

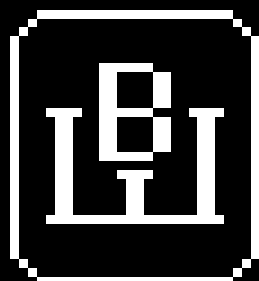
Э.С. Каракозов

Р.М. Мустафаев

# СПРАВОЧНИК

МОЛОДОГО

ЭЛЕКТРОСВАРЩИКА



## Оглавление

Предисловие	3
1. Виды сварки. Сварные соединения и швы	4
1.1 Классификация сварки. Виды дуговой сварки	4
1.2 Сварные соединения и швы	9
1.3 Условные изображения и обозначения швов сварных соединений	28
2. Электрическая дуга	37
2.1 Основные сведения о дуге	37
2.2 Влияние рода тока на дугу. Статическая вольт-амперная характеристика дуги	40
2.3 Типы сварочных дуг	42
2.4 Основные показатели сварочной дуги	43
3. Основы теории сварочных процессов	46
3.1 Оценка эффективности сварочных процессов	46
3.2 Источники энергии для дуговой сварки плавлением	48
3.3 Металлургические процессы при дуговой сварке плавлением	50
4. Сварочные материалы	58
4.1 Сварочная и наплавочная проволоки	58
4.2 Порошковая проволока	62
4.3 Неплавящиеся электроды для дуговой сварки и резки	65
4.4 Покрытые электроды для ручной дуговой сварки и наплавки	66
4.5 Сварочные флюсы	77
4.6 Защитные газы	105
5. Источники питания дуги	107
5.1 Требования к источникам питания	107
5.2 Внешняя характеристика источника питания	108
5.3 Режим работы источников питания	111
5.4 Классификация и обозначение источников питания	112
5.5 Источники питания переменного тока	113
5.6 Источники питания постоянного тока	121
5.7 Вспомогательные электротехнические устройства	146
6. Оснащение сварочных постов для дуговой сварки и резки	151
6.1 Сварочный пост	151
6.2 Принадлежности и инструмент сварщика при ручной дуговой сварке	152
6.3 Оборудование для автоматической и механизированной сварки открытой дугой и под флюсом	156
6.4 Оборудование для автоматической и механизированной дуговой сварки в защитных газах	166
6.5 Оборудование для плазменной резки	181
7. Технология ручной дуговой сварки покрытым электродом	181
7.1 Подготовка заготовок под сварку	181
7.2 Сборка заготовок под сварку	182
7.3 Выбор режима сварки	190
7.4 Техника выполнения сварных швов	191
8. Высокопроизводительные способы ручной дуговой сварки	201
9. Дуговая сварка в защитных газах	206
9.1 Общие сведения	206
9.2 Дуговая сварка в углекислом газе	209
9.3 Аргонодуговая сварка	213
9.4 Импульсно-дуговая сварка	215
10. Дуговая сварка под флюсом	217
10.1 Сущность и технологические особенности способа. Подготовка заготовок под сварку	217
10.2 Технология и режимы сварки	219
11. Электрошлаковая сварка	227
11.1 Технологические особенности способа. Подготовка заготовок под сварку	227
11.2 Технология и режимы сварки	228
12. Плазменная сварка	230
13. Технологический процесс изготовления сварных конструкций	232
13.1 Сварка трубопроводов	232
13.2 Сварка балочных и решетчатых конструкций	236
14. Напряжения и деформации при сварке	238



14.1 Общие сведения. Причины возникновения сварочных напряжений и деформаций	238
14.2 Способы уменьшения сварочных напряжений и пластических деформаций в металле	240
14.3 Термическая обработка изделий, изготовленных сваркой	243
14.4 Способы исправления деформированных сварных конструкций	244
15. Сварка заготовок из углеродистых и легированных сталей	246
15.1 Общие сведения	246
15.2 Сварка заготовок из низкоуглеродистых сталей	246
15.3 Сварка заготовок из среднеуглеродистых сталей	252
15.4 Сварка заготовок из низколегированных сталей	252
15.5 Сварка заготовок из легированных сталей	255
15.6 Сварка заготовок из высоколегированных сталей	256
16. Сварка и наплавка чугуна	266
16.1 Общие сведения	266
16.2 Горячая сварка и наплавка чугуна	267
16.3 Сварка чугуна без подогрева	270
17. Сварка заготовок из цветных металлов и сплавов	271
17.1 Сварка заготовок из меди и сплавов на ее основе	271
17.2 Сварка заготовок из алюминия и сплавов на его основе	274
18. Дуговая наплавка	279
18.1 Общие сведения	279
18.2 Технология дуговой наплавки	279
18.3 Способы наплавки	282
19. Дуговая резка	285
19.1 Ручная дуговая резка покрытым плавящимся электродом	286
19.2 Ручная дуговая резка угольным неплавящимся электродом	287
19.3 Ручная воздушно-дуговая резка	287
19.4 Ручная кислородно-дуговая резка	289
19.5 Ручная и машинная плазменная резка	290
20. Контроль качества сварных соединений	292
20.1 Общие сведения	292
20.2 Дефекты сварных соединений	292
20.3 Методы контроля качества сварных соединений	293
Рекомендуемая литература	301

## 1. ВИДЫ СВАРКИ. СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ И ШВЫ

### 1.1. Классификация сварки. Виды дуговой сварки

Классификация сварки. Согласно ГОСТ 19521—74, сварку металлов классифицируют по физическим, техническим и технологическим признакам.

По физическим признакам (форме вводимой энергии, наличию давления и виду инструмента — носителя энергии) все виды сварки подразделяют на классы — термический, термомеханический и механический (рис. 1.1).

К техническим признакам относятся способ зашты металла в зоне сварки, непрерывность процесса и степень механизации сварки (рис. 1.2).

К технологическим признакам в зависимости от вида сварки относятся вид электрода, вид дуги, род и полярность сварочного тока, способ формирования шва и др.

**Дуговая сварка.** Источником теплоты служит электрическая дуга, горящая между электродом и свариваемыми заготовками. Температура столба дуги составляет 6000...8000 °С. В результате теплового воздействия происходит местное расплавление кромок заготовок и присадочного металла — образуется общая сварочная ванна, которая после прекращения теплового воздействия кристаллизуется, превращаясь в шов.

**Дуговая сварка под флюсом.** Процесс ведут непокрытой электродной проволокой (рис. 1.3). Дуга горит под слоем флюса, который при плавлении превращается в жидкий шлак, защищающий сварочную ванну от атмосферного воздуха. Зажигание дуги, поддержание ее горения и заварка кратера в конце шва автоматизированы. По производительности автоматическая сварка под флюсом в 15...20 раз превосходит ручную дуговую сварку. Это достигается использованием сварочных токов силой до 2000 А. Высокое качество сварных швов обеспечивается повышением механических свойств наплавленного металла благодаря надежной защите сварочной ванны при одновременном ее раскислении и легировании. Сварка может производиться при применении как постоянного, так и переменного тока.

