накладками.

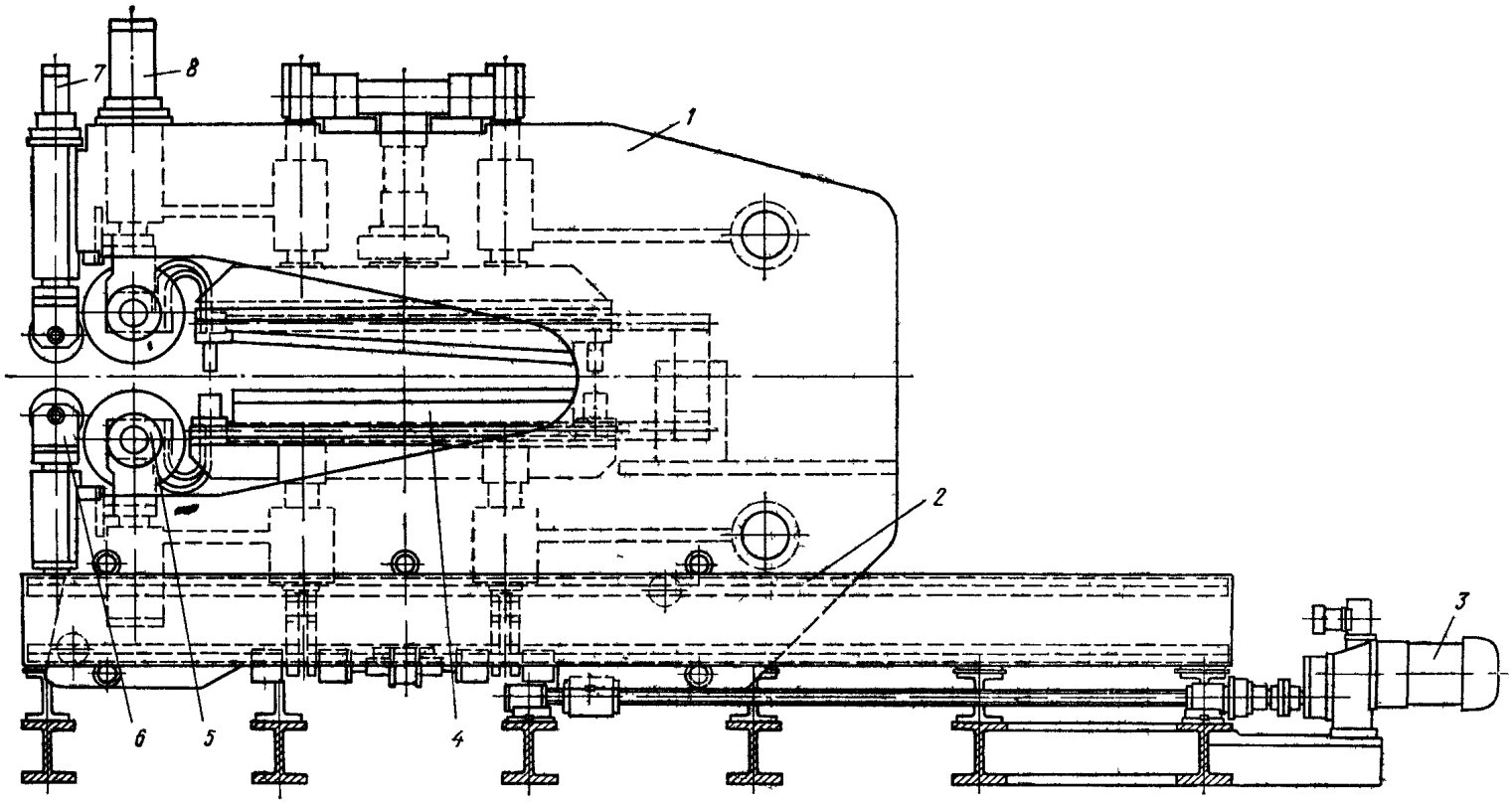


Рис 148 Машина для сварки полос с раздавливанием кромок

ГЛАВА XIV

НЕКОТОРЫЕ ВИДЫ СВАРКИ ДАВЛЕНИЕМ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НИХ

В промышленности помимо рассмотренных ранее видов сварки давлением применяют холодную, диффузионную и ультразвуковую сварки, а также сварку трением и взрывом.

§ 60. Холодная сварка

Холодная сварка — разновидность сварки давлением при значительной пластической деформации без внешнего нагрева соединяемых деталей. Пластичность (или способность к деформации без разрушения) является основой холодной сварки. Схватывание ювенильных поверхностей начинается при первых признаках совместной пластической деформации, однако возможна сварка пластичного алюминия с непластичным кремнием.

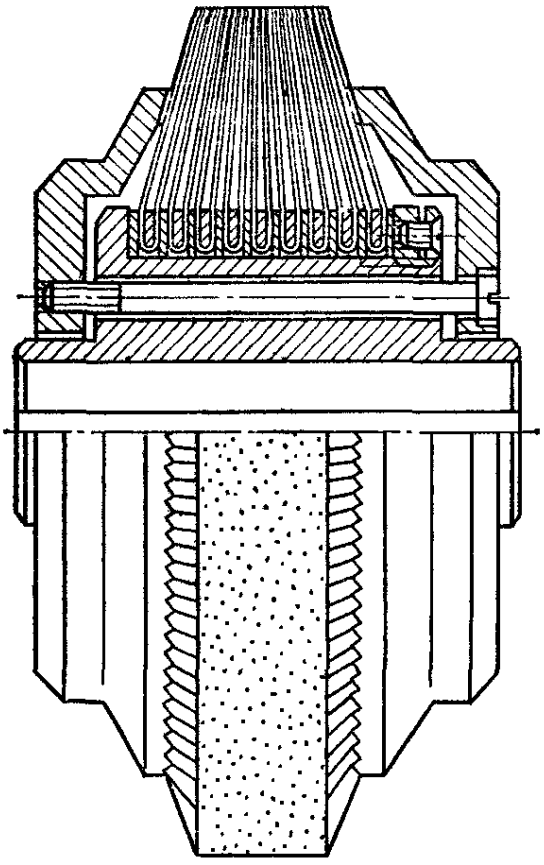


Рис. 149. Металлическая щетка

Адсорбируемые поверхностью металлов кислород и азот, а также пары воды с трудом удаляются при нагреве до нескольких сотен градусов. Образующиеся твердые и хрупкие окисные пленки при пластической деформации дробятся и могут удаляться с высаженным металлом или частично участвовать в формировании соединения.

Особенно вредны пластичные жировые пленки (остатки смазки, пыль и др.), трудно удаляемые из зоны соединения. Пленки удаляют перед сваркой, промывая поверхности растворителями или прокаливая при 400° С в течение 30 мин. Поверхности от окислов обычно зачищают вращающейся со скоростью 1500—3000 об/мин стальной щеткой диаметром 150 — 200 мм (рис. 149). Абразивы и обработка напильником, дающие посторонние внедряемые в металл частицы, не желательны. Слой никеля толщиной 5 — 15 мкм, наносимый электролитически или химически на детали из меди и различных сплавов, облегчает сварку.

Торцы перед стыковой сваркой торцуют, строгают, обрезают специальными ножами или кусачками. Чем пластичнее металлы, ровнее и чище их поверхности, тем качественнее они свариваются. Детали обычно сваривают сразу после зачистки. Хранение деталей в средах

с поглотителями влаги удлиняет допустимое время между зачисткой и сваркой.

Начальное схватывание проявляется у всех металлов, а качественная сварка у некоторых металлов требует столь сложных приемов, что становится нерациональной.

Свариваемость, как и пластичность, зависит от строения металла. Хорошо свариваются металлы с гранецентрированной решеткой (алюминий, медь, серебро, золото, платина, никель, свинец и α-железо), труднее—металлы с кубической решеткой (α-железо, хром, вольфрам, ниобий, молибден) и еще труднее — с гексагональной решеткой (цинк,

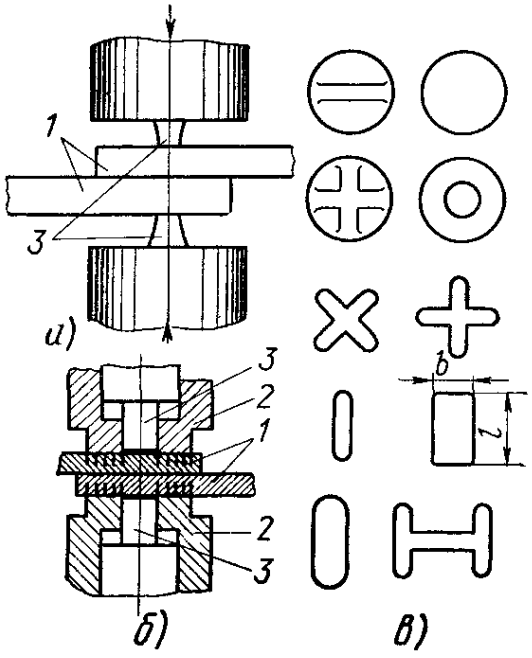


Рис. 150. Схемы точечной сварки

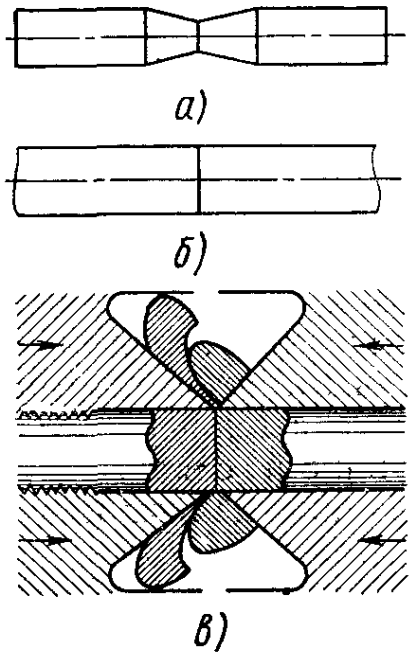


Рис. 151. Схемы подготовки торцов (*а, б*) и схема деформации металлов разной пластичности (*в*)

кадмий, бериллий, магний), хотя титан с такой же решеткой сваривается удовлетворительно. Наиболее хорошо свариваются алюминий, медь и серебро, а также их некоторые сплавы. Перспективна сварка аустенитных сталей, титана и ниобия. Плохо сваривается α-железо и углеродистая сталь. Для трудно свариваемых металлов используют прокладки из алюминия, меди, никеля и др.

С увеличением степени деформации пластичность δ исходного металла (в частности, алюминия) снижается с 75 до 55—60%, а прочность $\sigma_в$ повышается с 8 до 16—18 кгс/мм^2.

Холодная сварка может быть точечной (рис. 150), шовной и стыковой (рис. 151).

Точечную сварку выполняют с предварительным сжатием (рис. 150, *б*) или без него (рис. 150, *а*), или при значительном сдвиге в плоскости соединения. Очаг сварки в первом случае больше диаметра инструмента *3* из-за зажатия деталей *1* дополнительными пуансонами *2*.

При точечной сварке без зажатия прочность растет с увеличением вдавливания соответствующего степеням деформации 60—70% (в зависимости от состояния поверхностей и материала) и давления для алюминия от 17 до 25 кгс/мм² и меди от 35 до 80 кгс/мм². Повышение давления улучшает качество. Давление на опорные части при сварке алюминия с толщиной 2 мм — 11—12 кгс/мм².

Сварка с предварительным зажатием по сравнению с обычной повышает прочность на 20%. Прочность у полос толщиной 1—5 мм растет с увеличением диаметра рабочего инструмента до 5—6 мм, а при диаметре инструмента более 9 мм качество неудовлетворительно. Мягкие металлы сваривают круглым пуансоном, а нагартованную медь, алюминий и их сплавы — прямоугольными или более сложными пуансонами (рис. 150, *в*). Ширина пуансона $b = (1—3)\delta$, его длина $l = (2 — 3)b$.

Площадь прижимов в 15—20 раз больше площади пуансона. Давление на пуансоне выбирается с учетом толщины деталей и требуемого качества.

Вдавливанием сваривают листы толщиной 0,2—15 мм. Глубина вдавливания у меди не превышает $(0,1—0,15)\delta$, алюминия $0,6\delta$ и у остальных материалов $0,8—0,9\delta$. Чрезмерное вдавливание снижает прочность соединения. У разнородных материалов степень вдавливания определяется наиболее пластичным материалом.

Ш о в н о й с в а р к о й соединяют малочувствительные к ослаблению замкнутые швы при одностороннем и двустороннем деформировании. Диаметр ролика близок к 50δ, ширина рабочего выступа $(1—1,5)\delta$, высота $(0,8—0,9)\delta$, а ширина опорной части ролика, ограничивающая деформацию, в 2—3 раза больше ширины рабочего выступа. Высота отбортовки может также меняться от 1,0 до 10δ. Иногда сваривают швом по закладываемой проволоке. Ширина ролика b составляет $1—1,5\delta$.

С т ы к о в а я с в а р к а, обеспечивающая высокую прочность и достаточную пластичность соединений, осуществляется без скоса и со скосом деталей (рис. 151, *а, б*). Деформация деталей обычно ограничена зажимами, которые срезают высаженный металл полностью (рис. 151, *в*) или придают ему определенную форму. Повторная осадка и сосредоточенная деформация в стыке с формированием металла повышают качество соединения.

При повторной осадке суммарная величина деформации соединений алюминия меньше, чем при непрерывной осадке.

Основной схемой стыковой сварки является осадка в матрицах с заостренными торцами, имеющими скос 20—30° ($\alpha = 60—70°$). В производственных условиях алюминий сваривают при 26 кгс/мм². Ориентировочно P_c выбирают по формуле

$$p_c = \frac{P_c}{F} \leqslant 4\sigma_т,$$

где F — контактная площадь; $\sigma_т$ — предел текучести.

С повышением температуры P_c уменьшается. Помимо p_c режим определяется суммарной установочной длиной $l_1 + l_2$, степенью и схе-

мой деформации. Продольный изгиб предупреждается при $l_1 + l_2 < 3d$ (δ).

В схеме с усеченной полостью $p_c = 4\sigma_т$.

Алюминий при осадке с медью укорачивается в 1,2—1,5 раза сильнее и требует большего припуска.

Прочность соединений алюминиевых проводов составляет 98—100% прочности алюминия. Стыковой сваркой соединяют проволоку, стержни, кольца, трубы и различные сложные катаные и прессованные профили. Соединения наряду с высокой прочностью и достаточной пластичностью имеют хорошую электропроводность и герметичность.

У однородных металлов $l_1 + l_2$ близка к d или δ, а у разнородных — обратно пропорциональна их твердости. Например, при сварке прутков меди и алюминия она соответственно равна $d + 1{,}25d$.

Пластичность соединений такая же, как у наклепанного металла. Отжиг, обычно снижая прочность, повышает пластичность. Алюминий отжигают при 100—200° С, соединения из серебра и меди при 700° С и железо при 800° С. Если соединение недостаточно качественное, то отжиг также повышает прочность. Основными дефектами холодной сварки являются непровар, нарушение герметичности, отклонения в размерах и чрезмерное ослабление деталей при большом вдавливании.

Наиболее широко холодной сваркой соединяют медные провода, используя губки с насечкой. При сварке проводов сечением 8,5 мм^2 губки не должны сходиться ближе чем на 1,2—1,7 мм, а сечением 100 мм^2 на 1,7—2 мм. Так как при одной осадке соединения хрупки, то делают две или три осадки. Перед резкой на длине 200 мм провод отмывают от грязи, жира и графита, смоченной в бензине ветошью, вытирают и режут сухими и чистыми ножами.

Для проводов сечением 85 и 100 мм^2 $P_c = 200$ кгс, $l_1 + l_2 = 5 + 5$ мм, величина Δ_{oc} соответственно 1,5—1,7 и 1,7—2 мм, число осадок 3.

Внахлестку точками сваривают на обычных прессах пуансонами для одноточечной или многоточечной сварки. Алюминиевые шины толщиной 5 + 5 мм сваривают на установке УГХС-5, а армированные алюминиевые шины на машине МХСА-50-3 с $P_c = 50\,000$ кгс и ходом рабочего штока 100 мм.

Для холодной сварки встык разработаны и серийно выпускаются машины серии МСХС. Машина стыковая для холодной сварки МСХС-0,8-2 с $P_c = 800$ кгс сваривает провода диаметром 0,8—7 мм из алюминия и диаметром 0,8—4 мм из алюминия с медью, а также другие детали сечением 0,5—1000 мм^2. Обмоточные провода сваривают без предварительного удаления изоляции. Машина имеет пневматический привод зажатия и осадки и специальный резак для подготовки торцов.

Машина МСХС-5 с приводом осадки ($P_c = 5000$ кгс) и с рычажным ручным приводом зажатия сваривает провода прямоугольного и круглого сечений из алюминия сечением 2—30 мм^2 и меди 2—20 мм^2.

Машина МСХС-20-3 с $P_c = 20\,000$ кгс сваривает неограниченной длины алюминиевые провода сечением 30—200 мм^2 и медные троллейные и обмоточные провода сечением до 100 мм^2. Привод осадки и реза-

ка — гидравлический, а привод зажатия — клиновой гидравлический. Насосная станция, расположенная внутри корпуса, соединена трубопроводами с неподвижным и подвижным зажимами, механизмом осадки и резаком. Гидросистема управляется реверсивными золотниками типа 4Г-73-44. Кнопочное управление осуществляется с пульта, смонтированного на передней стенке машины.

Машина МСХС-120-2 с $P_c = 120\,000$ кгс сваривает алюминиевые провода и шины сечением 100—1500 мм², медные и алюминиевые провода с медным сечением 100—1000 мм².

§ 61. Диффузионная сварка

Диффузионная сварка — разновидность сварки давлением, осуществляемая за счет взаимной диффузии атомов контактируемых деталей при относительно длительном воздействии повышенной температуры и при незначительной пластической деформации. Сварку осуществляют в вакууме, инертных газах или при ограничении доступа воздуха к соединяемым поверхностям (автовакуумная сварка).

Для диффузионной сварки характерны относительно малые и большие t_c при $T_c = 0{,}5 - 0{,}9T_{пл}$ с преобладанием диффузионных процессов при формировании соединения. Увеличение t_c снижает скорости деформации и, как следствие, уменьшает P_c.

Перед сваркой поверхности очищают от окислов, масла и других загрязнений. Режимы диффузионной сварки материалов в вакууме (табл. 26) различаются в основном по T_c, t_c и p_c.

26. Ориентировочные режимы диффузионной сварки некоторых материалов (после механической обработки, перед сваркой и промывкой спиртом)

Материал	T_c, °С	p_c, кгс/мм²	t_c, мин	Вакуум, мм рт. ст.
Чугун СЧ 15—32 + сталь 45	850	1,5	5	1 (10^{-3}—10^{-4})
Mo + Mo	1700	1	5	—
W + W	2000	2,3	20	—
Ta + Ta	1650	1,2	20	—
Cu + Cu	850	0,5	5	1 (10^{-5}—10^{-6})
Ковар Н29К18А + Н29К18А	1000—1100	1,5—2	20	—
АМг5 + АМг5	500	1	10	$1 \cdot 10^{-5}$
ВТ1 + ВТ1	800	0 7	6	$1 \cdot 10^{-4}$
ВТ1 + сталь 10	800	0,7	15	$1\ 10^{-4}$
ВТ1 + сталь 45	800	0,75	10	$1 \cdot 10^{-4}$
Л59 + сталь	850	0,1	20	—
Керамика ЦМ-332 + сталь 18ХТГ	1135	0,36	10	$1 \cdot 10^{-5}$
Графит 30ПГ + Х18Н10Т	1250	0,2	5	—

Разнородные металлы при большом различии свойств или неблагоприятной структуре соединений сваривают через прокладки.

Детали, поступающие на сварку, шлифуют или полируют, обезжиривают в спирте или ацетоне. При более грубой обработке требуется более высокое p_c и T_c.

С повышением T_c (рис. 152, *а*), давления (рис. 152, *б*) и t_c (рис. 152, *в*) до определенной величины, зависящей от физико-химических свойств материала, состояния поверхности и сечения деталей, а также с увеличением степени разрежения (рис. 152, *г*) качество повышается.

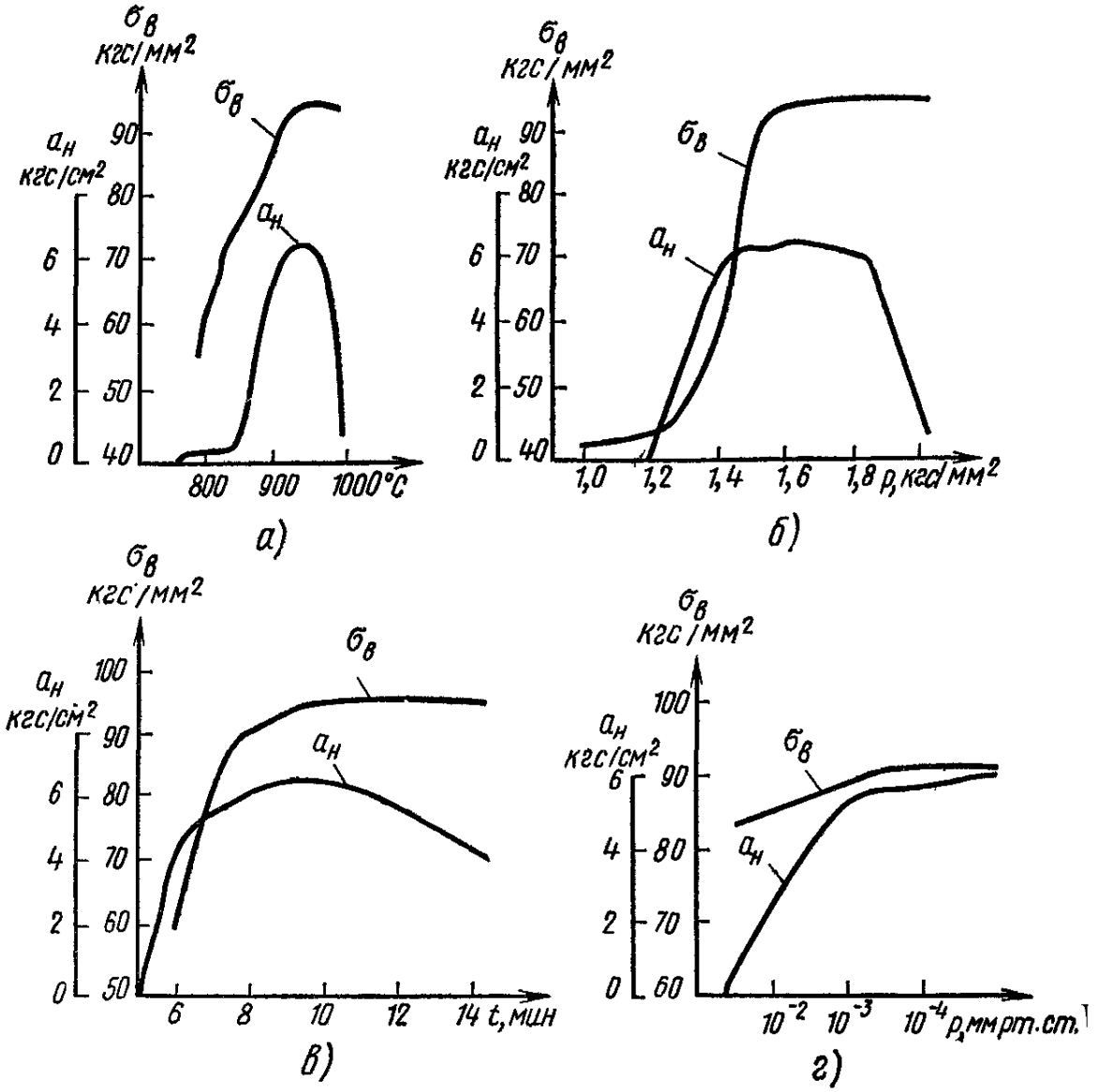


Рис. 152. Прочность $\sigma_в$ и ударная вязкость $a_н$ соединений, сваренных при изменении температуры (*а*), давления (*б*), длительности (*в*) и разрежения (*г*), $\sigma_в$ основного металла 86,3 кгс/мм²

Диффузионной сваркой соединяют разнородные и многие однородные металлы и сплавы, металлы с металлокерамикой и графитом, тугоплавкие металлы с карбидами, металлы со стеклом и т. д.

Сплав ВК8 со сталью 20 соединяют через никелевую фольгу толщиной 0,1 мм. Металлокерамику TiB_2 + 6% Mo и TiB_2 + 20% TiC со сталью сваривают, используя для передачи давления емкость с толстостенной оболочкой, заполненную жидким при температурах сварки материалом.

Медная фольга из М1, М2, М3 для токоподводов сваривается в вакууме на машине МТВ-1601 при использовании графитовых электродов, давлении 1,3 кгс/мм^2 и температуре 920—960° С.

Диффузионной сваркой соединяют большинство однородных и разнородных материалов.

При диффузионной сварке детали помещают в камеру *6* (рис. 153), из которой вакуумными насосами *1* и *2* через маслоотражатель *3* и высоковакуумный затвор *5*, *12* последовательно откачивается воздух. Вакуумный вентиль регулирует последовательность работы насосов. Детали *13* нагревают нагревателем *4* и сдавливают через промежуточный шток *7* усилием P_c, создаваемым гидроцилиндром *8*, который питается от насоса *9* и управляется клапаном *10*. Масло забирается насосом из бака *11*.

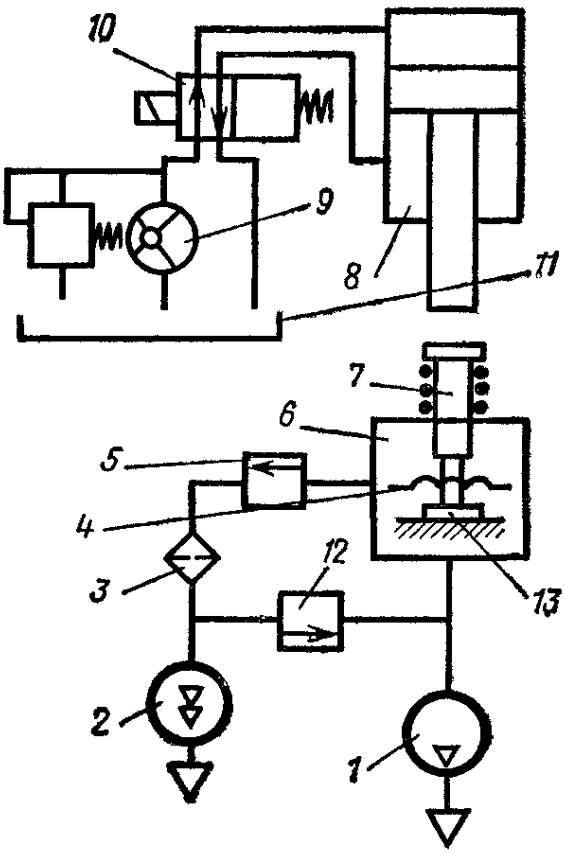


Рис. 153. Схема установки для диффузионной сварки с индукционным нагревом деталей

Детали нагреваются введенным в камеру индуктором. Работающий при нагреве и сварке насос непрерывно удаляет образующиеся в камере газы. Для нагрева наряду с током высокой частоты используются вольфрамовые и графитовые (нагрев до 2500—3000° С), молибденовые и титановые (нагрев до 1360 — 2360° С) или нихромовые (нагрев до 1000° С) радиационные нагреватели, непосредственное протекание тока (электроконтактный нагрев), тлеющий разряд, инфракрасное излучение и др.

В настоящее время разработано большое количество разнообразных однопозиционных (и многопозиционных) установок с разными источниками нагрева.