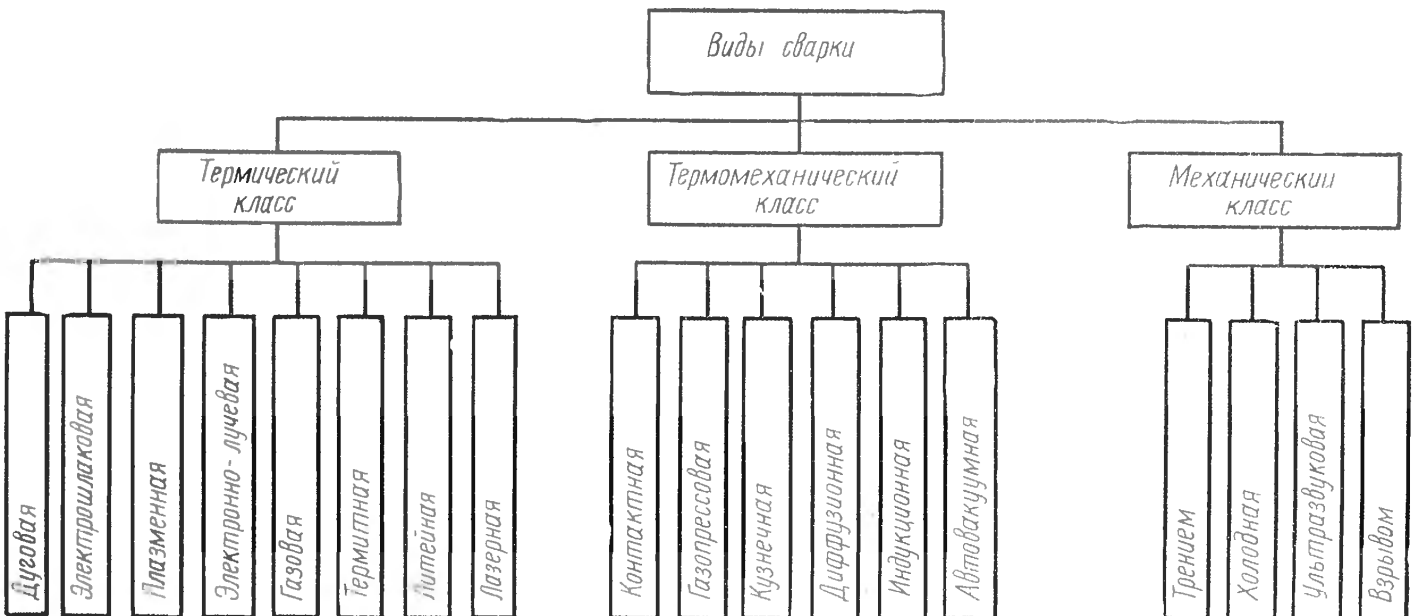


Рис. 1.1. Классификация видов сварки по физическим признакам

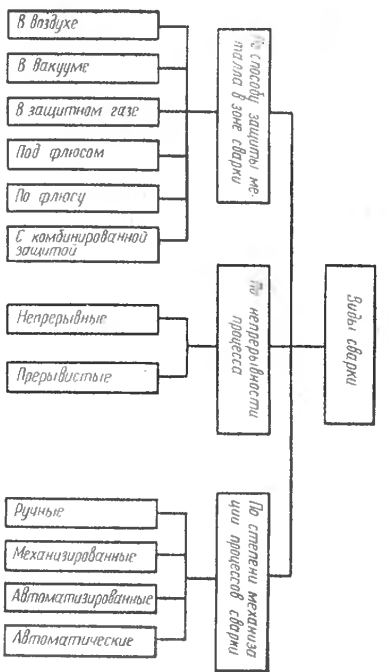


Рис. 1.2. Классификация видов сварки по техническим признакам

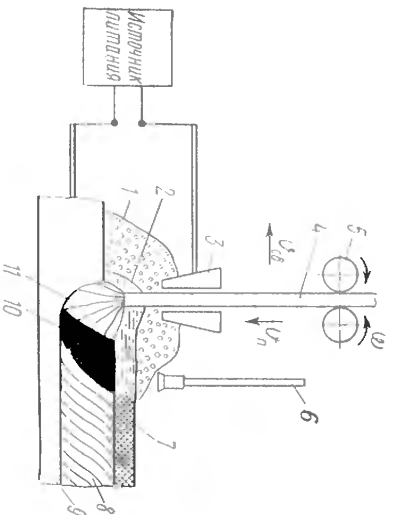


Рис. 1.3. Схема дуговой сварки под флюсом:

1 — флюс, 2 — жидкий шлак, 3 — электрод, 4 — электродная проволока, 5 — механизм подачи и перемещения электродной проволоки, 6 — трубопровод для отвода газов, 7 — шлаковая корка, 8 — сварной шов, 9 — затовка, 10 — сварочная ванна, 11 — дуга;  $U_d$  — скорость сварки,  $U_w$  — скорость подачи сварочной проволоки,  $u$  — угловая скорость подачи сварочной проволоки

Электродшлаковая сварка основана на плавлении свариваемого и электродного металлов теплотой, выделяемой при прохождении электрического тока через расплавленный шлак. Процесс начинается с зажигания дуги между электродной проволокой и подложкой (рис. 1.4). В зону горения дуги засыпают флюс. После

образования определенного количества жидкого шлака дуга сдвигается и гаснет. При прохождении тока через расплавленный электропроводящий шлак температура последнего повышается до  $2000^\circ\text{C}$ , электродная проволока и крошки заготовок плавятся, образуя сварочную ванну. Вытекание жидкого шлака и металла из зазора между заготовками предотвращается специальными медными водоохлаждаемыми пластинами. Шов формируется при непрерывной подаче электродной проволоки.

**Дуговая сварка в защитных газах** выполняется электрической дугой плавящимся или неплавящимся электродом (рис. 1.5); в последнем случае шов формируется за счет подачи в зону дуги присадочной проволоки или в результате расплавления отбортованных кромок заготовок. В качестве защитных используют инертные (аргон, гелий) или активные (углекислый газ, азот, водород и др.) газы, а также смеси двух и более газов. Дуговая сварка

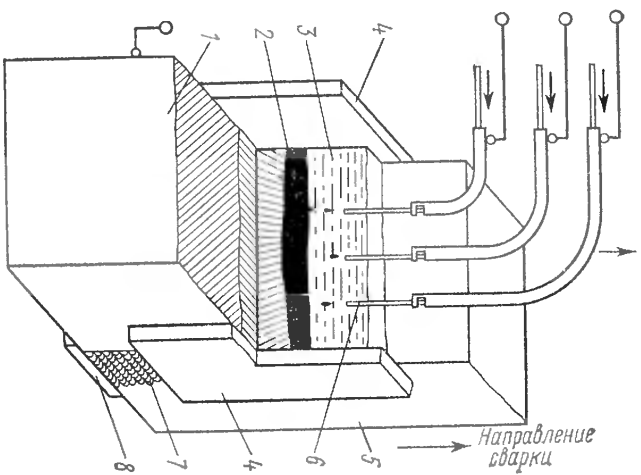


Рис. 1.4. Схема электрошлаковой сварки:

1, 5 — свариваемые заготовки, 2 — ванна жидкого металла, 3 — шлак, 4 — медные водоохлаждаемые кристаллизаторы, 6 — электродная проволока, 7 — сварной шов, 8 — подложка; стрелками обозначено направление подачи и перемещения электродной проволоки

сравнению с ручной дуговой имеет следующие преимущества: высокая степень защиты сварочной ванны; отсутствие на поверхности шва шлаковой корки; возможность сваривания цветных металлов (алюминия, магния, меди, титана и др.).

**Плазменная сварка.** Источником теплоты служит сжатая дуга, имеющая температуру  $20\,000\text{--}50\,000^\circ\text{C}$ . Плазму получают, пропуская поток газа через столб электрической дуги (рис. 1.6, а, б). В узком канале сола дуги сжимается, что приводит

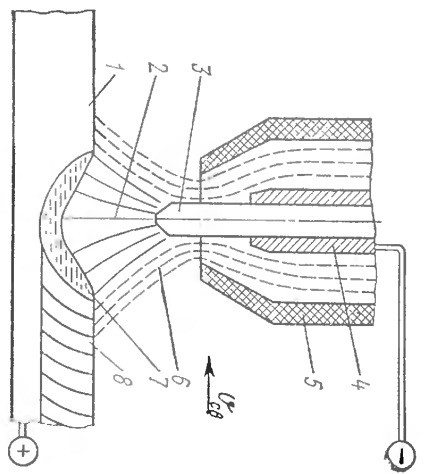


Рис. 15. Схема дуговой сварки в защитном газе:  
1 — заготовка, 2 — зона дуги, 3 — плавящийся электрод, 4 — мучающийся (токоподвод), 5 — сопло, 6 — защитный газ, 7 — сварочная ванна, 8 — сварной шов

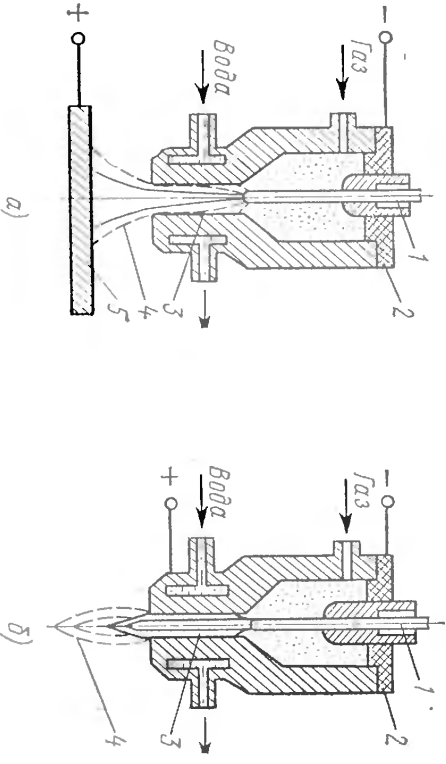


Рис. 16. Плазменные горелки (плазматроны) прямого (а) и косвенного (б) действия:  
1 — вольфрамовый электрод, 2 — изоляционная втулка, 3 — сопло, 4 — сжатая дуга, 5 — заготовка

К повышению в нем плотности энергии и температуры. В качестве плазмобразующего газа используют аргон, азот или водород. Плазменной сваркой соединяют металлы и сплавы, в том числе и в разнородных сочетаниях. Особенно эффективно сваривать этим способом тонколистовые материалы.

## 1.2. Сварные соединения и швы

Сварным соединением называют участок конструкции, в котором отдельные ее элементы соединены путем местного сплавления или совместного пластического деформирования материала этих элементов по их примыкающим поверхностям, в результате чего возникает прочное сцепление металлов, основанное на межатоном взаимодействии. В сварное соединение входят сварной шов, зона термического влияния и примыкающие к ней участки основного металла.

Сварной шов — это участок сварного соединения, образовавшийся в результате кристаллизации металла сварочной ванны.

Зоной термического влияния называют участок не подвергшегося расплавлению основного металла, структура и свойства которого изменяются в результате нагрева и пластической деформации при сварке.

Сварные соединения и швы классифицируют по следующим основным признакам: типу соединения — стыковые, угловые, тавровые и нахлесточные (табл. 1.1, ГОСТ 5264—80); форме свариваемой конструкции; форме подготовленных под сварку кромок.