§ 62. Сварка трением

Сварка трением — разновидность сварки давлением, при которой нагрев осуществляется трением, вызываемым вращением или смещением деталей. Вращают одну (рис. 154, *а*) или обе детали, вставку между ними (рис. 154, *б*), остающуюся или удаляемую перед осадкой. При орбитальной сварке детали друг относительно друга движутся по орбите и по мере прогрева их оси совмещаются с осью вращения. Колебательные перемещения одной или обеих деталей позволяют сваривать детали с существенно отличным от круга сечением. Поверхность трения может быть плоской, конической, цилиндрической или более сложной формы. Стержень к детали с отверстием (рис. 154, *д*), меньшим его диаметра, приваривается

одновременно по плоской и цилиндрической поверхностям. Также возможно принудительное формирование соединения, при котором труба *1* (рис. 154, *г*) закреплена в невращающемся зажиме, а привариваемый к ней конец *2* со специально подготовленным торцом закреплен во вращающемся зажиме. Со стороны трубы располагается наружное формирующее устройство, состоящее из двух полуматриц *3*, внутренняя полость которых имеет очертание необходимой высадки. В трубу вводится оправка *4*, вращающаяся синхронно с соединительным кон-

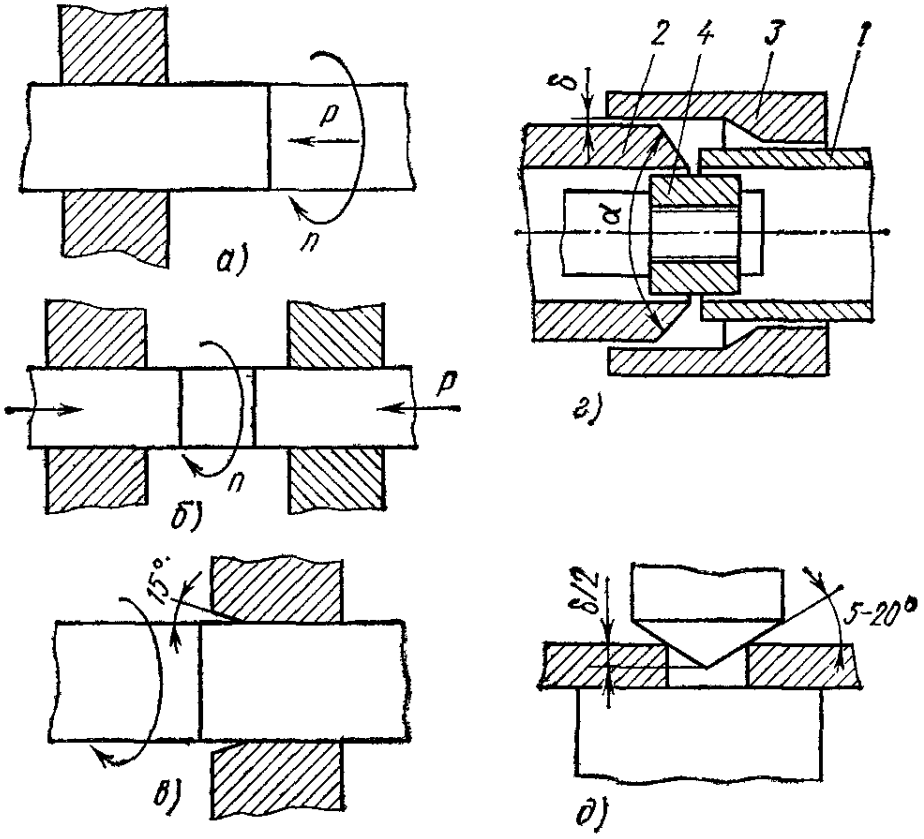


Рис. 154. Схема сварки трением со свободным (*а, б*) и принудительным (*в, г*) формированием соединения, а также при Т-образной сварке (*д*)

цом и предотвращающая пластическое течение металла в полость трубы. Интенсивно нагреваемая труба под действием усилия P_c течет наружу по конусу соединительного конца и при росте P_c заполняет полость формирующего устройства. Наилучшее формирование высадки при последующей проковке достигается при $\alpha = 90—120°$.

Детали сжимаются с постоянным (рис. 155, линия *А*) возрастающим (*Б* и *В*) или снижающимся (*Г*) давлением. Малое p_c (1—2 кгс/мм^2) облегчает начало вращения крупных деталей, а большое p_c в конце обеспечивает качественное формирование соединений при большой осадке. При начальном большом p_c ускоряется нагрев, а при малом уменьшается деформация и потери материала.

Трением сваривают с постепенным преобразованием механической энергии в тепло (обычная сварка) или с накоплением ее в маховике машины и последующей отдачей полностью или частично (инерционная) деталям.

При обычной сварке двигатель *1* (рис. 156, *а*) через систему передач *2* вращает деталь *6* с зажимом *5* с постоянной и реже регулируемой скоростью. Вторая деталь *7* с зажимом *8* прижата к детали *6* механизмом осадки *9*. Вращение прекращается торможением или отключением двигателя. Также возможно отключение системы от привода электромагнитной муфтой, остановкой двигателя, изменением направления тока в двух его фазах и др.

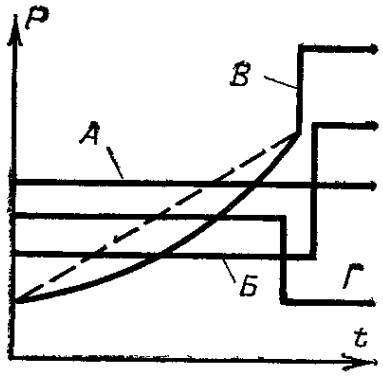


Рис. 155. Графики давления, применяемые при сварке треннем

Инерционная сварка начинается с разгона одного или нескольких маховиков *4* (рис. 156, *б*), соединенных с приводом через электромагнитную муфту *3*. При накоплении в маховиках определенной энергии муфта отключается, детали сжимаются механизмом *9*, и начинается интенсивное тепловыделение. Накопленную энергию можно изменять за счет массы маховика и более точно — ограничением числа оборотов при медленном разгоне.

Инерционная сварка отличается от обычной бóльшей скоростью введения энергии. При ней энергия маховика с деталью, пропорциональная моменту инерции и квадрату угловой скорости, рассеивается в стыке кратковременно при поджатии с одинаковым давлением (рис. 157). При обычной

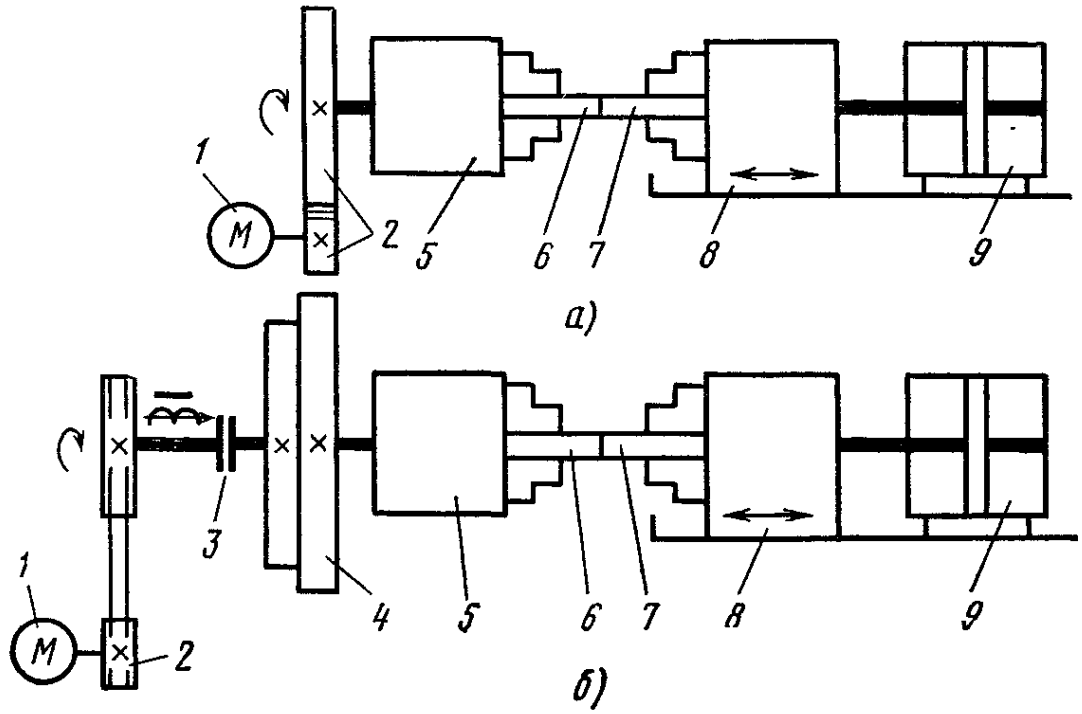


Рис. 156. Схемы обычной (*а*) и инерционной сварки (*б*)

сварке пик крутящего момента отмечается вначале, а при инерционной с ограничением числа оборотов — в конце, когда он более полезен, в особенности, при проковке. Если число оборотов не ограничивать, то начинается глубинный износ, момент уменьшается и качество соединений ухудшается.

Интенсивность тепловыделения при обоих способах зависит от скорости и расстояния нагреваемой части поверхности от оси вращения, а также от коэффициента трения.

Коэффициент трения обратно пропорционален квадрату скорости при обычной сварке и квадрату произведения числа оборотов на расстояние от оси вращения при инерционной сварке.

При повышении температуры нагрева или линейной скорости коэффициент трения вначале растет, а затем уменьшается. Он уменьшается также при понижении давления и утолщении окисных пленок.

Начало нагрева характеризуется высоким коэффициентом трения ($f = 0{,}25$) и пиком крутящего момента (рис. 157). В этой стадии при нагреве до 100—120° С преобладает сухое трение ($f = 0{,}1 \div 0{,}12$) и

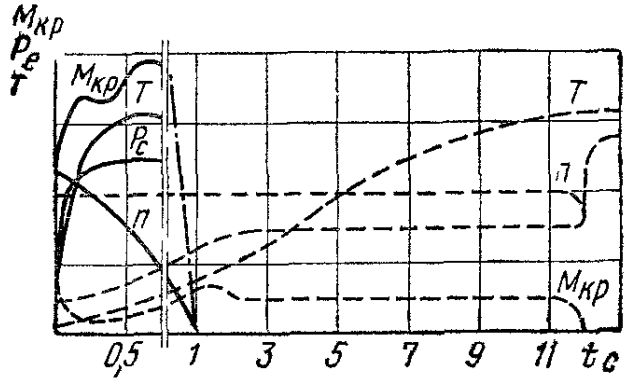


Рис. 157. Изменение числа оборотов n, усилия сжатия P_c температуры T и крутящего момента $M_{кр}$ при обычной (— — — — — —) и инерционной (————) сварке трением с отдачей части накопленной энергии

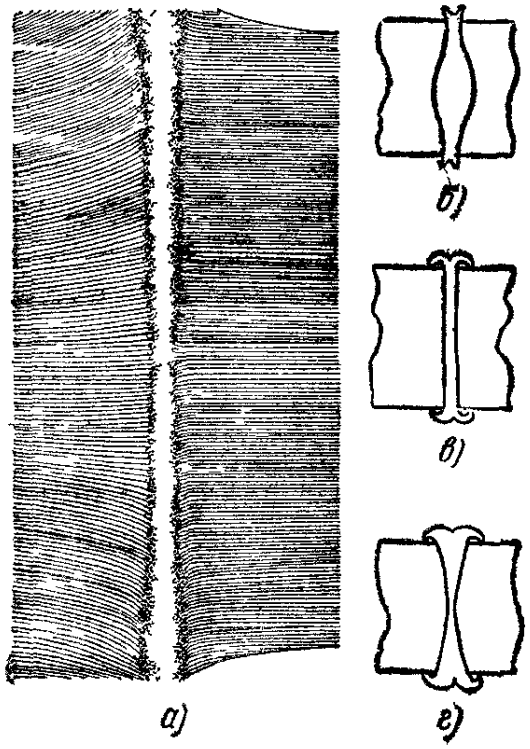


Рис. 158. Макроструктура стыка ($а$) и схемы нагрева металла ($б$, $в$, $г$) при разных режимах

момент снижается. В дальнейшем образуются и разрушаются очаги схватывания, момент достигает максимума. При достижении требуемой $T = 900$—1100° С момент и требуемая мощность снижаются. С повышением скорости вращения длительность первых двух стадий уменьшается, а третьей растет. При малых скоростях преобладает вырывание, а при скоростях выше 3 м/с — полирование. Полирование облегчает сварку. С увеличением скорости вращения от 1 до 7 м/с благодаря полированию величина осадки уменьшается от 14 до 1 мм.

Основное тепловыделение идет за счет среза микровыступов, разрыва атомных связей и вырыва частиц поверхности. На деформацию выступов и выдавливание пластичного металла расходуется около 2—5% всей энергии.

При глубоком травлении заметно течение металла вблизи соединяемых поверхностей, резко усиливающееся к периферии (рис. 158, $а$).

При обычной сварке низкоуглеродистой стали усредненная установившаяся температура близка к $T \to 1200°$. С увеличением давления она понижается (иногда до 900° С), а с уменьшением растет (иногда до 1350° С). У алюминия температура сварки близка к 550° С, у стали с титаном к 1200° С, т.е. температура зависит от прочности материала и практически не зависит от скорости вращения.

Длительность нагрева определяется p_c и n. С повышением v длительность и требуемая мощность снижаются.

Правильно выбранный режим обеспечивает при инерционной сварке равномерный разогрев по длине деталей небольшой грат и отсутствие подреза в стыке (рис. 158, *а*). Значительное изменение скоростей, усилия сжатия и запасенной энергии не слишком резко влияют на качество. При очень малом давлении и большой скорости (рис. 158, *б*), высоком давлении или малой скорости (рис. 158, *г*) неравномерность нагрева значительна, а грат отличается от нормы.

При обычной сварке низкое давление при нагреве снижает мощность привода, а высокое при осадке повышает качество. Обычно $p_c > 1$—8 кгс/мм^2 (в зависимости от материала). Оно уменьшается с 10 до 3 кгс/мм^2 при увеличении v от 400 до 1200 мм/с. Понижение p_c у прутков диаметра $d = 20$ мм при $n = 1000$ об/мин с 4 до 1 кгс/мм^2 увеличивает t_c с 1,5 до 8 с.

Постоянное давление при обычной сварке применяют редко.

Минимальная величина укорочения при нагреве, зависящая от v, для прутков диаметром 20—40 и 60 мм равна 2—1 и 0,4 мм, а максимальная 3—2 и 1 мм соответственно.

В инструментальном производстве сваривают быстрорежущие стали с углеродистыми. Последние для меньшей деформации и грата помещают с зазором 0,5—1 мм по диаметру в твердую матрицу. Конец матрицы имеет скос под углом 15—20° на глубине 4—5 мм для заполнения деформируемым металлом. Инструмент сваривают на мягких режимах при низком давлении в стадии нагрева и на жестких при повышенном давлении (табл. 27). В обоих случаях применяется давление проковки, в 1,5—2 раза превышающее начальное.

27. Давление нагрева p_c и проковки $p_к$, длительность сварки t_c, суммарный припуск Δ и доля потерь из него у быстрорежущей стали k при сварке трением стали Р18 и стали 45 диаметром d

d, мм							d, мм						
Р18	сталь 45	p_c, кгс/мм^2	$p_к$, кгс/мм^2	t_c, с	Δ, мм	k, %	Р18	сталь 45	p_c, кгс/мм^2	$p_к$, кгс/мм^2	t_c, с	Δ, мм	k, %
Мягкие режимы							*Жесткие режимы*						
12	12	13	18	12	5,4	33	12	12	16	24	4	3,8	33
15	15	9,5	15,5	12	5,1	35	15	15	20	30	4	4,0	35
18	18	7,0	12	14	3,6	33	18	18	11	17	10	3,0	33
21	21	5,5	7,5	20	3,8	34	21	21	11	13	14	4,2	35
12	15	12	20	8	4,5	65							

Легированные закаливающиеся стали сваривают при узкой зоне нагрева и максимальной осадке с последующим отпуском или отжигом для снижения твердости соединений; грат удаляют после отжига.

При инерционной сварке резко уменьшается расход энергии, хотя удельная мощность значительно выше (23—174 Вт/мм^2), чем при обычной (12—47 Вт/мм^2). Число оборотов изменяется от 1600 до 5200, давление до 2—10 кгс/мм^2, а при торможении за 0,2—0,5 с оно повышается до давления 25 кгс/мм^2.

При сварке стержня диаметром 25 мм из низкоуглеродистой стали число оборотов составляет 2000—3000, маховик имеет массу 36 кгс, усилие сжатия 5,6—8,4 кгс/мм^2, длительность 0,6—0,8 с. Скосы торцов и предварительный нагрев током ускоряют процесс сварки и повышают равномерность нагрева.

Трением сваривают проволоку и стержни, стержни с листами, фланцы с трубами и т. д. Ориентировочные режимы обычной сварки трением приведены в табл. 28. Качество соединений контролируют по длительности нагрева, величине и усилию осадки и реже по температуре.

28. Ориентировочные режимы сварки трением деталей диаметром d из разных материалов

Материал	d, мм	n, об/мин	$p_с$, кгс/мм^2	$p_к$, кгс/мм^2	$\Delta_{ос}$, мм	$t_с$, с
Ст3 + Ст3	20	1500	5	5	5	5
Ст3 + Ст3	40	1000	10	10	12	20
Ст5 + Ст5	16	1500	5	5	5	4,5
Сталь 20 + сталь 20	10	3000	4	4	3	3
Сталь 45 + сталь 45	10	3000	4	4	5	4,5
4Х13 + 4Х13	10	1500	12	12	3—4	3
20Х + 20Х	12	3000	4	4	4	4
Л62 + Л62	16	3000	3,3	3,3	6—7	3
30ХГСА + 30ХГСА	10	1500	10	10	4	2
Х18Н9Т + сталь 45	20	3000	8	8	7	3
АД1 + АД1	40	760	3	3	30	10
ВрАМц 9—2 + сталь 20	20	1500	2,5	2,5	6—8	8—9
Д16 + Д16	40	760	10	10	20	13
Медь + медь	40	920	3,5	15	20	30
Медь + АД1	8	1350	2—3	10—20	—	10—20

Машина для сварки трением обычно имеет неремещающиеся линейно зажим с механизмом сжатия, вращающийся зажим со шпинделем, размещенным в передней бабке, и механизм привода, который в зависимости от способа передачи энергии может иметь двигатель, двигатель с передающим звеном и муфтой или двигатель с маховиками и муфтами (см. рис. 156).

Схема с раздельным механизмом привода и сжатия обычно применяется для сварки коротких деталей (например, инструмента на полуавтомате МФ-327)

Машины типа МСТ (рис. 159) конструктивно и геометрически подобны, различаясь только параметрами. Они предназначены для сварки сплошных круглых деталей диаметром 10—25; 16—36; 22—50; 32—70 мм, труб диаметром до 32, 39, 52 и 75 мм и дисковых деталей диаметром до 110, 150, 180 и 320 мм соответственно машинами МСТ-23, МСТ-35-5, МСТ-41-3М и МСТ-51. Усилие при нагреве в 2 раза меньше максимального, которое рассчитывается исходя из $p = 10$ кгс/мм^2.

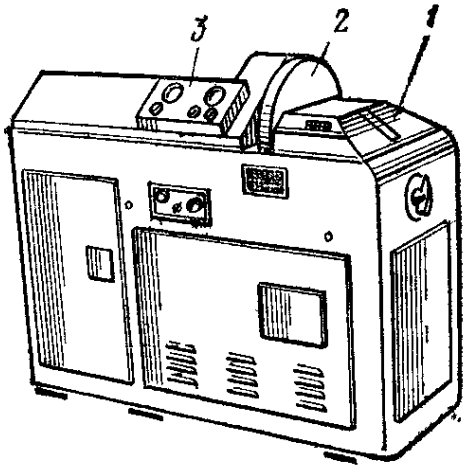


Рис. 159. Машина для сварки трением:
1 — зажим неподвижный, *2* — зажим со шпинделем, *3* — пульт управления

§ 63. Ультразвуковая сварка

Ультразвуковая сварка — разновидность сварки давлением, при которой соединение осуществляется при воздействии ультразвуковых механических колебаний между деталями. Эти колебания из-за трения и пластической деформации сопровождаются нагревом, благодаря которому образуются соединения при небольших усилиях сжатия.

Для получения колебаний высокой (20 — 30 кГц) частоты используют эффект синхронного изменения размеров кристалла в каком-либо направлении при изменениях напряженности магнитного поля, заметно проявляемый у железа, никеля и кобальта. Преобразователи колебаний имеют обмотки, соединенные с ультразвуковым генератором. Механические колебания высокой частоты от преобразователя передаются через приваренный или припаянный к нему волновод (концентратор) из инструментальной стали (реже из меди, никеля, алюминия, титана или сплава К49Ф2 и монель-металла). От волновода колебания передаются к приваренному или закрепленному электроду из более жаростойкого, чем детали, материала. Электроды, нагреваясь в контакте до 0,3—0,4 $T_{пл}$, изнашиваются из-за смятия или налипания материала деталей.

Волновод, влияющий на амплитуду и P_c, должен быть в резонансе с преобразователем, при продольном удлинении близком к половине длины волны. Волновод в форме конуса обеспечивает усиление около 2,5, а в форме цилиндра до 20. Волновод крепят в зоне наибольшей амплитуды.

Интенсивность ультразвука и концентрация энергии в зоне наконечника увеличивается по сравнению со спаем волновода и преобразователя пропорционально отношению их площадей или иначе их диаметров D^2/d^2. При сварке амплитуда усиливается в 4—5 раз, достигая при холостом ходе электрода на конце 20—60 мкм.

Ультразвуком сваривают в точках, швом и по кольцевому рельефу. При точечной сварке волновод *6* (рис. 160, *а*) установлен стационарно. Детали прижимаются к электродам *4* механизмом сжатия *3* с усилием *P*. При шовной сварке волновод с электро-

дом вращается (рис. 160, *б*). Возможен двусторонний подвод энергии к точке от двух волноводов, позволяющий при встречном включении фаз вибраторов, питаемых от одного генератора, равномерно деформировать обе детали, уменьшить потери энергии и обеспечить более высокое качество. При одностороннем подводе амплитуда колебаний из-за потерь в металле снижается от электрода к опоре, а при двустороннем энергия распределена в обеих деталях равномернее.

В начале тепловыделение в контакте электрод — деталь значительно и в контакте деталей колебания характеризуются меньшей ампли-

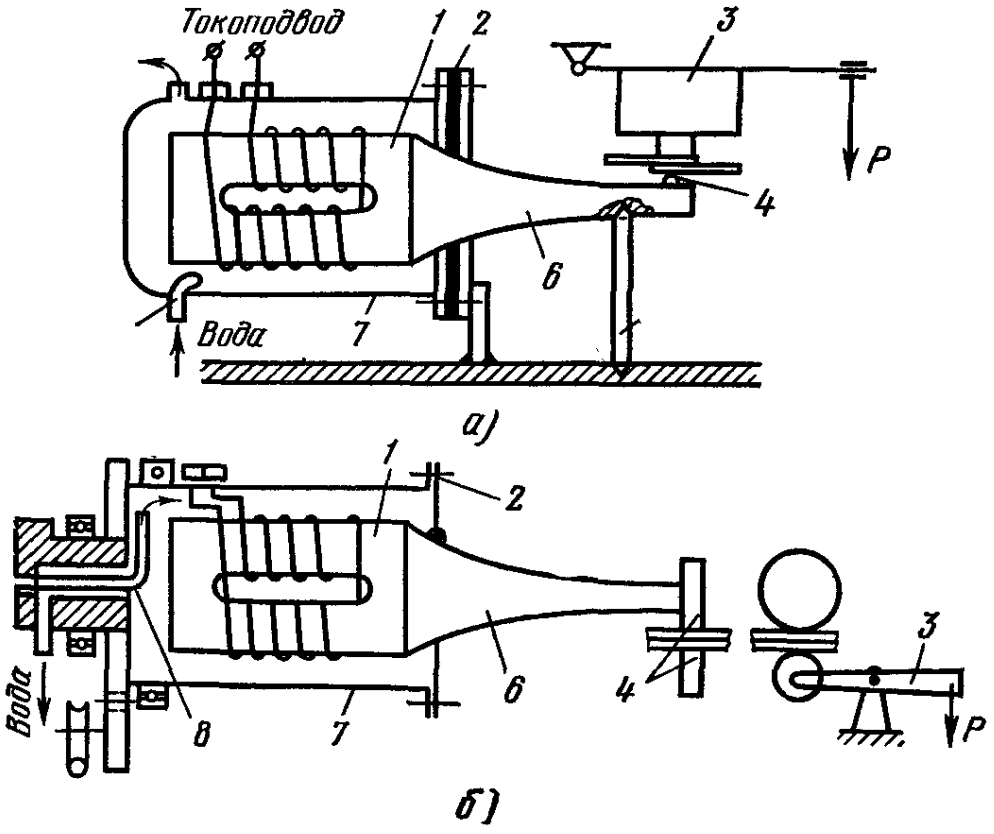


Рис. 160. Установки для ультразвуковой точечной (*а*) и шовной (*б*) сварок:

1 — магнитострикционный преобразователь, *2* — диафрагма, *3* — механизм сжатия, *4* — электрод, *5* — опора, *6* — волновод, *7* — кожух водяного охлаждения, *8* — трубка

тудой и энергией. При сдвиге в контакте преобладает сухое трение с разрушением пленок окислов и адсорбированных веществ (газов и жидкостей) как механически, так и в результате нагрева.

Температура в контакте повышается с увеличением мощности и усилия сжатия и с уменьшением теплопроводности материала. По мере разрушения пленок образуются узлы схватывания и площадь контакта растет от периферии к центру. Образующиеся эллиптические соединения при испытаниях вырываются из-за утонения по контуру сваривания.

Параметрами сварки является W, P_c, t_c и амплитуда колебаний ξ_c. При неизменных W и P_c через 0,01—0,02 с после начала достигается максимальная амплитуда ξ_a (рис. 161, *а*), которая по экспоненте

снижается до постоянной ξ_b. Это снижение соответствует длительности образования физического контакта t_c. Величина ξ_a меньше амплитуды холостого хода из-за потерь. Собственная частота системы с деталями при небольшой жесткости электрода в широко применяемых продольно-колебательных системах изменяется мало и согласуется с ростом площади схватывания. Отношение $\xi_a/\xi_b = 2{,}0 - 2{,}5$ в известной мере характеризует качество. При ξ_b амплитуда поперечной составляющей растет и интенсифицируется диффузия в контакте.

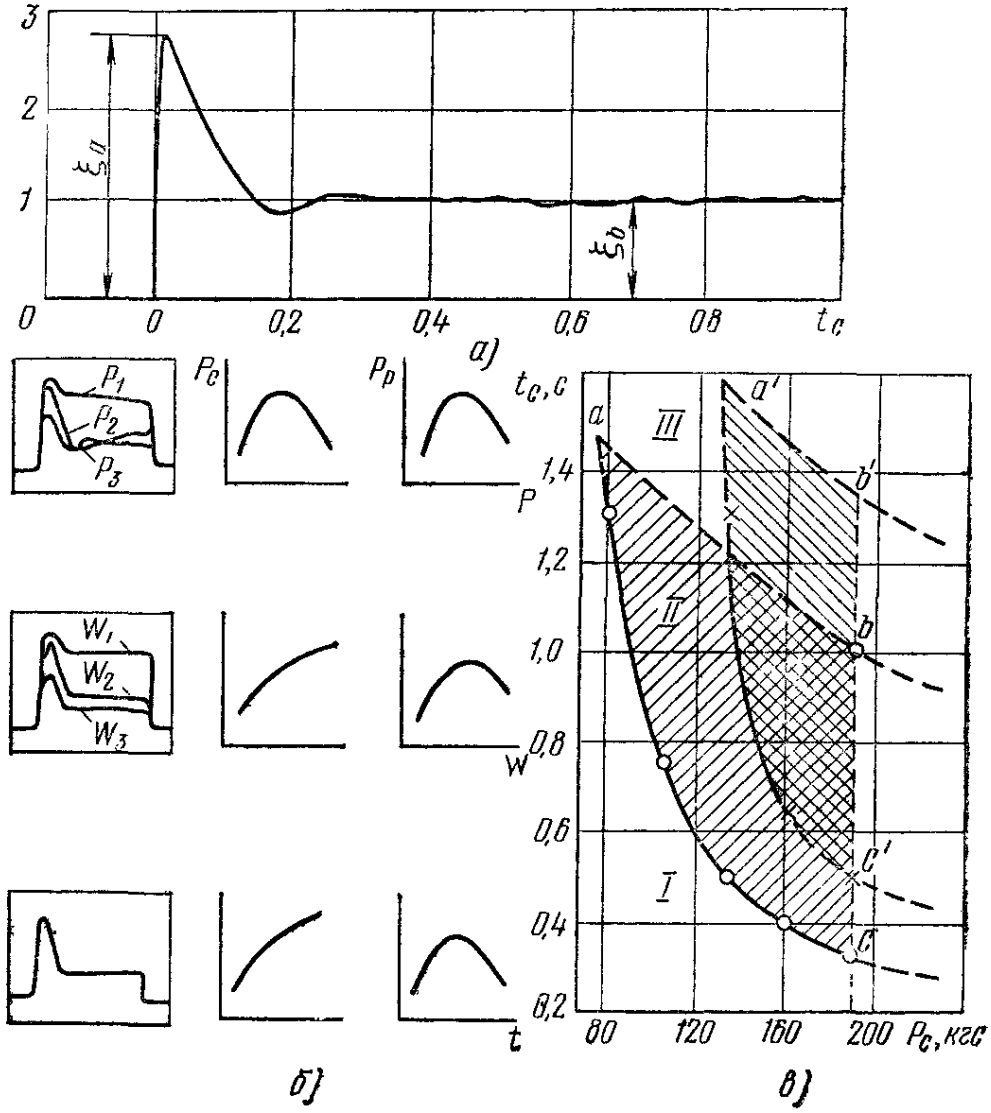


Рис. 161. Изменение амплитуды колебаний при образовании качественного соединения (*а*), схемы изменения параметров процесса (*б*) и области номинальной прочности (*в*); область *II* $W=900$ Вт, область *II'* $W=560$ Вт

При заданной мощности с увеличением P_c, от которого зависит передача энергии в зону соединения, длительность сварки t_c уменьшается (рис. 161, *в*, кривые *a*, *b* и *a'*, *b'*). Если P_c чрезмерно, то прочность уменьшается из-за большой пластической деформации деталей.