**Стыковые соединения.** Свариваемые элементы располагаются в одной плоскости или на одной поверхности. Стыковые соединения, как правило, выполняют непрерывными швами. При сварке двух заготовок разной толщины рекомендуется на более толстой заготовке выполнить скос для выравнивания толщин. Форма разделки кромок в зависимости от вида сварки и толщины заготовки указана в табл. 1.1.

**Угловые соединения** выполняют как односторонними, так и двусторонними швами. Соединения односторонними швами не рекомендуются для изделий, работающих в условиях знакопеременных и ударных нагрузок.





**Тавровые соединения.** Этот вид соединения, в котором торец одного элемента сопрягается с поверхностью другого элемента, широко применяют в строительных металлических конструкциях, таких, как колонны, бабки, фермы и др.











**Нахлесточные соединения** образуются при наложении плоской поверхности одного элемента на плоскую поверхность другого. Швы накладывают с торцов элементов (лобовые швы) или с боковых сторон (фланцевые швы). Величина нахлестки (перекрытия) должна составлять не менее пяти толщин наиболее тонкой из свариваемых заготовок.













В соответствии с ГОСТ 11960—79 сварные швы классифицируют по расположению в пространстве (рис. 1.7), по действующему на них усилию (рис. 1.8, а...з), по форме внешнего контура сечения шва (рис. 1.9, а...е).







1.1. Основные типы соединений, формы подготовленных кромок, формы поперечного сечения и условные обозначения соединений при ручной дуговой сварке







Тип соединения	Форма подготовленных кромок	Характер сварного шва	Форма поперечного сечения		Толщина свариваемых заготовок, мм	Условное обозначение соединения	
			подготовленных кромок	сварного шва			
Стыковое	С отбортовкой кромок	Односторонний			1...4	C1	
					1...12	C28	
	С отбортовкой одной кромки					C3	
Без скоса кромок		Односторонний				C2	
			Односторонний на съемной подкладке			1...4	C4
			Односторонний на остающейся подкладке				C5
			Односторонний замковый				C6

Тип соединения	Форма подготовленных кромок	Характер сварного шва	Форма поперечного сечения		Толщина свариваемых заготовок, мм	Условное обозначение соединения
			подготовленных кромок	сварного шва		
Стыковое	Без скоса кромок	Двусторонний			2...5	С7
	Без скоса кромок с последующим строганием					
						6...12

Со скосом одной кромки	Односторонний			3...60	С8
	Односторонний на съемной подкладке				С9
	Односторонний на остающейся подкладке				С10
	Односторонний замковый				С11
	Двусторонний				С12

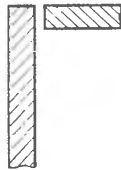
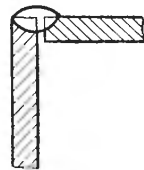
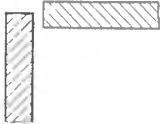
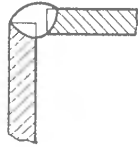
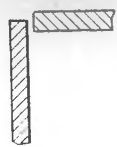
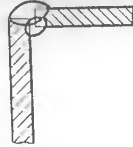
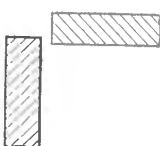
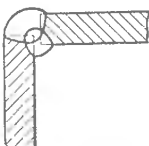
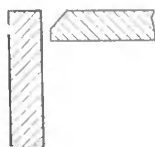
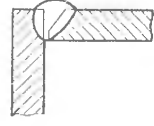

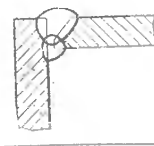
Тип соединения	Форма подготовленных кромок	Характер сварного шва	Форма поперечного сечения		Толщина свариваемых заготовок, мм	Условное обозначение соединения		
			подготовленных кромок	сварного шва				
Стыковое	С криволинейным скосом одной кромки	Двусторонний			15... ...100	C13		
	С ломаным скосом одной кромки						8... ...100	C15
	С двумя симметричными скосами одной кромки							
	С двумя несимметричными скосами одной кромки			12... ...100	C43			
	Со скосом кромок	Односторонний					3...60	C17
		Односторонний на съёмной подкладке			C18			

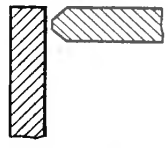
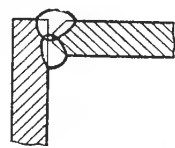
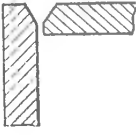
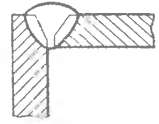

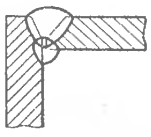
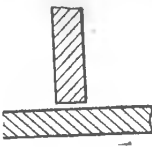
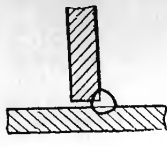
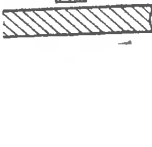
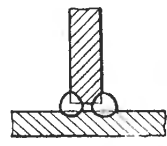
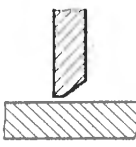
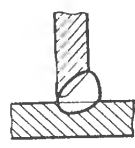
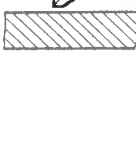
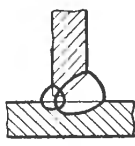
Тип соединения	Форма подготовленных кромок	Характер сварного шва	Форма поперечного сечения		Толщина свариваемых заготовок, мм	Условное обозначение соединения
			подготовленных кромок	сварного шва		
Стыковое	Со скосом кромок	Односторонний на остающейся подкладке			6... ...100	C19
		Односторонний замковый			3...60	C20
						C21

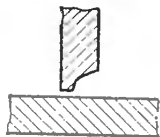
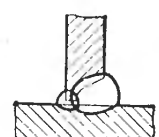
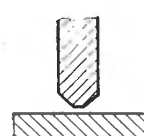
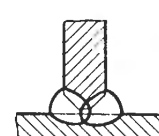

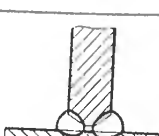

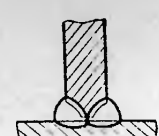




	Со скосом кромок с последующим строганием	Двусторонний			8...40	C45
	С криволинейным скосом кромок					C23
	С ломаным скосом кромок					C24



Тип соединения	Форма подготовленных кромок	Характер сварного шва	Форма поперечного сечения		Толщина свариваемых заготовок, мм	Условное обозначение соединения
			подготовленных кромок	сварного шва		
Стыковое	С двумя симметричными скосами кромок	Двусторонний			8... ...120	C25
	С двумя симметричными криволинейными скосами кромок				30... ...175	C26
	С двумя симметричными ломаными скосами кромок					C27
2*	С двумя несимметричными скосами кромок				12... ...120	C39
						C40
Угловое	С отбортовкой одной кромки	Односторонний			1...4	У1
					1...12	У2

Тип соединения	Форма подготовленных кромок	Характер сварного шва	Форма поперечного сечения		Толщина свариваемых заготовок, мм	Условное обозначение соединения
			подготовленных кромок	сварного шва		
Угловое	Без скоса кромок	Односторонний			1...6	У4
					1...30	
		Двусторонний			2...8	У5
					2...30	
Со скосом одной кромки	Односторонний			3...60	У6	
		Двусторонний				У7

Тип соединения	Форма подготовленных кромок	Характер сварного шва	Форма поперечного сечения		Толщина свариваемых заготовок, мм	Условное обозначение соединения
			подготовленных кромок	сварного шва		
Угловое	С двумя симметричными скосами одной кромки	Двусторонний			8...100	У8
		Односторонний				
	Двусторонний					
Тавровое	Без скоса кромок	Односторонний			2...40	Т1 Т3
		Двусторонний				
	Со скосом одной кромки	Односторонний			3...60	Т6 Т7
		Двусторонний				

Тип соединения	Форма подготовленных кромок	Характер сварного шва	Форма поперечного сечения		Толщина свариваемых заготовок, мм	Условное обозначение соединения
			подготовленных кромок	сварного шва		
Тавровое	С криволинейным скосом одной кромки	Двусторонний			15... ...100	T2
	С двумя симметричными скосами одной кромки				8... ...100	T8
					12... ...100	T9
	С двумя симметричными криволинейными скосами одной кромки				30... ...120	T5
Нахлесточное	Без скоса кромок	Односторонний			2...60	H1
		Двусторонний				H2

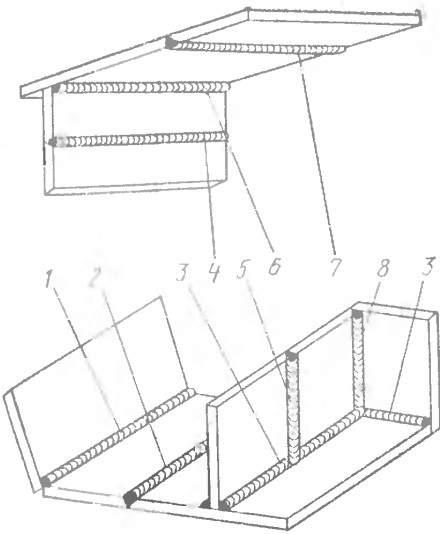


Рис. 1.7. Классификация сварных швов по расположению в пространстве:

1 — нижний угловой, 2 — нижний стыковой, 3 — нижний «в лодочку», 4 — горизонтальный стыковой, 5 — вертикальный стыковой, 6 — потолочный угловой, 7 — потолочный стыковой, 8 — вертикальный угловой

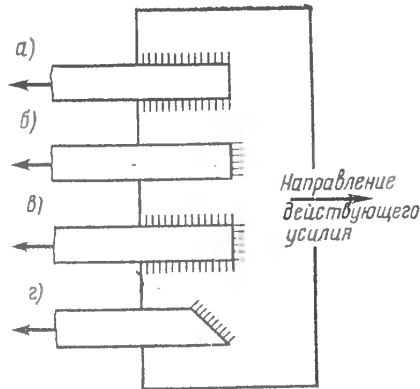


Рис. 1.8. Классификация угловых швов по действующему на них усилию:

а — боковой (фланговый), б — торцовый (лобовой), в — комбинированный, г — косой

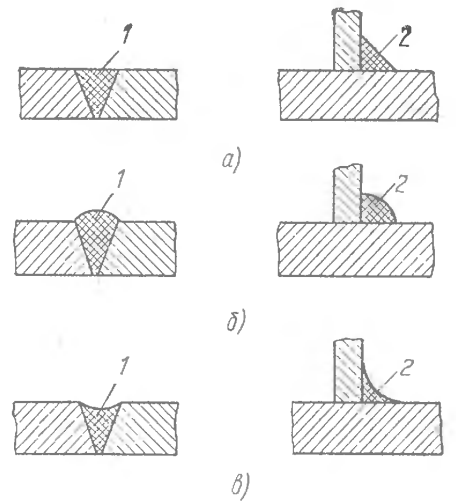


Рис. 1.9. Классификация сварных швов по форме внешнего контура сечения шва:

а — нормальные, б — выпуклые, в — вогнутые; 1, 2 — соответственно стыковые и угловые сварные швы

Конструктивными элементами кромок, подготовленных под сварку заготовок и сборку последних для сварки, являются: зазор  $b$ ; приуглубление  $c$ ; угол  $\beta$  скоса кромок; угол  $\alpha$  разделки кромок, равный  $\beta$  или  $2\beta$ ; смещение кромок  $\delta$  (рис. 1.10, а...з).

Разделка кромок под сварку стальных заготовок необходима, если толщина последних превышает 7 мм, в противном случае возможен непровар, перегрев или пережог металла. Соответствующая подготовка кромок позволяет накладывать швы отдельными слоями небольшого сечения, что улучшает структуру сварного соединения и уменьшает сварочные напряжения и деформации.

Угол разделки кромок выбирают в пределах  $(60 \pm 5) \dots (20 \pm 5)^\circ$ , а зазор  $b$  — в пределах 1,5...4 мм. Правильно установленный зазор позволяет избежать непровара при наложении первого (корневого) шва. Приуглубление  $c$  кромок необходимо для обеспечения устойчивости процесса сварки при выполнении корневого шва. Отсутствие приуглубления, которое обычно назначают равным  $(2 \pm 1)$  мм, может явиться причиной прожогов при сварке.

По протяженности различают сплошные и прерывистые швы. Длину сварного шва назначают из условия расчета на прочность в пределах 50...150 мм, а расстояние между швами — 1,5...2,5 длины шва.

Подготовка кромок под сварку регламентируется для различных видов сварки соответствующими ГОСТами (см. табл. 1.1).

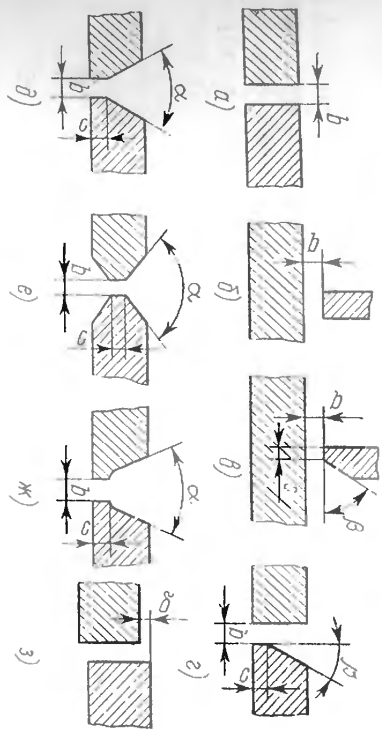


Рис. 1.10. Конструктивные элементы кромок, подготовленных под сварку:

а — односторонние и двусторонние швы без скоса кромок, б — тавровые швы без скоса кромок, в — тавровые швы с односторонним скосом одной кромок, г — стыковые швы со скосом одной кромок, д — стыковые швы со скосом двух кромок, е — стыковые швы с двумя скосами двух кромок, ж — стыковые швы с криволинейным скосом двух кромок, з — стыковые швы без разделки кромок со смещением

На механические свойства сварного соединения большое влияние оказывает смещение в кромок заготовок (см. рис. 1.10, з). Допустимое смещение зависит от типа конструкции, материала и условий эксплуатации.

### 1.3. Основные изображения и обозначения швов сварных соединений

В соответствии с ГОСТ 2.312—72 швы сварных соединений на чертежах обозначают сплошной (видимые) и штриховой (невидимые) линиями. Видимую одиночную сварную точку (независимо от способа сварки) условно изображают знаком «+» (рис. 1.11, а), невидимые одиночные точки не изображают. От изобра-

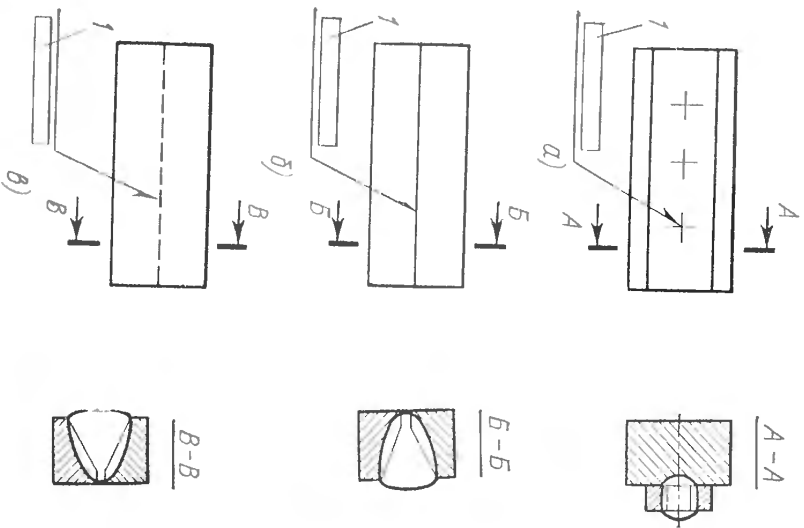


Рис. 1.11. Условные изображения видимых и невидимых швов сварных соединений:

а — видимый электрозакалочный, б — видимый стальной односторонний, в — невидимый стальной односторонний; 1 — условное обозначение шва по ГОСТУ

### 1.2. Вспомогательные знаки для обозначения сварных швов

Ш/П/Э	Вспомогательный знак	Значение вспомогательного знака	Расположение вспомогательного знака относительно полки линии-выноски	
			С лицевой стороны	С оборотной стороны
1		Усиление шва сняты		
2		Наплывы и неравновости шва обработать с плавным переходом к основному металлу		
3		Шов выполнить при монтаже изделия, т. е. при установке его по монтажному чертежу на месте применения		
4		Шов прерывистый или точечный с цепным расположением. Угол наклона линии равен 60°		
5		Шов прерывистый или точечный с шахматным расположением		
6		Шов по замкнутой линии. Диаметр знака — 3...5 мм		

Вспомогательный знак	Значение вспомогательного знака	Расположение вспомогательного знака относительно полки	
		С лицевой стороны	С оборотной стороны
7	Шов по незамкнутой линии. Знак применяют, если расположение шва ясно из чертежа		

Примечания: 1. За лицевую сторону одностороннего шва сварного соединения принимают ту, с которой выполняют сварку. 2. За лицевую сторону двустороннего шва сварного соединения с несимметрично подготовленными кромками принимают ту, с которой выполняют сварку основного шва. 3. За лицевую сторону двустороннего шва сварного соединения с симметрично подготовленными кромками может быть принята любая сторона.

Женить шва или одиночной точки проволочной линией-выноской с одной стороны стрелкой и горизонтальной линией-полкой. Условное изображение шва наносят на полке линии-выноски, проведенной от изображения шва с лицевой стороны (рис. 1.11, б), и под полкой линии-выноски, проведенной от изображения шва с оборотной стороны (рис. 1.11, в).

Рис. 1.12. Структура условного обозначения стандартного шва:

1 — вспомогательные знаки, 2 — обозначение стандарта, 3 — буквенно-цифровое обозначение шва согласно стандарту на типы и конструктивные элементы швов сварных соединений, 4 — знак «дефис», 5 — условное обозначение способа сварки (А — автоматическая, П — механизированная под флюсом, П-3 — механизированная плавлением электродом в защитных газах; Ш — электрошлаковая и др.), 6 — знак и размер катета согласно стандарту на типы и конструктивные элементы швов сварных соединений, 7 — другие характеристики шва (длина привариваемого участка, размер шага, размеры отдельных точек и др.), 8 — вспомогательные знаки (см. табл. 1.2, порядковые номера 1, 2, 4, 5 и 7), 9 — шероховатость поверхности шва

На рис. 1.12 показана структура условного обозначения шва. Вспомогательные

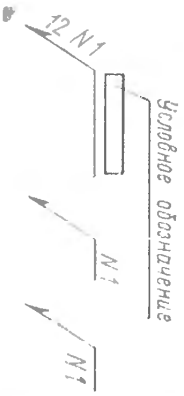


Рис. 1.13. Обозначение на чертеже одинаковых швов (цифрой 12 указано количество одинаковых швов)

1.3. ГОСТы на основные типы и конструктивные элементы швов сварных соединений

ГОСТ	Способ сварки	Тип соединения	Условное обозначение шва
11534—75	То же (под острыми и тупыми углами)	Угловое	У1...У10
		Тавровое	Т1...Т9
		Нахлесточное	Н1; Н2
14771—76	Дуговая в защитных газах	Стыковое	С1...С28
		Угловое	У1...У10
		Тавровое	Т1...Т9
23518—79	То же (под острыми и тупыми углами)	Угловое	У1...У10
		Тавровое	Т1...Т9
		Нахлесточное	Н1...Н2
8713—79	Автоматическая под флюсом	Стыковое	С1...С34
		Угловое	У1...У4
		Тавровое	Т1...Т13
11533—75	То же (под острыми и тупыми углами)	Угловое	У1...У6
		Тавровое	Т1...Т9
		Нахлесточное	Н1...Н6
14806—80	Дуговая дуговая и дуговая инертных газов (толщина электродов — 0,8...60 мм)	Стыковое	С1...С27
		Угловое	У1...У14
		Тавровое	Т1...Т12
		Нахлесточное	Н1...Н5

ГОСТ	Способ сварки	Тип соединения	Условное обозначение
16098—80	Дуговая и электрошлаковая двустойкой коррозионно-стойкой стали	Стыковое	С1...С22
		Угловое	У1...У11
		Тавровое	Т1...Т6
15164—78	Электрошлаковая вань	Стыковое	С1...С3
		Угловое	У1...У4
		Тавровое	Т1...Т3
14776—79	Дуговая электродозаклепками под флюсом, в углекислом газе и аргоне	Нахлесточное	Н1...Н6


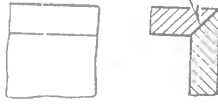


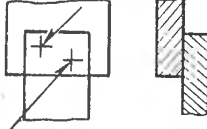
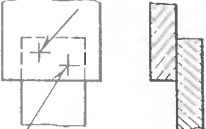

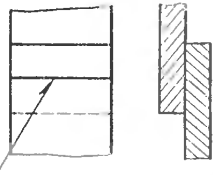


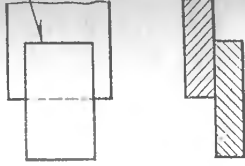
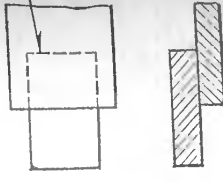

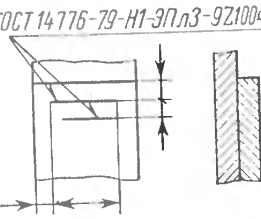
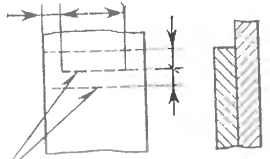
Вянки для обозначения сварных швов приведены в табл. 1.2, а ГОСТы на основные типы и конструктивные элементы швов сварных соединений — в табл. 1.3. В структуре условного обозначения шва могут применяться только вспомогательные знаки 3 и 6. Обозначение стандарта можно выносить в технические условия на чертеже. Ручная дуговая сварка буквенного обозначения не имеет. Способ сварки можно не указывать. При меры условных обозначений швов сварных соединений взяты из ГОСТ 2.312—72 (приложение 1) и представлены в табл. 1.4.


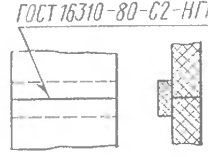
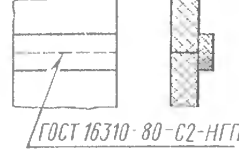

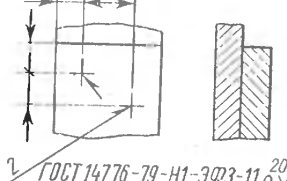

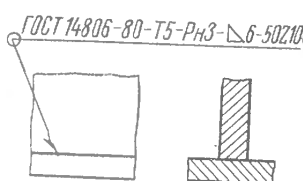
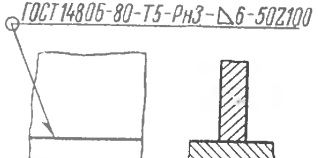
При наличии на чертеже одинаковых швов у одного из изображений наносит обозначение и порядковый номер шва (на выносной линии), а от изображений остальных одинаковых швов проводят линии-выноски с полками, над (под) которыми ставят порядковый номер шва, например № 1 (рис. 1.13). На линии-выноске, имеющей полку с нанесенным обозначением, допускается указывать количество одинаковых швов.

#### 1.4. Примеры условных обозначений стандартных швов сварных соединений

Характеристика шва	Форма поперечного сечения шва	Условное обозначение шва, изображенного на чертеже	
		с лицевой стороны	с оборотной стороны
<p>Шов стыкового соединения с криволинейным скосом одной кромки, двусторонний, выполняемый дуговой ручной сваркой при монтаже изделия. Усиление спято с обеих сторон. Шероховатость поверхностей шва: с лицевой стороны <math>5 \checkmark</math></p> <p>с оборотной стороны <math>20 \checkmark</math></p>		<p>ГОСТ 5264-80-С9</p>	<p>ГОСТ 5264-80-С9</p>
<p>Шов углового соединения без скоса кромок, двусторонний, выполняемый автоматической сваркой под флюсом с ручной подваркой по замкнутой линии</p>		<p>ГОСТ 11533-75-У11-Ар</p>	<p>ГОСТ 11533-75-У11-Ар</p>



Характеристика шва	Форма поперечного сечения шва	Условное обозначение шва, изображенного на чертеже	
		с лицевой стороны	с оборотной стороны
Шов углового соединения со скосом кромок, выполняемый электрошлаковой сваркой проволочным электродом. Катет шва — 22 мм		ГОСТ 15164-78-У2-ШЭ-Δ22 	ГОСТ 15164-78-У2-ШЭ-Δ22 
Одиночные точки нахлесточного соединения, выполняемого контактной точечной электросваркой. Расчетный диаметр точки — 5 мм		 ГОСТ 15878-79-Н1-Км-5	 ГОСТ 15878-79-Н1-Км-5
Прерывистый шов нахлесточного соединения, выполняемый контактной роликовой электросваркой. Ширина роликового шва — 6 мм; длина провариваемого участка — 50 мм; шаг — 100 мм		 ГОСТ 15878-79-Н6-Кр-6x50/100	 ГОСТ 15878-79-Н6-Кр-6x50/100
Шов нахлесточного соединения без скоса кромок, односторонний, выполняемый дуговой механизированной сваркой в защитных газах плавящимся электродом. Шов — по несамкнутой линии; катет шва — 5 мм		ГОСТ 14806-80-Н1-Δ5 	ГОСТ 14806-80-Н1-Δ5 
Шов электрозаклепочный нахлесточного соединения, выполняемый аргодуговой сваркой плавящимся электродом. Диаметр электрозаклепки — 9 мм; шаг — 100 мм; расположение электрозаклепок — шахматное; усиление снято; шероховатость обработанной поверхности $\sqrt{10}$		ГОСТ 14776-79-Н1-ЭПлЗ-9Z100 $\sqrt{10}$ 	 ГОСТ 14776-79-Н1-ЭПлЗ-9Z100 $\sqrt{10}$

Характеристика шва	Форма поперечного сечения шва	Условное обозначение шва, изображенного на чертеже	
		с лицевой стороны	с оборотной стороны
Шов стыкового соединения без скоса кромок, односторонний, на остающейся подкладке, выполняемый сваркой нагретым газом с присадкой			
Одиночные электрозакленки нахлесточного соединения, выполняемые дуговой сваркой под флюсом. Диаметр электрозакленки — 11 мм; усиление снято; шероховатость обработанной поверхности $20\sqrt{\quad}$			—
Шов таврового соединения без скоса кромок, двусторонний, прерывистый, с шахматным расположением, выполняемый дуговой ручной сваркой в защитных газах неплавящимся металлическим электродом по замкнутой линии. Катет шва — 6 мм; длина провариваемого участка — 50 мм; шаг — 100 мм			

## 2. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ДУГА

### 2.1. Основные сведения о дуге

Дугой называется длительный электрический разряд между двумя электродами в ионизированной смеси газов и паров, характеризующийся высокой плотностью тока и малым напряжением. Дуга состоит из трех основных частей — анодной 6 и катодной 8 областей и столба 7 (рис. 2.1). В процессе горения дуги на поверхности электрода образуются активные пятна, через которые проходит весь ток дуги. Активное пятно, находящееся на катоде, называется *катодным*, находящееся на аноде, — *анодным*.