При оптимальной прочности минимально допустимая t_c повышается с уменьшением W. В области *I* из-за недостаточной W прочность ниже номинальной, а в области *III* она меньше из-за чрезмерной де-

формации деталей при большой W. Области a, b, c и a', b', c' соответствуют области рекомендуемым P_c и t_c, т. е. существуют много режимов, при которых прочность высока. Обычно для разных δ длительность t_c = 0,2—2 с. Для уменьшения деформации деталей и зоны нагрева при одновременно высокой производительности необходимы повышенные W и P_c при малом t_c

Тепловыделение только в контакте электрод — деталь без трения между деталями не обеспечивает качественной сварки.

Амплитуда колебаний между деталями уменьшается при увеличении P_c. С увеличением δ деталей требуемая амплитуда растет. Ее величина ограничена прочностью волновода. Наибольшая δ при одном наконечнике не превышает 1—1,5 мм. Минимальная δ близка к 3—5 мкм.

При двустороннем подводе сваривают более толстые детали при меньшем внедрении инструмента.

Ультразвуком сваривают алюминий, медь, никель, металлы с металлокерамикой, несколько хуже — высоколегированные стали. Точки при отрыве или срезе обычно вырываются по контуру. Соединения вольфрама и молибдена хрупки, а ниобия и тантала достаточно пластичны. Ультразвуком также соединяют материалы, дающие хрупкие интерметаллические фазы, тонкие детали с толстыми, плакированные и оксидированные детали.

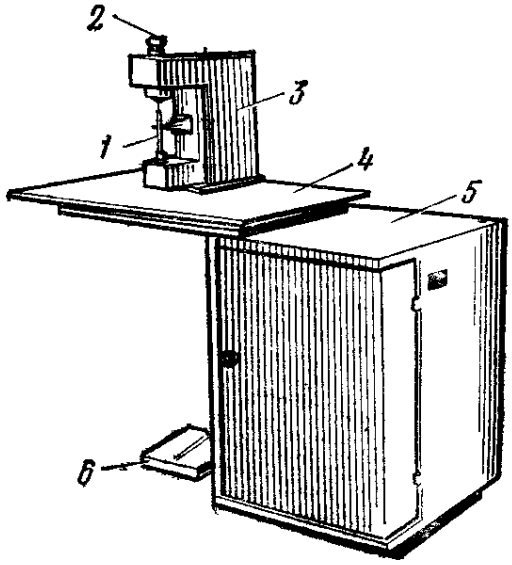


Рис. 162. Машина для ультразвуковой сварки МТУ-04-3

Между точками обычно делают барьеры в виде разрезов, предупреждающие разрушение ранее сваренных точек. Ультразвуковой сваркой соединяют детали транзисторов и печатные схемы, проводники, покрытые теплостойким лаком с клеммными колодками, контакты с пружинами, крышками с корпусами и др.

Машина точечная ультразвуковая МТУ-04-3 (рис. 162) с W преобразователя 0,4 кВт сваривает Cu с δ = 0,2 мм, а Al с δ = 0,3 мм и пластмассы с δ = 0,1—1 мм. Машина имеет сварочную головку *3* с пневмоприводом сжатия *2* и акустическим узлом *1* для сварки пластмасс, каретку с пневматическим горизонтальным приводом и опору для сварки пластмасс. Головка *3* и шкаф управления закрепляются на сварочном столике *4*. Машина управляется педалями *6*. В шкафу *5* размещены генератор УЗГ5-1,6; пневматические и электрические устройства. Регулятор цикла имеет регулируемые выдержки «сварка» и «проковка» и нерегулируемые «сжатие» и «пауза».

Машина шовная ультразвуковая МШУ-0,63 предназначена для шовной ультразвуковой сварки фольги из алюминия, никеля, меди и других металлов в линиях их обработки при изготовлении упаковки и приварке токоподводов к электро- и радиоаппаратуре.

§ 64. Сварка взрывом

Сварка взрывом — разновидность сварки давлением, при которой соединение осуществляется в результате вызванного взрывом соударения быстродвижущихся деталей.

Перед соударением нижнюю деталь *1* кладут на плотное основание *2*, а верхнюю деталь *3*, называемую метасмой, — на опоры параллельно нижней с зазором h (рис. 163, *а*) или под углом β (рис. 163, *б*). Слой взрывчатого вещества (ВВ) $h_{вв}$ на верхней детали, имеющий для устранения подгаров буферный слой из фибры, дерева, резины и т.п., после срабатывания детонатора *4* воспламеняется, создавая ударную волну.

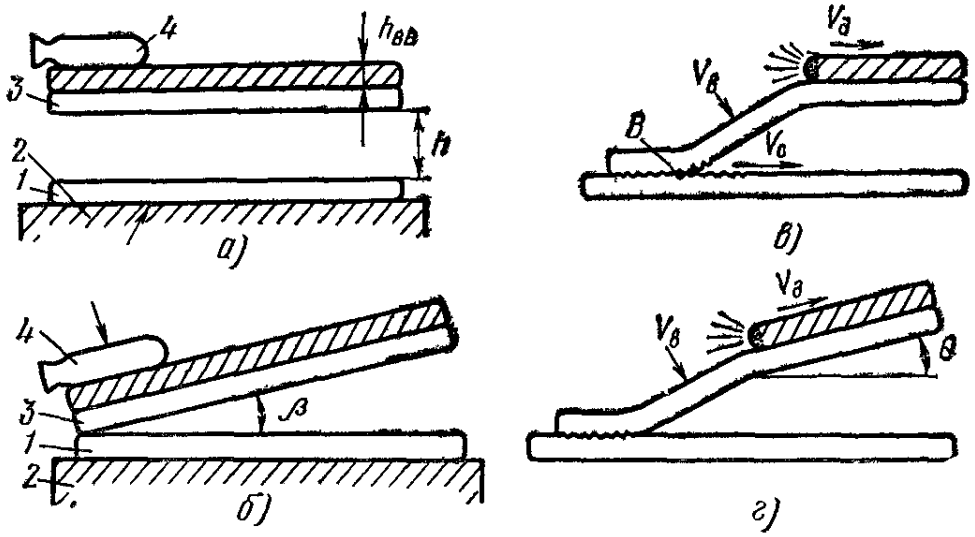


Рис. 163. Принципиальные схемы сварки взрывом

Фронт детонации движется с большой (~10 м/с) скоростью $v_д$. Давление позади фронта детонации достигает 100—200 тыс. атмосфер. Верхняя деталь при соударении дважды перегибается (рис. 163, *в*, *г*). При параллельных деталях скорость не должна превышать скорости распространения звука $v_з$ в металле, а давление должно быть достаточным для пластической деформации в приповерхностных слоях металла.

При соударении из угла схождения деталей вылетает облако мелких горячих частиц, очищающих поверхности под большим давлением. Этот выброс неравномерен, вследствие чего поверхность соединения в узкой зоне волнообразна. В микрообъемах нагрев близок к температуре кипения. Если $v_с > v_з$, то параллельные детали соударяются раньше их очистки, и сварка невозможна. Скорость детонации $v_д$ повышается с увеличением $h_{вв}$. Стабильность $v_д$ зависит от $h_{вв}$ плотности ВВ и размера его зерен.

При больших скоростях $v_в$ давление $p_с$ повышается в 10—50 раз по сравнению с σ_S.

Медь с медью сваривают при $p_с > 24600$ кгс/см², а алюминий с алюминием при 6300 кгс/см² ($k = 50$). У легированных или наклепанных сталей $k \leqslant 20$.

Твердость отожженной стали в зоне соединения повышается в 3—4 раза, а $\sigma_т$ в 3—5 раз. Верхняя деталь смещается относительно нижней по направлению взрыва и утоняется в зоне нагрева. Перед сваркой поверхности зачищают, в особенности окалину, которая не удаляется при взрыве. При этом используют проволочные щетки.

Взрывом плакируют листы, трубы и другие детали, приваривают болты, соединяют материалы, дающие при других способах сварки хрупкие интерметаллические прослойки и др.

В частности, низкоуглеродистые стали плакируют никелем, медью, титаном и его сплавами, алюминием и его сплавами, танталом. Иногда используют прокладки из алюминия и других металлов. Для снижения твердости и снятия напряжений в ряде случаев применяют нагрев до 200—300° С.

Контрольные вопросы

1. Расскажите о холодной сварке и области ее применения.
2. В чем заключается сущность диффузионной сварки, сварки трением и инерционной сварки?
3. Расскажите о разновидностях ультразвуковой сварки и особенностях машин для ее осуществления.

ГЛАВА XV
НАСТРОЙКА И КОНТРОЛЬ РАБОТЫ МАШИН

§ 65. Настройка машин

Машины на режим, выбранный по технологической карте из таблиц режимов или по номограммам, настраиваются после наладки их механических и электрических узлов, смазки, удаления магнитных материалов из контура и проверки работы по требуемому циклу при вынутых ножах переключателя. Режимы уточняют по технологической пробе и обусловленным ТУ на изделие требованиям. Параметры контролируют по тарировочным кривым и записям на осциллографе. Параметры корректируют в соответствии с их влиянием на качество.

При настройке стыковых машин точность установки электродов проверяется по шаблонам или калибрам, а также по макрошлифам соединений и замерам искривления осей деталей. У широких полос смещение проверяется с обеих их краев и в середине. В точечных и шовных машинах совмещение верхних и нижних электродов достигается смещением и поворотом токоподводов. Критерием служит симметричное размещение вмятин и зон цветов побежалости.

Наиболее часто стыковые соединения проверяют на загиб и перегибы после зачистки грата с надрезом по стыку и без него, точечные— на разрыв или отрыв, шовные — на герметичность. Контроль дополняется внешним осмотром, замерами вмятин, осмотром изломов и др.

Ход процесса контролируется также по внешним признакам. Интенсивное оплавление перед осадкой и резкое прекращение полета расплавленных частиц при осадке свидетельствуют о пригодности процесса стыковой сварки, а отсутствие выплесков и равномерность зон цветов побежалости о пригодности точечной сварки. Каждый сварщик в процессе работы накапливает и учитывает другие внешние признаки, характерные для сварки данной детали. Для стабильности качества весьма важно поддержание в хорошем состоянии электродов, их своевременное восстановление или замена, стабильная работа машины и своевременное устранение ее неисправностей, систематическая проверка соединений и контроль параметров.

Окончательно режим проверяется испытанием готового изделия по ТУ. Качество также проверяют по математическим моделям процесса с обработкой данных на ЭВМ.

§ 66. Контроль работы машин

Работа машин контролируется по записям или замерам параметров, обеспечивающих требуемое качество соединений. Это обусловлено трудностями контроля соединений без их разрушения.

Параметры контролируют при разработке новых режимов, нарушениях в работе узлов машины определенное количество раз или непрерывно в течение всей работы. Режим изменяется из-за износа электродов, повышения сопротивления переходных контактов и других причин. Систематический контроль предупреждает массовое появление брака. При контроле используют осциллографы и самопищущие малоинерционные приборы, ЭВМ и др.

Обычно записывают перемещение электрода, I_c и P_c.

Перемещение электрода преобразуется в сигнал индуктивными, тензометрическими, потенциометрическими и световыми датчиками.

Перемещение электрода *1* (рис. 164) в ползуне *2* относительно верхней консоли *3* фиксируется в заданных пределах через измерительный стержень *5* датчиком *4*. Электромагнит *7*, установленный на ползуне, при включении I_c сцепляет подвижный электрод *1* со стальной пластиной *6*, закрепленной на стержне *5*. После выключения тока стержень *5* вновь не связан с электродом *1*. Это исключает стабилизацию нулевого уровня из-за эксцентриситета электрода и др. Перемещение контролируют и регулируют электроконтактными двух- или трехпредельными датчиками завода «Калибр». Датчик настраивают по индикаторной головке с ценой деления 0,001 мм.

Тензометрическими датчиками, наклеенными на балочки равного момента, позволяют записывать перемещение станины стыковых машин.

Датчиками тока могут быть трансформаторы, шунты, пояса Роговского и элементы Холла. В машинах переменного тока вполне приемлемы трансформаторы тока (лучше специальной конструкции института электросварки). Измерение и регистрация импульсных токов рассматривается в специальной литературе.

При наладке машин также используют амперметр АСТ-2, измеряющий сварочный ток от 4 до 35 кА с точностью ±5%. Датчик ДСТ-1 предназначен для наблюдения и записи сварочного тока на осциллографе.