Под электрическим разрядом понимают прохождение тока через газовую среду. Различают дуговую, искровую, коронный и тлеющую электрические разряды. При сварке используются *дуговой* разряд, представляющий собой устойчивый электрический разряд в ионизированной атмосфере газа и паров металла. При недостаточной мощности источника тока происходит *искровой* — кратковременный электрический разряд. *Коронный* разряд образуется в сильно неоднородных электрических полях и проявляется в виде интенсивного свечения ионизированного газа. *Тлеющий* разряд возникает при низких давлениях газа (например, в лампах дневного света).

Образование дуги начинается с ее зажигания, которое может осуществляться одним из двух способов: 1) электрод приближают к заготовке на расстояние 3...6 мм и в сварочную цепь на короткое время подключают источник высокочастотного переменного тока высокого напряжения (осциллятор); после зажигания дуги цепи переключают на основной источник питания; 2) зажди-

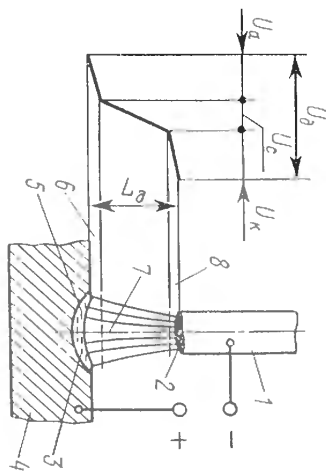


Рис. 2.1. Электрическая дуга прямого действия:

- 1 — электрод, 2, 5 — катодное и анодное пятна, 3 — сварочная ванна, 4 — заготовка, 6, 8 — анодная и катодная области, 7 — столб дуги;  $U_a$  — анодное напряжение,  $U_k$  — катодное напряжение,  $U_d$  — напряжение дуги,  $U_e$  — напряжение столба,  $L_d$  — длина дуги

Ганне дуги осушествляется в три этапа: короткое замыкание электрода на заготовку; отвод электрода на 3...6 мм; возникновение устойчивого электрического разряда. Второй способ является основным, а первый применяется только при сварке неплавящимся электродом.

При коротком замыкании (рис. 2.2, а) плотность тока в точках контакта достигает больших значений и под действием выделяющейся теплоты металл в этих точках «мгновенно» расплавляется, образуя жидкую

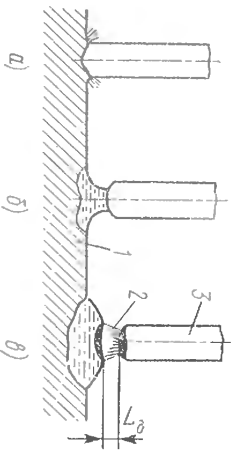


Рис. 2.2. Схема образования дуги:

а — короткое замыкание, б — образование перемычки (шейки), в — возникновение дуги; 1 — металл, 2 — электрическая дуга, 3 — электрод,  $L_d$  — длина дуги (расстояние от торца электрода до поверхности сварочной ванны)

Источником электронов для дугового разряда является металл катода. Нагретый до температуры  $\approx 2400^\circ\text{C}$ . Под действием электрического поля начинается эмиссия электронов в столб дуги, где они, ионизируя нейтральные атомы, делают его электропроводным. Затраты энергии на эмиссию электронов составляют  $\sim 36\%$  от всей затраченной энергии. Падение напряжения  $U_k$  в катодной области достигает 10...16 В.

Столб дуги представляет собой плазму, нагретую до 6000...8000 $^\circ\text{C}$  и состоящую из смеси электронов, нейтральных атомов, положительных и отрицательных ионов. Количество энергии, теряемой в столбе дуги на направленные перемещение электронов и ионизацию газов,  $\approx 21\%$ . Падение напряжения  $U_c$  в столбе дуги составляет 2...12 В и возрастает с увеличением длины  $L_d$  дуги.

Анодное пятно является местом входа и нейтрализации на поверхности заготовки свободных электронов. Температура в анодной области, составляющая  $\sim 2600^\circ\text{C}$ , несколько выше, чем в катодной, что объясняется большим количеством выделяемой энергии ( $\sim 43\%$ ) в результате соударений свободных электронов с поверхностью анодного пятна. Так как поверхность анодного

пятна вогнута и имеет большую площадь, чем катодного, падение анодного напряжения  $U_a$  относительно небольшое и составляет 6...8 В.

Общее падение напряжения на электрической дуге представляется собой сумму падений напряжений в различных областях:

$$U_d = U_k + U_c + U_a, \quad (2.1)$$

или

$$U_d = (10...16) + (2...12) + (6...8) = 18...36 \text{ В}. \quad (2.2)$$

Катодное и анодное падение напряжения зависят от материала заготовки и электрода, свойств газовой среды и др., но для каждого данного процесса они вполне определены. Падение напряжения в столбе дуги зависит от длины  $L_d$  дуги: чем короче дуга, тем оно ниже. Следовательно, общее падение напряжения

$$U_d = a + bL_d, \quad (2.3)$$

где  $a$  — постоянный коэффициент, равный  $U_a + U_k$ ;  $b$  — падение напряжения на 1 мм длины дуги.

При сварке неплавящимся электродом дуга горит устойчиво при  $U_d = 30...35$  В, плавящимся — при  $U_d = 18...28$  В.

Для возбуждения дуги при сварке металлическим электродом необходимо напряжение 30...50 В, называемое на пря ж е н и е м зажигания.

Под действием теплоты сварочной дуги электрод плавится, а расплавленный металл в виде капель переходит в сварочную ванну на поверхности заготовки (рис. 2.3, а). За 1 с от электрода

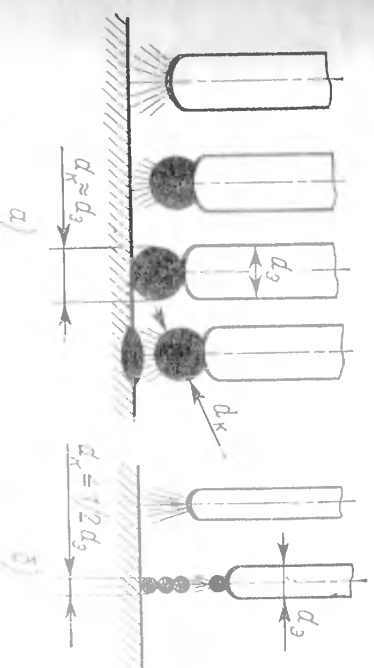


Рис. 2.3. Схемы крупнокапельного (а) и струйного (б) переноса электрода на заготовку при короткой дуге:

$d_k$  — диаметр капли,  $d_3$  — диаметр электрода

отделяется 20...50 капель металла примерно одинакового размера. Отрыв и перенос капель в дуге происходит под действием электромагнитных сил сил тяжести, сил поверхностного натяжения и газовых потоков. При больших плотностях тока, например при сварке в защитных газах, капельный перенос металла может переходить в струйный (рис. 2.3, б), что способствует улучшению условий формирования шва.

## 2.2. Влияние рода тока на дугу. Статическая вольт-амперная характеристика дуги

В зависимости от рода тока различают дугу постоянного и переменного токов. Дуга постоянного тока может быть прямой и обратной полярности. При прямой полярности «плюс» источника тока подключают к заготовке, а «минус» — к электроду, а при обратной — наоборот. В случае использования постоянного тока прямой полярности (см. рис. 2.1) электрод плавится медленнее, чем заготовка (так как в нем выделяется меньше теплоты), и, кроме того, устойчивее горит дуга между неплавящимся электродом и заготовкой. Ток обратной полярности применяют при необходимости выделения меньшего количества теплоты в свариваемых заготовках и большего — в электроде, например при сварке металлических конструкций покрытыми электродами УОНИ-13, ДСК-50, ОЗС-2 и др., при сварке тонких заготовок из легкоплавких сплавов, легированных, высокоуглеродистых и специальных сталей, чувствительных к перегреву, некоторых цветных металлов и т. д.

Если сила постоянного тока, используемого при сварочных работах, превышает 400 А, на дугу оказывает действие магнит-

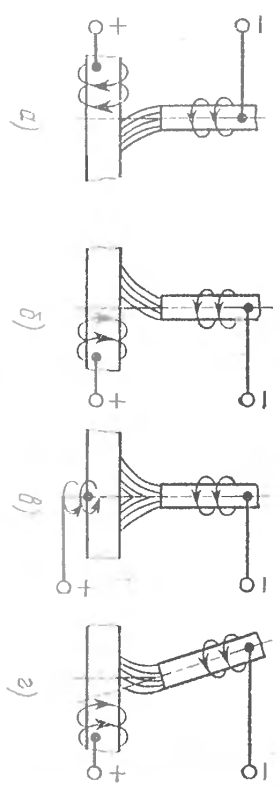


Рис. 2.4. Схемы отклонения дуги постоянного тока под действием магнитного поля (а, б), уменьшения отклоняющего действия магнитного поля путем изменения места токоподвода (в) и наклона электрода (z)

ное действие — дуга отклоняется от своей оси (рис. 2.4, а, б), что вызывает затухания при сварке. Причиной образования магнитного дуга является неравномерное расположение магнитного поля относительно дуги. Уменьшить это отрицательное воздействие можно различными способами, например подлинением токопровода сварочной цепи в непосредственной близости к месту сварки (рис. 2.4, в), наклоном электрода в сторону отклонения дуги (рис. 2.4, z), уменьшением длины дуги.

Сварка на переменном токе существенно отличается от сварки на постоянном. При частоте тока 50 Гц анодное и катодное пятна меняются местами 100 раз в секунду, при этом ионизация дугового промежутка нарушается и дуга горит менее устойчиво. Для повышения устойчивости горения дуги применяют предназначенные для работы на переменном токе электроды, в покрытие которых вводятся элементы с низким потенциалом ионизации (калий, натрий, кальций), облегчающие возбуждение дуги.

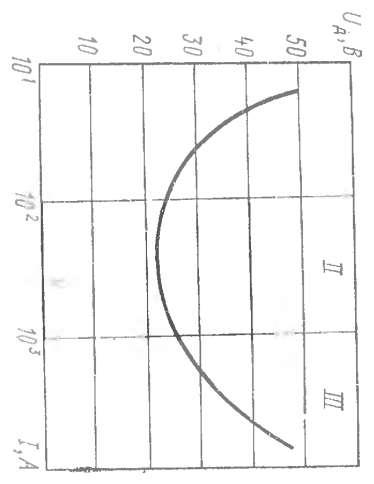


Рис. 2.5. Статическая вольт-амперная характеристика дуги

Малых значенных силы тока (участок I) дуга имеет падющую статическую характеристику. Падение напряжения с возрастанием силы тока объясняется увеличением катодного пятна, поперечного сечения дуги и, следовательно, ее проводимости. На этом участке дуга неустойчива.

При средних значенных силы тока (ручная и автоматическая сварка под флюсом) напряжение на дуге не зависит от силы тока (участок II), так как сечение столба дуги увеличивается пропорционально силе тока. На участке II характеристика называется жесткой и может быть выражена уравнением (2.3), из которого следует, что напряжение на дуге зависит только от длины дуги.

При большой силе тока (автоматическая сварка под флюсом и сварка в защитных газах) дуга имеет воорастающую характер-

рестнику (участок III). Увеличение напряжения дуги объясняется тем, что плотность тока возрастает с повышением его силы, так как сечение столба уже не может увеличиваться, и проводимость дуги остается постоянной.

### 2.3. Типы сварочных дуг

В зависимости от схемы подвода тока, рода тока, числа электродов и других признаков различают сварочные дуги прямого действия; косвенного действия; прямого действия с двумя электродами при трехфазном токе; сжатые.

Дугой при прямом действии (рис. 2.6, а) называется дуговой разряд между электродом и заготовкой. В случае примене-

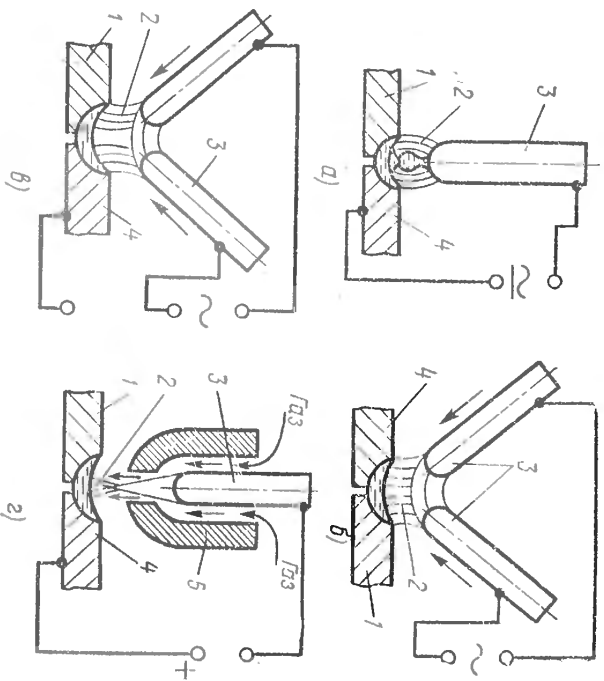


Рис. 2.6. Типы дуг:

а — прямого действия, б — косвенного действия, в — с двумя электродами при трехфазном токе, г — сжатая; 1, 2 — свариваемые заготовки, 3 — электроды, 4 — электроды, 5 — уголки

ния неплавящегося электрода соединенные выподняют расплавляем основному и присадочного металлов. При использовании плавящегося электрода сварочная ванна пополняется металлом электрода.

Дуга косвенного действия (рис. 2.6, б) представляет собой дуговой разряд между двумя неплавящимися или плавящи-

мся электродами, а свариваемый металл не включен в электрическую цепь.

Дуга с двумя электродами при трехфазном токе (рис. 2.6, в) — это сочетание дуг прямого и косвенного действия: две дуги электрически связывают электроды с заготовкой, а третья горит между двумя электродами, изолированными друг от друга.

Сжатая дуга (рис. 2.6, г) — это дуга прямого или косвенного действия с неплавящимся вольфрамовым электродом, сжатая кольцевой струей газа. Сжатую дугу получают в специальных горелках — плазматронах (см. гл. 12) и применяют для резки и сварки тугоплавких и других металлов.

### 2.4. Основные показатели сварочной дуги

Полную тепловую мощность  $Q$  (Дж/с) дуги можно определить, пользуясь выражением

$$Q = K_m I_{св} U_d, \quad (2.4)$$

где  $K_m$  — коэффициент мощности (для постоянного тока  $K=1$ ; для переменного тока  $K=0,8..0,95$ );  $I_{св}$  — сила тока в цепи, А;  $U_d$  — напряжение дуги, В.

Выделяющаяся тепловая энергия расходуется на нагрев и плавление электродного и основного металлов, а также электродного покрытия или флюса, часть энергии рассеивается в окружающей среде (табл. 2.1).

Эффективной тепловой мощностью  $g$  (Дж/с) дуги называется количество теплоты, сообщенное заготовке дугой и расходуемое на нагрев и плавление электродного и присадочного металлов в единицу времени:

$$g = K_m I_{св} U_d \eta, \quad (2.5)$$

где  $\eta$  — эффективный КПД процесса нагрева металла дугой, который в зависимости от вида сварки имеет следующие значения: сварка угольными электродами и электродами с тонким покрытием —  $0,5..0,65$ ; сварка электродами с толстым покрытием —  $0,7..0,85$ ; сварка неплавящимися электродами в защитных газах —  $0,5..0,6$ ; сварка под флюсом —  $0,8..0,95$ ; электрошлаковая сварка под флюсом —  $0,7..0,85$ .

Потонной энергией  $g_n$  (Дж/с) сварки называется количество теплоты, сообщенное дугой заготовке на единицу длины шва:

$$g_n = \frac{g}{v_{св}} = \frac{K_m I_{св} U_d \eta}{v_{св}}, \quad (2.6)$$

где  $v_{св}$  — скорость сварки (см. далее).

## 2.1. Тепловой баланс сварки плавлением

Показатели	Распределение тепловой энергии (%) при сварке		
	покрытым электро-дом	под флюсом	электро-шлаковой
Эффективная тепловая мощность, в том числе:	75	81	84
переносимая с каплями расплавленного металла	25	27	—
поглощаемая основным металлом	50	54	58
расходуемая на плавление электрода	—	—	26
Потери:			
в окружающую среду	20	—	1
на разбрызгивание	5	1	—
на плавление флюса	—	18	—
на нагрев ползунов	—	—	15

Количество расплавленного  $G_p$  ( $\Gamma$ ) или наплавленного  $G_n$  ( $\Gamma$ ) в единицу времени электродного металла определяют, пользуясь приведенными ниже уравнениями:

$$G_p = \alpha_p I_{св} t_{св}, \quad (2.7)$$

где  $\alpha_p$  — коэффициент расплавления,  $\Gamma/(A \cdot ч)$ ;  $t_{св}$  — время горения дуги, ч. Коэффициент расплавления называется величиной, соответствующая массе ( $\Gamma$ ) электродного металла, расплавленного сварочным током силой  $I$  А за  $1$  ч горения дуги.

При плавлении часть электродного металла теряется на разбрызгивание, испарение и окисление, поэтому масса наплавленного металла меньше, чем расплавленного. Для оценки количества наплавленного металла вводится коэффициент влияния род и  $\alpha_n$  [ $\Gamma/(A \cdot ч)$ ], на значение которого оказывают влияние род и поллярность тока, марка покрытия, состав электродной проволоки, а также пространственное положение, в котором выполняется сварка:

$$\alpha_n = G_n / I_{св} t, \quad (2.8)$$

где  $G_n$  — количество металла, ( $\Gamma$ ), наплавленного за время  $t_{св}$  током силой  $I_{св}$  Т. е.

$$G_n = \alpha_n I_{св} t_{св}. \quad (2.9)$$

В зависимости от вида сварки коэффициент наплавки  $\alpha_n$  имеет следующие значения,  $\Gamma/(A \cdot ч)$ : ручная дуговая сварка по-

крытыми электродами — 8...12; автоматическая сварка под флюсом — 12...16; электрошлаковая сварка — 18...22.