Прибор АСД-1 в отличие от АСТ-2 измеряет ток при каждом одиночном импульсе. Прибор АСА-1 измеряет амплитудные значения сварочного тока на конденсаторных машинах и машинах низкой частоты. Прибор КСТИ непрерывно регистрирует импульсы сварочного тока, сигнализируя об отклонениях от режима, а прибор КСТ контролирует сварочный ток при шовной сварке, давая сигнал об его отклонениях. Гидравлический динамометр ДГС-1 измеряет усилие до 800 кгс, а ДГС-2 до 3000 кгс. Прибор АКС-3 для контроля P_c, I_c и t_c применяется на машинах постоянного тока.

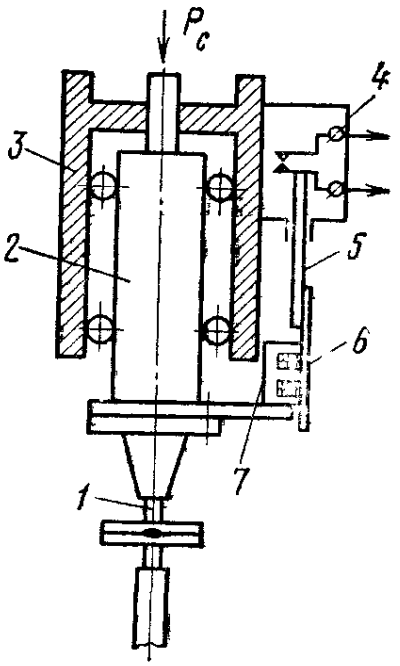


Рис. 164. Схема устройства для регистрации перемещения подвижного электрода для сварки

Аппарат дилатометрического контроля АДК-2 имеет электроконтактный датчик ЭКД, фрикционное устройство его связи с верхним электродом, электромагнитный отметчик краской непроваренных точек, блок счета этих точек и блок звуковой и световой сигнализации. В аппарате имеется система ограничения длительности импульса тока и сигнализация о ранней и запоздалой проковке.

Помимо пассивного контроля аппарат используется для активного контроля с обеспечением требуемого перемещения за счет увеличения длительности импульса тока. Активный контроль обеспечивает заданные размеры точек при отклонении тока в пределах ±15% и усилия сжатия ±20%. Аппарат используется для сварки стали и титановых сплавов толщиной 0,5—3 мм, алюминиевых сплавов толщиной 0,8—6 мм и магниевых сплавов толщиной 0,8—3 мм. Применение аппарата затруднено при заниженной нахлестке, значительном различии в толщинах, недостаточной жесткости электрододержателей и консолей, а также при больших смещениях осей электродов и пневмоцилиндров.

Пружинный динамометр ДПС-1 измеряет усилие от 100 до 500 кгс. Датчики ДД-59 и ДД-60 предназначены для измерения усилия с помощью осциллографа. Электросекундомер ЭС-1 и декатронный счетчик импульсов СИ-1 измеряют длительность импульса сварочного тока с точностью 0,01 с. Активное сопротивление контура машин измеряют микрометром М-246 и ПКС-1. Устройство измерительных приборов описано в специальной литературе.

При настройке новой машины часто применяют осциллографирование с одновременной записью многих параметров. Бесконтактные системы управления со счетно-решающими устройствами для корректирования процесса (по математической модели) программирование

параметров или использование обратных связей с поддержанием критериев процесса (тока, энергии и др.) по определенной программе повышают стабильность работы машины и качество соединений.

ГЛАВА XVI

ДЕФЕКТЫ, КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОЙ РАБОТЫ

Наружные дефекты выявляются осмотром или обмером, а внутренние при разрушении соединения или его испытании приборами (последнее не всегда возможно).

Допустимость тех или иных дефектов при каждом способе сварки определяется ТУ на изделие, в соответствии с которыми контролируют соединения. Дефекты появляются при нарушениях технологии подготовки, сборки и сварки деталей, а также при последующей обработке. На появление дефектов также влияет износ электродов, изменение характеристик машины и ее узлов, колебания напряжения и др.

Главное в контроле — предупреждение брака. Автоматизация контроля, хорошее знание причин образования и способов устранения дефектов облегчают эту задачу.

§ 67. Дефекты стыковой сварки

К дефектам стыковой сварки (рис. 165) относят недопустимые отклонения в размерах деталей и искажение их формы, несплошности и подплавление, а также неблагоприятную структуру (непровар, перегрев трещины и др.).

Основные дефекты, их признаки, способы выявления и причины даны в табл. 29. Дефекты предупреждаются при устранении причин их появления или при строгом соблюдении технологии, контроле работы машины, периодической проверке качества соединений и своевременной замене инструмента.

§ 68. Дефекты точечной сварки

К дефектам точечной сварки (рис. 166) относят недопустимые отклонения в размерах деталей, точек и расстояний между ними, наружные выплески и глубокие вмятины, подплавление и трещины, прожоги и вырывы точек, а также прилипание материала электрода, непровар, малый диаметр ядра, внутренние трещины. Основные дефекты, их признаки, способы выявления и причины даны в табл. 30. Дефекты предупреждаются при устранении причин их появления и при тех же мероприятиях, что и при стыковой сварке. Кроме того, иногда допускается подварка дефектных соединений на точечной машине с применением железного порошка (прожог и глубокие вмятины на стали)

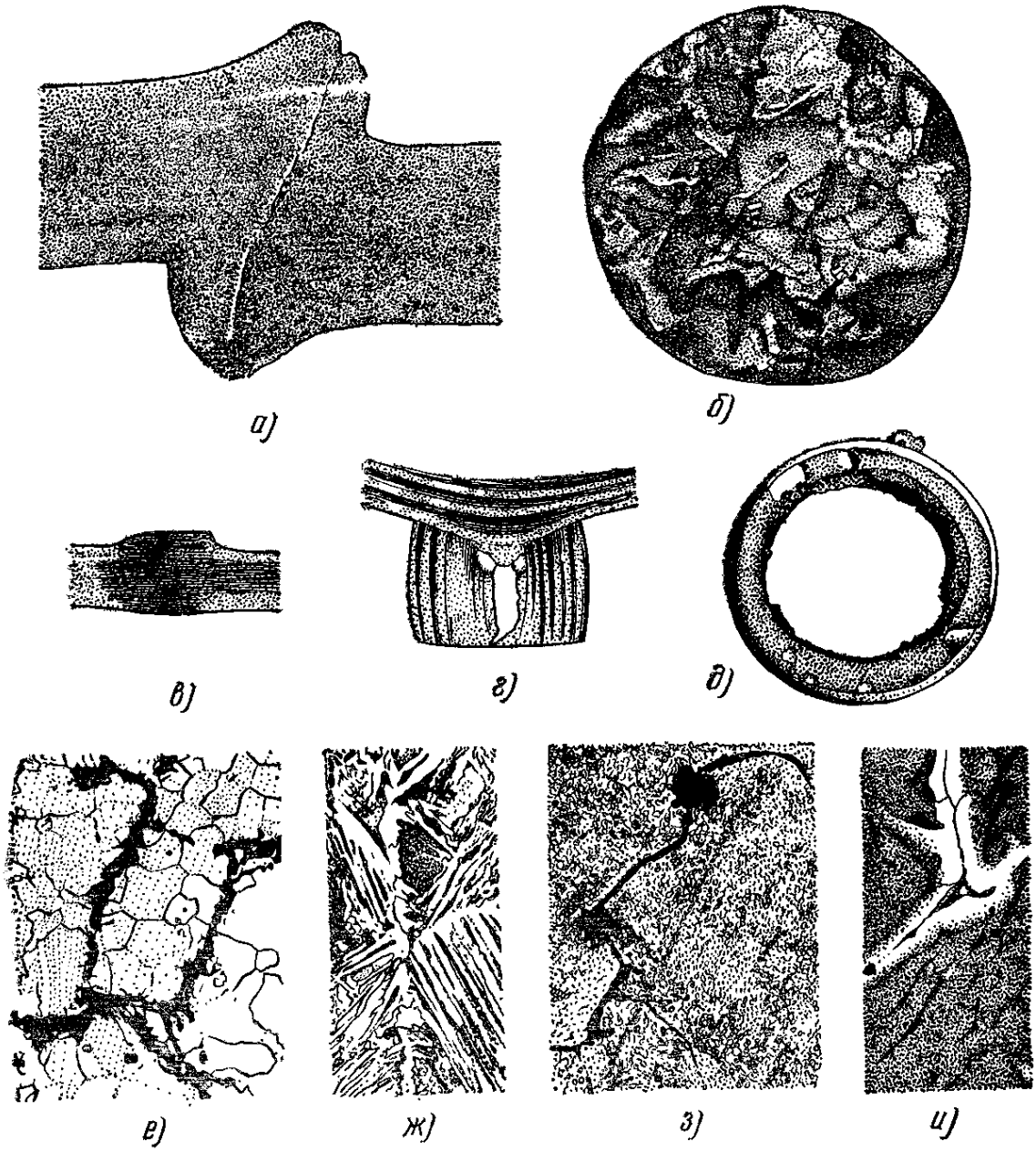


Рис. 165. Дефекты стыковой сварки

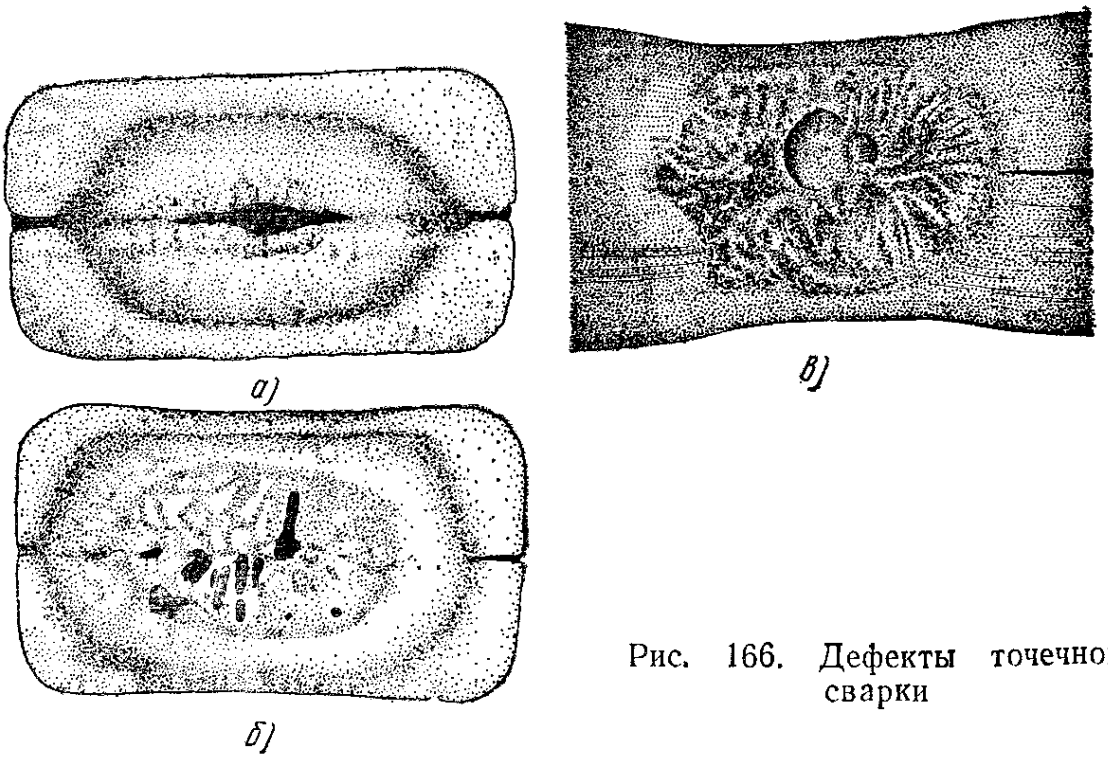


Рис. 166. Дефекты точечной сварки

29. Дефекты стыковой сварки, их признаки, способы выявления и причины

Дефекты	Признаки и способы выявления	Причины появления
Отклонения в размерах	Превышение допусков на длину, ширину и диаметр Измерение деталей	Отклонения в $t_{под}$, $\Delta_{ос}$, $U_{зо}$, v Неточная установка деталей. Неправильная установка ограничителей хода плиты. Чрезмерная деформация зажимов: люфты в направляющих
Смещение торцов (рис. 165, *а*)	Отклонение от установленных допусков. Внешний осмотр, микроисследование	Кривые концы деталей. Неодинаковая жесткость зажимов и плит машины, люфты в направляющих. Износ, неправильная установка и плохое крепление электрода. Слабое зажатие. Деформация деталей при зажатии. Недостаточная жесткость зажимов станины, плит и направляющих. Большая установочная длина
Непровар (рис. 165, *б*). Матовые пятна (рис. 165, *д*) и надрывы (рис. 165, *г*)	Мала высадка. Нет зернистости на части стыка. Нет внешних признаков. Внешний осмотр, излом	Окисление из-за отклонений в токовом режиме оплавления или выключение тока до начала осадки. Малое $\Delta_{опл}$, $t_{ос.т}$, $v_{оп}$
Перегрев, пережог (рис. 165, *е*, *ж*), подплавление границ зерен (рис. 165, *и*)	Поперечные трещины в высадке. Широкая зона цветов побежалости. Раковины, укрупнение зерно и трещины. Внешний осмотр, излом и микроисследование	Велико $\Delta_{опл}$ или $\Delta_{ос.т}$. Мала $v_{опл}$. Мало $\Delta_{ос}$. Чрезмерен подогрев. Рост $t_{ос.т}$, при уменьшении $v_{ос}$
Подгар поверхностей деталей	Подплавленные или окисленные поверхности под губками. Раковины и трещины в местах подгара	Мало $P_{важ}$. Мала рабочая поверхность электродов. Износ губок и искажение их формы или размеров деталей. Низкая электро- и теплопроводность электродов
	Внешний осмотр	Грязь на деталях или электродах
Трещины (рис. 165, *в*)	Кольцевые трещины. Осмотр через лупу с травлением и без травления	Велика $t_{ос.т}$. Упруги деформация деталей зажимов и механизмов осадки и отход плиты назад с зажатыми деталями
Расслой (рис. 165, *в*)	Резкое искривление волокон. Излом, микроисследование	Расслой и ликвация в исходном металле

30. Дефекты точечной сварки, их признаки, способы выявления и причины

Дефекты	Признаки и способы выявления	Причины появления и способы исправления
Отклонения в размерах деталей	Превышение допусков на длину, ширину и диаметр, излом осей. Осмотр и измерения	Неправильная сборка или установка деталей в электродах. Плохое центрирование. Исправлению не подлежит. В отдельных случаях возможна правка о нагревом
Смещение точек	Неравномерный шаг, отклонения от оси. Внешний осмотр. Замеры	Небрежная работа сварщика. Допускается дополнительная постановка точек
Гофры и коробление	Неровные поверхности деталей. Внешний осмотр	Неправильная сборка. Неправильный порядок постановки точек, отсутствие прихваток, неправильная центровка электродов, неравномерный нагрев и охлаждение. Правка прокаткой с последующей подваркой
Непровар и малый диаметр ядра (рис. 166, *а*)	Отсутствие сварки, схватывание и малый диаметр ядра. Внешний осмотр, местный отгиб, техпроба	Велик $d_э$, малы $I_с$, $t_с$. Шунтирование тока из-за малого шага и касания токоподводов. Большие зазоры, проковка раньше выключения тока. Допускается повторная сварка и постановка двух дополнительных точек
Наружный выплеск	Неровная поверхность точки, сильное окисление в центре. Внешний осмотр	Грязь на деталях и электродах Мало $P_{сж}$, велик $I_с$. Детали перекошены в электродах. Программирование давления. Зачистка поверхности электрода и детали
Внутренний выплеск	Нарушение режима	Повышение давления в конце нагрева. Сокращение длительности нагрева
Чрезмерные вмятины	Глубокая вмятина. Внешний осмотр, измерение глубины	Мал $d_э$, велики $I_с$ и $t_с$. Перекос деталей в электродах или их неправильная установка. Большое усилие проковки. Внутренний выплеск. Допускается подварка
Прожог	На тонких — игольчатое отверстие, на толстых — выплавление металла. Внешний осмотр	Неисправное оборудование. Включение тока до сжатия деталей. Большие зазоры, ограничение хода электродов, грязь Допускается постановка заклепок или аргонодуговая сварка
Трещины, поры, раковины (рис. 166, *б*, *в*)	Мал отпечаток, узкая зона нагрева. Рентгеноконтроль, микроисследование	Грязь, наличие в некоторых случаях масла, мало $P_{сж}$, поздно подается $P_п$, большой ток, мала $t_с$ (для легированных сталей). Ржавчина также может быть источником пор. Допускается дополнительная постановка точек
Вырыв	Отверстие вместо точки. Внешний осмотр	Большой натяг из-за плохой сборки или правки. Преждевременное снятие давления. Допускается постановка заклепок или аргонодуговая подварка

путем постановки дополнительных точек (при непроваре), заклепок или аргонодуговой подварки. Допустимые виды исправлений указываются в ТУ на изделие.

§ 69. Дефекты рельефной сварки

Большинство дефектов рельефной сварки по природе близко к дефектам точечной сварки. В отличие от точечной при рельефной сварке вмятины со стороны одной детали отсутствуют, а со стороны второй — представляют следы обратной деформации рельефа. Непровар при ней чаще бывает местным, в особенности когда соединение формируется одновременно в твердом состоянии и при наличии расплава. При рельефной сварке одни точки могут формироваться нормально, а другие с выплеском (при перекосах и неравномерном распределении давления). Для Т-образных соединений типичны те же дефекты, что и для стыковой сварки. В настоящее время еще нет общепринятых норм о допустимости тех или иных дефектов при рельефной сварке. При устранении дефектов руководствуются технологическими данными.

§ 70. Дефекты шовной сварки

Дефекты шовной сварки, за исключением перегрева поверхности и более сильного коробления деталей, аналогичны дефектам точечной сварки. Так, продавливание шва близко по природе к глубоким вмятинам при точечной сварке. Оно не должно превышать 10% от двойной толщины тонкой детали.

Неравномерность чешуек, вмятины, продавливание, выход литого ядра, прожог, наружные выплеск и трещины выявляются осмотром через лупу.

«Неравномерные чешуйки» на шве связаны с большой скоростью сварки и перекосом или неправильной заточкой роликов.

Глубокие вмятины возникают при большой длительности импульса тока, малом давлении и большом токе. Хорошая подгонка и прихватка деталей при равномерном распределении зазоров предупреждают продавливание и раскрытие кромок при сварке.

Прожог, выплеск (наружный), трещины вызываются теми же причинами, что и при точечной сварке (см. § 68).

Выход литого ядра обычно связан с плохой зачисткой, большой длительностью импульса тока и его большой величиной.

Трещины у кромок и их раздавливание вызываются близким расположением шва к кромкам и большим током.

Непровар, трещины и внутренний выплеск выявляются на технологической пробе и при микроисследованиях.

Негерметичность шва связана с большим шагом между точками, с нарушением режима (по току, давлению, длительности импульса, скорости, а также по диаметру и ширине роликов), с плохой сборкой деталей, большой разницей диаметров верхнего и нижнего роликов и т. д.

В ряде случаев допустимы поры, мелкие трещины, перегибы. Допускается ремонт до 10—20% длины шва.

§ 71. Контроль качества сварки

Контроль состоит из трех стадий: предварительного, в процессе сварки и после ее завершения. При предварительном контроле систематически проверяют квалификацию сварщика, состояние оборудования, приспособлений и электродов, материала деталей и их размеры, состояние поверхностей и качество сборки деталей.

Сварщик должен знать устройство машины, технологию сварки, правила безопасной работы.

Рабочую поверхность электродов проверяют шаблонами в точечных и шовных машинах и калибрами в стыковых. Для рельефной сварки используют и шаблоны, и калибры, обращая особое внимание на равномерное распределение давления по рельефам.

При контроле подготовки измеряют детали, осматривают их контактные поверхности и в случае необходимости на специальном стенде замеряют общее сопротивление. Так же контролируют составы растворов для травления и длительность хранения деталей после него. У прихваченных деталей проверяют размеры и зазоры, которые на длине 300 мм не должны превышать 0,1—0,5 мм (в зависимости от ТУ и толщины деталей). Они обычно не превышают 20—15% толщины толстой детали (чем толще, тем меньше).

Образцы точечной сварки с шагом, соответствующим толщине деталей, после сварки разрезаются на пластины, которые зажимают в тисках и разрушают узким зубилом (рис. 167, *д*) или зубилом с закругленной выемкой, исключающей срез точки, а также в поворотном приспособлении (рис. 167, *а*) со скручиванием одной детали. Возможно испытание на срез небольшими винтовыми прессами, установленными вблизи от сварочных машин. В качественно сваренных пластинах толщиной до 2 мм образуется отверстие (рис. 168, *а*), а в более толстых остается углубление, совпадающее с границей ядра точки (рис. 168, *б*). Глубина вырыва должна быть не менее 30% толщины металла. Пластины из тонкого материала проверяют также на срез скручиванием (рис. 168, *г*) с выявлением диаметра ядра, выплесков, раковин и трещин. Для скручивания созданы специальные машины, которые определяют угол и усилие среза. Испытания на изгиб стыковых соединений (рис. 168, *в*) производят после их зачистки от грата, а в некоторых случаях после отпуска и надреза по стыку. Листовые стыковые соединения испытывают на выдавливание (рис. 168, *б*), а шовные — надуванием пластин с замкнутым швом (рис. 167, *г*).

Также периодически или систематически проверяют исходные параметры режима и состояние электродов (при точечной и рельефной сварке — тока, усилия сжатия или радиуса сферы контактной поверхности электрода; при шовной сварке тока, длительности его импульсов и пауз; при стыковой сварке — припусков, тока, скорости оплавления и длительности осадки).

Контроль соединений после сварки осуществляется выборочно с разрушением соединения и поштучно без разрушения.

Механические испытания точечной и шовной сварки также могут осуществляться на образцах по ГОСТу. Открытые швы проверяют керосино-меловой пробой, при которой одна сторона шва покрывается водным раствором мела; после его высыхания с другой стороны кисточкой наносится керосин, который на негерметичных участках дает темные жирные пятна. Герметичность швов может проверяться гелием и фреоном с использованием специальных течеискателей.

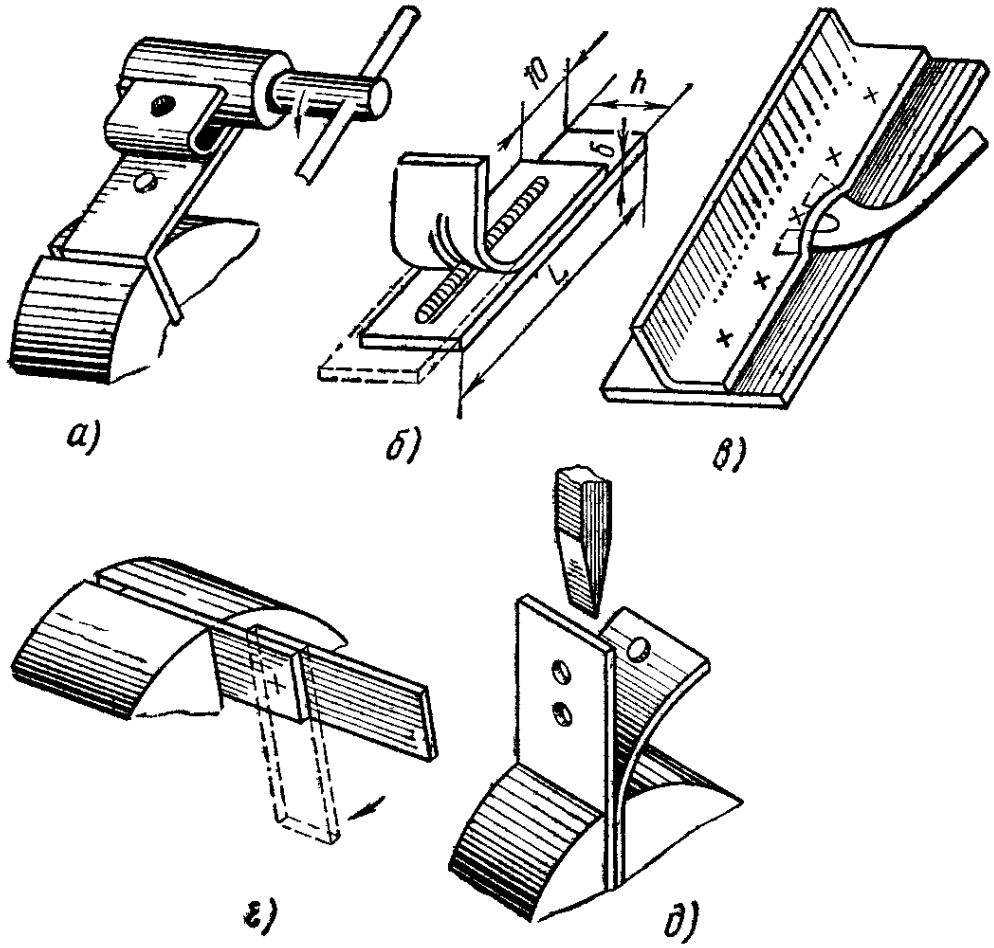


Рис. 167. Схемы испытания образцов при точечной и шовной сварке на вырыв, свертыванием (*а, б*), отгибом (*в*), скручиванием (*г*) и срез зубилом (*д*)

Стыковые соединения стандартных и специальных образцов испытывают на удар и разрыв.

Механические испытания дополняются замерами твердости, макро- и микроисследованием структуры. При металлографическом контроле обнаруживаются все виды внутренних дефектов в пределах разрешающей способности микроскопа.

Наиболее перспективен контроль в процессе сварки. Он может быть пассивным, когда отмечаются дефекты, и активным, при котором предупреждается их появление. Обычно контролируют работу машины, состояние рабочих поверхностей электродов и периодически качество соединений технологической пробой или другими экспресс-

испытаниями соединений (например, пневмоиспытанием на герметичность при шовной и рельефной сварке, осмотром изломов и т. д.).

Допустимое отклонение шага точек обычно составляет ± 10%, а смещение точек и шва от оси ± 1 мм. При больших смещениях возможны внутренние выплески или разрыв кромки.

Тонкие детали иногда проверяют их отгибом. Потрескивание и разделение деталей указывает на недоброкачественность сварки.

Вид испытания выбирают в зависимости от условий работы соединения.

Образцы технологической пробы должны иметь тот же шаг и расположение точек или шва, что и в детали. Длина выбирается из расчета сварки 5 — 7 точек или 100 — 150 мм шва. Их кривизна должна быть такой же, как у деталей. Так, кольцевые швы диаметром менее 200 мм и толщиной более 1,5 мм испытывают на образцах такой же формы.

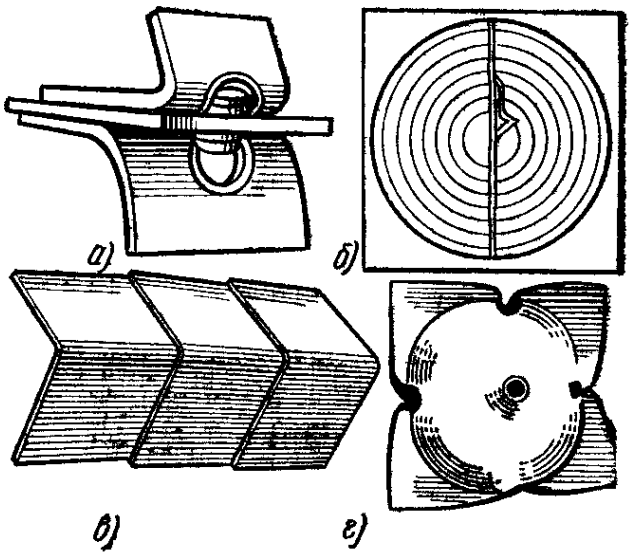


Рис. 168. Испытаиные образцы после точечной (*а*), стыковой (*б, в*) и шовной (*г*) сварок

Контроль без разрушения может осуществляться по энергетическим параметрам процесса (сварочиому току, напряжению, полезиой мощности, энергии), температуре, перемещению электрода, а также ультразвуком, рентгеном и другими физическими методами.

Рентгеновский контроль основан на изменении интенсивности прохождения лучей через среды с разной плотностью. Плотность ядра мало отличается от плотности исходного материала. Для различия вводится рентгено-контрастный материал, который, имея разную с исходным материалом температуру плавления и сопротивление, вытесняется к периферии ядра или, равномерно перемешиваясь, сообщает ядру новые свойства.

Точки и швы после сварки подвергают рентгенографии. Материалом-свидетелем алюминиевых и магниевых сплавов могут быть лакокрасочные покрытия с прозрачным лаком Э-41000 или эмалью ЭТО-63 при наполнителе в виде порошка вольфрама В-1 с размером частиц 40—70 мкм, а также лента толщиной 0,1 мм из сплава алюминия с 5 и 10% серебра для полос 1—2 мм и больше 2 мм соответственно. Тугоплавкий порошок вольфрама под действием электромагнитных сил стягивается к границе ядра, а внутри выявляется светлое кольцо. Серебро выделяется в виде темной центральной зоны с четкими границами ядра. Серебро равномерно распределяется в ядре.

Более целесообразны вводимые под нахлестку ленты толщиной 0,12—0,18 мм из Mg + Mn, Mg + Al, устраняющие выплеск и повы-

шающие прочность при статических и знакопеременных погрузках, а также позволяющие ставить новые точки рядом с дефектными.

Некоторые кольцевые детали испытывают растяжением (цепи) или увеличением диаметра (колеса и др.).

При стыковой сварке дефекты могут выявляться ультразвуком. Так, при частоте 2,5 МГц выявляются поры, раковины и непровар размером более 1,3 мм. Для лучшего ввода ультразвука поверхность точки смачивается минеральным маслом. Этим способом можно с известным приближением судить о трещинах и непроваре при стыковой сварке. Поперечные волны вводят под определенным углом к дефекту призматическими щупами. Точки проверяют щупами с двумя пьезоэлементами. Однако для точечной сварки более перспективен контроль ультразвуком, при котором пьезоэлектрический излучатель и приемник ультразвуковых колебаний (УЗК) установлены в каналах с водой верхнего и нижнего электрода. Способ основан на различном поглощении УЗК твердым и жидким металлом. Продольные колебания слабо реагируют на расплав, а поперечные не распространяются в жидких средах и отражаются от границы ядра. Продольные колебания от излучателя конусным дном преобразуются в поперечные, а затем после зоны сварки снова преобразуются в продольные и попадают в приемник. При большой зоне расплава УЗК полностью экранируются, а при непроваре все достигают приемника. Уровень несколько меняется при изменении P_c и площади контакта электрода с деталью. Контроль осуществляют по снижению амплитуды или по площади, ограничений огибающей УЗК. Для каждого материала разрабатываются эталоны записи качественных точек.

Выборочный контроль, как правило, связан с испытанием и разрушением небольшой части деталей или специальных образцов. Количество испытываемых деталей оговаривается техническими условиями. В этом случае большое значение имеет внешний осмотр.

Наилучшие результаты каждый из способов контроля может давать в зависимости от материала деталей и их формы. Так, автоматическая стабилизация тока и других параметров целесообразна для металлов с высоким удельным сопротивлением и малоэффективна для легких сплавов, имеющих близкое значение $R_{эд}$ и $R_д$.

Контроль по температуре поверхности, замеряемой контактным или радиационным способом, не всегда дает желаемые результаты, так как соотношение между температурой поверхности и размерами ядра меняется при шунтировании тока, загрязнении поверхностей и электрода, а также от интенсивности охлаждения деталей и инструмента.

§ 72. Правила безопасной работы

Принципы охраны труда в Советском Союзе вытекают из основных положений трудового права, направленных на создание благоприятных, здоровых и безопасных условий труда, способствующих высокой производительности.

Работа на контактных машинах без соблюдения правил опасна и для сварщика, и для окружающих. Опасность представляют расплавленные частицы, электрический ток и движущиеся части машин.

Для защиты от расплавленных частиц и предупреждения ожогов каждому сварщику бесплатно выдаются бесцветные очки закрытого типа, рукавицы и хлопчатобумажная огнестойкая или брезентовая куртка, а при стыковой сварке дополнительно шлем. Защиту от расплавленных частиц производят также щитками, шторками и другими устройствами.

Контактная сварка осуществляется при низких (до 36 В) напряжениях и при соблюдении правил электробезопасна. Поражение током высокого напряжения возможно при незаземленной машине и пробое трансформатора, при переключении напряжения без отключения трансформатора от сети.

Все работы, связанные с напряжением 220 и 380 В, должен проводить специалист-электрик. Сварщик эти работы выполняет только после специального обучения и сдачи испытаний.

Большинство несчастных случаев связано с утечками воздуха или масла в системах привода, с подгоранием контактных устройств, с малоквалифицированным ремонтом и неправильной эксплуатацией. Поэтому машины эксплуатируют в строгом соответствии с инструкциями. Нельзя, например, зачищать электроды и смазывать узлы машины без ее выключения или допускать к работе посторонних лиц. Для безопасности важна чистота и порядок на рабочем месте, а также периодическая чистка и смазка машины.

Перед работой в новых условиях каждого сварщика инструктируют по правилам безопасности при приходе, уходе и нахождении на работе, мерам личной безопасности и безопасности окружающих, а также по способам оказания первой помощи и правилам гигиены.

Каждый работающий должен строго соблюдать указания предупредительных надписей, знаков и плакатов по безопасности, а при несчастных случаях немедленно обращаться за медицинской помощью и одновременно ставить в известность об этом администрацию.

Сварщик обязан выполнять только порученную мастером работу при известных безопасных способах ее выполнения; на новую работу от мастера необходимо требовать дополнительного инструктажа.

Перед началом работы сварщик: приводит в порядок рабочую одежду, очищает коврик, подготавливает защитные устройства; осматривает рабочее место и приводит его в порядок; проверяет исправность машины, ее механизмов и электрических устройств; включает аппаратуру пульта управления и местное освещение напряжением 36 В; о замеченных неисправностях оборудования докладывает мастеру и без его указания к работе не приступает.

Во время работы сварщик принимает меры по защите себя и окружающих от расплавленных частиц, и не допускает к работе на сварочной машине посторонних лиц; выключает машину при перерывах в подаче энергии, отходе от машины, временном перерыве сварки, неисправностях в машине, чистке, смазке и уборке машины и рабочего

места; следит за электродами, дающими при загрязнении опасные наружные выплески.

После окончания работы сварщик немедленно выключает машину; приводит в порядок рабочее место, убирает материал, приспособления и электроды в специально отведенные для этого места, чистит и смазывает машину и сдает ее мастеру.

Замена электродов, их чистка при включенном токе и давлении воздуха или масла в системе не допускаются.

Для ряда машин и агрегатов созданы дополнительные инструкции с особыми требованиями, учитывающими использование высоких давлений масла, воздействие магнитиых мощных полей и т. д.

§ 73. Причины пожаров, средства их тушения и правила пожарной безопасности

Газы (ацетилен и его заменители, водород) и горючие материалы (масло, бензин, керосин, обтирочные концы, шланги и др.) могут вызвать пожары, а в некоторых случаях взрывы.

Горение — процесс взаимодействия горючего вещества с окислителями (обычно с кислородом воздуха), сопровождающийся выделением тепла и света. Горение усиливается с повышением температуры окружающей среды и хорошем притоке воздуха.

При определениых концентрациях горючих веществ (например, бензина или водорода) возможно самовоспламенение и взрывообразное горение.

Взрывы могут быть вызваны ударами по газовым баллонам, попаданием масла в кислородные магистрали, обратными ударами в ацетиленовых магистралях и загоранием захламленных траншей, по которым проложены кабели, подводящие ток к машине.

Причины пожаров. Пожары возникают при нахождении горючих материалов в зоне полета расплавленных частиц в результате неправильной эксплуатации баллонов и их транспортировке, попадания масла в редукторы, вентили с кислородом или в азотно-масляные аккумуляторы, небрежного обращения с огнем, неправильного применения легковоспламеняющихся материалов (например, бензина или спирта при промывке деталей), короткого замыкания токопроводов, пробоя изоляции машин, неисправности отопления и освещения, запыленности, захламленности и загазованности помещения, утечках масла и других горючих веществ, курения в неположенных местах.

Предупреждение пожаров. Для предупреждения пожаров каждый работающий должен выполнять следующие правила:

проходить регулярно инструктаж по пожарно-техническому минимуму и правилам безопасной работы;

строго соблюдать правила пожарной безопасности, чистоту и порядок на рабочем месте;

следить за установкой защитных ограждений;

правильно эксплуатировать газовые баллоны и другое оборудование;

следить за исправностью систем электропитания;

не загромождать проезды и проходы, а также подступы к средствам пожаротушения;

запрещается пользоваться открытым огнем;

курение допускается только в специально отведенных местах.

При обнаружении признаков пожара необходимо немедленно вызвать пожарную команду. Вызов производится по телефону, при помощи электрической пожарной сигнализации ручного или автоматического действия, а также подачей звуковых сигналов тревоги. По телефону нужно назвать адрес объекта, где возник пожар, что горит, чему угрожает пожар и свою фамилию.

До прибытия пожарной команды или заводской добровольной пожарной дружины рабочие должны отключить силовую электросеть, выключить приточно-вытяжную вентиляцию и приступить к тушению пожара местными средствами.

Для тушения пожаров используют такие средства, как воду, инертные газы и сыпучие материалы, покрывала (тяжелые асбестовые или шерстяные ткани), углекислотные огнетушители (при тушении масла), сопло которых направляют на очаг горения и открывают вентиль. При пользовании пенным огнетушителем необходимо прочистить запорно-пусковое устройство, повернуть ручку вверх до отказа, перевернуть огнетушитель и направить струю на очаг горения.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

F — площадь сварки, мм^2
δ — толщина детали, мм
d и D — диаметр детали, мм
$d_э$ — диаметр электрода, мм
$R_э$ — радиус сферы электрода, мм
$l_я$ — длина ядра в шве, мм
$d_я$ — диаметр ядра, мм
b — ширина рабочей поверхности электрода, мм
$S_т$, $S_р$ — шаг между точками и рельефами, мм
a — величина нахлестки, мм
$l_1 + l_2$ — установочная длина, мм
$\Delta_к$ — конечное расстояние, мм
$\Delta_{под}$ — припуск на подогрев, мм
$\Delta_{опл}$ — припуск на оплавление, мм
$\Delta_{ос}$ — величина осадки, мм
$\Delta_{ос.т}$ — величина осадки под током, мм
Δ — суммарный припуск, мм
$t_{ос.т}$ — длительность осадки под током, с
$t_с$ — длительность сварки, с
$t_п$ — длительность паузы, с
$t_{под}$ — длительность подогрева, с
$t_{опл}$ — длительность оплавления, с
$P_с$, $P_{ос}$ — усилие сжатия и осадки, кгс
ρ — удельное сопротивление
$T_с$ — температура сварки
$\sigma_т$ — предел текучестн
$P_{заж}$ — усилие зажатия, кгс
$P_к$ — усилие проковки, кгс
p — давление, кгс/мм^2
$v_{опл}$ — скорость оплавления, мм/с
$v_{ос}$ — скорость осадки, мм/с
$v_н$ — начальная скорость, мм/с
$v_к$ — конечная скорость, мм/с
$v_{ср}$ — средняя скорость, мм/с
$v_ш$ — скорость шовной сварки, м/мин
$T_п$ — температура подогрева, °С
$T_{пл}$ — температура плавления, °С
$R_к$ — контактное сопротивление, мкОм
$R_д$ — сопротивление деталей, мкОм
$R_{ээ}$ — сопротивление между электродами
$R_{эд}$ — сопротивление участка электрод—деталь, мкОм
R — активное сопротивление, мкОм
X — индуктивное сопротивление, мкОм
$I_с$ — сварочный ток, кА
j — плотность тока, А/мм^2
S — перемещение деталей, мм
U_{20} — напряжение холостого хода, В
$v_д$ — скорость деформации

ЛИТЕРАТУРА

Аксельрод Ф. А., Миркин А. М. Оборудование для сварки давлением. — М.: Высшая школа, 1975.

Гилевич В. А. Технология и оборудование рельефной сварки. — М.: Машиностроение, 1973.

Глебов Л. В. и др. Установка и эксплуатация машин контактной сварки. — Л.: Машиностроение, 1973.

Кабанов Н. С. Сварка на контактных машинах. 2-е изд.—М.: Высшая школа, 1973.

Кочергин К. А. Сварка давлением. — Л.: Машиностроение, 1972.

Технология и оборудование для контактной сварки Под ред Орлова Б. Д.— М.: Машиностроение, 1975.

Слиозберг С. К., Чулошников П. Л Электроды для контактной сварки. — Л.: Машиностроение, 1972.

Холопов Ю. В. Ультразвуковая сварка. — М.: Машиностроение, 1972.

Хренов К. К. Сварка, резка и пайка металлов. — М.: Машиностроение, 1973.

Чулошников П. Л. Точечная и роликовая электросварка легированных сталей и сплавов. — М.: Машиностроение, 1974.

Н. С. КАБАНОВ

СВАРКА НА КОНТАКТНЫХ МАШИНАХ

ИЗДАНИЕ ТРЕТЬЕ,
ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ

Одобрено
Ученым советом
Государственного комитета
СССР
по профессионально-
техническому образованию
в качестве учебника
для профессионально-
технических училищ



МОСКВА
«ВЫСШАЯ ШКОЛА»
1979

ББК 34.641
К12

УДК 621.791.76

Отзывы и замечания просим направлять по адресу: *101430, Москва, К-51, Неглинная ул., 29/14, издательство «Высшая школа»,*

Кабанов Н. С.

К12 Сварка на контактных машинах: Учебник для проф.-техн. училищ. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. школа, 1979. — 215 с., ил. — (Профтехобразование. Сварка).

В пер. 50 к.

В книге приведены сведения о технологии контактной сварки, типовом оборудовании, инструменте и приспособлениях для стыковой, точечной, рельефной и шовной сварки; изложен материал о монтаже, эксплуатации и контроле работы сварочных машин и качестве сварных соединений.

Третье издание книги (2-е — в 1973 г.) дополнено сведениями о новых достижениях в области контактной сварки.

6П4.3

К $\frac{31206-042}{052(01)-79}$ 85—79 2704060000

ББК 34.641

© Издательство «Высшая школа», 1973
© Издательство «Высшая школа», 1979 с изменениями