Количество наплавленного металла можно также определить, пользуясь выражением

$$G_n = S \gamma l, \quad (2.10)$$

где  $S$  — площадь сечения шва,  $см^2$ ;  $\gamma$  — плотность наплавленного металла,  $\Gamma/см^3$ ;  $l$  — длина шва,  $см$ .

Производительность  $G$  дуговой сварки определяется количеством ( $\Gamma$ ) металла, наплавленного за  $1$  ч:

$$G = \alpha_n I_{св}. \quad (2.11)$$

Если сила тока превышает оптимальное значение, происходит перегрев электрода, что, в свою очередь, резко ухудшает качество сварных швов. Оптимальную силу тока для ручной дуговой сварки можно определить по следующей приближенной формуле:

$$I_{св} \approx (20 + 6d) d, \quad (2.12)$$

где  $d$  — диаметр электрода,  $мм$ .

Коэффициент потерь  $\psi$  (%), соответствующий количеству металла, теремого на утар, испарение, разбрызгивание и др., зависит от состава проволоки, типа покрытия, режима сварки и т. д.; при увеличении плотности тока он возрастает. Числовое значение коэффициента потерь определяют, пользуясь выражением

$$\psi = \frac{\alpha_p - \alpha_n}{\alpha_p} \cdot 100. \quad (2.13)$$

В зависимости от вида сварки коэффициент потерь  $\psi$  имеет следующие значения (%): сварка электродами с тонким покрытием — 10...20; сварка электродами с толстым покрытием — 5...10; автоматическая сварка — 1...5.

Значения коэффициентов  $\alpha_p$ ,  $\alpha_n$  и  $\psi$  для ручной дуговой сварки покрытыми электродами приведены в табл. 2.2.

Скоростью сварки называется отношение длины  $l$  шва к времени  $t_{св}$  горения дуги, т. е.

$$v_{св} = l / t_{св}. \quad (2.14)$$

Выражения для определения  $l$  и  $t_{св}$  можно вывести из формул (2.10) и (2.9). Подставив их в уравнение (2.14), получим, что

$$v_{св} = I_{св} \alpha_n / (\psi S). \quad (2.15)$$

**Пример.** Определить производительность и скорость ручной дуговой сварки при выполнении стыкового шва электродами  $\approx 4$  мм марки УОНИ-13/45; площадь поперечного сечения шва составляет  $0,3$   $см^2$ .

1. По формуле (2.12) определяем оптимальную силу тока:  $I_{св} \approx (20 + 6 \cdot 4) \cdot 4 = 176$  А. Принимаем  $I_{св} = 180$  А.

## 2.2. Значения коэффициентов растапливания, наплавки и потерь

Марка электрода	Род тока	$\alpha_p, \text{ г}/(\text{А}\cdot\text{ч})$	$\alpha_n, \text{ г}/(\text{А}\cdot\text{ч})$	$\psi, \%$
УОНИ-13/45	Постоянный	9...10	8...9	10...15
			8,5...9,5	3...10
УОНИ-13/55				
ОЭС-4				10...15
МР-3		8...9	7,5...8	12...15
АНО-1	Пере- менный	10...11	14...17	—
АНО-4			8,5...9,5	10...15
АНО-5			10,5...11,5	—
АНО-6		9...10	8...9	10...15

2. По табл. 2.2 для электродов марки УОНИ-13/45 коэффициент наплавки должен составлять 8...9 г/(А·ч). Принимаем  $\alpha_n = 8,5 \text{ г}/(\text{А}\cdot\text{ч})$ .

3. По формуле (2.11) определяем пронавозительность сварки:  $G = 8,5 \cdot 180 = 1530 \text{ г}/(\text{А}\cdot\text{ч})$ .

4. По формуле (2.15) определяем скорость сварки:  $v_{св} = (180 \cdot 8,5) / (17,85 \cdot 0,3) = 649,7 \approx 6,5 \text{ м}/\text{ч}$ .

## 3. ОСНОВЫ ТЕОРИИ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

### 3.1. Оценка эффективности сварочных процессов

Все процессы сварки металлов осуществляются за счет введения термической или механической энергии либо той и другой одновременно. Основными критериями выбора сварочного процесса для изготовления конкретного изделия являются: техническая возможность применения процесса; качество получаемого соединения; энергетическая и экономическая эффективность процесса. Чтобы найти оптимальное решение, необходимо проанализировать только последние критерии, так как выполнение первых двух является обязательным. Для сравнительной оценки различных видов сварки целесообразно применять удельные показатели эффективности. Подсчет удельных затрат энергии, труда или средств на единицу площади соединения дает возможность по-лучить универсальные критерии эффективности любого способа, которым соединение выполняется.

Энергетическая эффективность определяется общими затратами энергии в расчете на единицу площади соединения.

Общая удельная энергия ( $\text{Дж}/\text{мм}^2$ )

$$\epsilon_0 = \epsilon_{св} + \epsilon_{стп}, \quad (3.1)$$

где  $\epsilon_{св}$  — расход энергии на сварку,  $\text{Дж}/\text{мм}^2$ ;  $\epsilon_{стп}$  — расход энергии на вспомогательные операции,  $\text{Дж}/\text{мм}^2$ .

Удельная энергия, расходуемая на сварку,

$$\epsilon_{св} = Q/v_{св} \delta, \quad (3.2)$$

где  $Q$  — полная тепловая мощность,  $\text{Дж}/\text{с}$ ;  $v_{св}$  — скорость сварки,  $\text{мм}/\text{с}$ ;  $\delta$  — толщина свариваемого металла,  $\text{мм}$ .

Удельная энергия, введенная в заготовку ( $\text{Дж}/\text{мм}^2$ ),

$$\epsilon_g = \epsilon_{св} \eta, \quad (3.3)$$

где  $\eta$  — эффективный КПД процесса нагрева.

Экономическая эффективность оценивается пронавозительностью процесса и удельными затратами на 1 м длины шва или на 1 кг наплавленного металла.

Сравнение эффективности различных сварочных процессов показывает, что процессы сварки плавлением более энергоемки, чем механические и термомеханические. Например, для выполнения стыкового соединения стальных стержней  $\varnothing 20 \text{ мм}$  дуговой сваркой требуется удельная энергия, равная  $1800 \text{ Дж}/\text{мм}^2$ , контактной стыковой сваркой оплавлением — около  $400 \text{ Дж}/\text{мм}^2$ , сваркой трением — примерно  $130 \text{ Дж}/\text{мм}^2$ . Диаграмма затрат удельной энергии при различных способах сварки плавлением приведена на рис. 3.1.

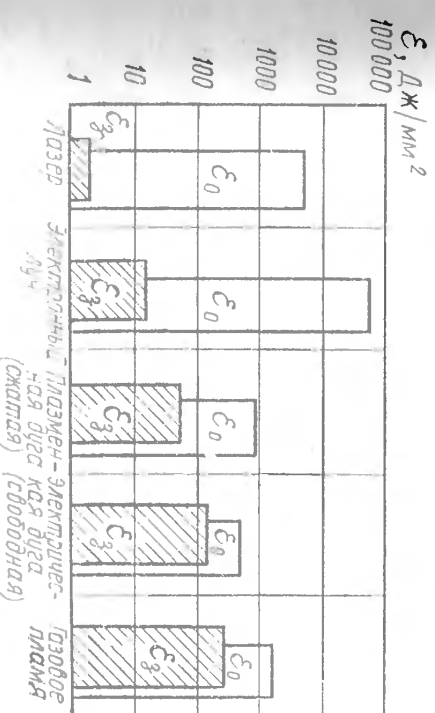


Рис. 3.1. Диаграмма затрат удельной энергии ( $\epsilon_g$  и  $\epsilon_0$ ) при различных способах однопроходной сварки стали

## 3.2. Источники энергии для дуговой сварки плавлением

Схематически сварку плавлением можно представить следующим образом. Заготовки, кромки которых разделаны соответствующим образом (рис. 3.2), с требуемым зазором собираются

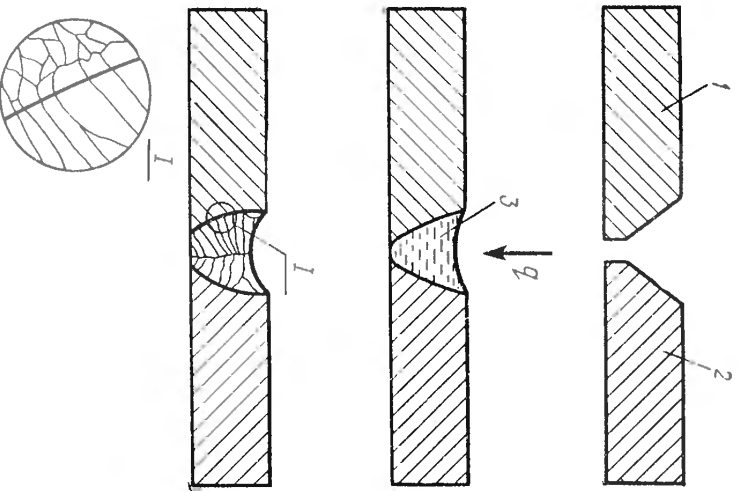


Рис. 3.2. Схема образования соседних при сварке плавлением: 1, 2 — свариваемые заготовки, 3 — ванна жидкого металла;  $l$  — макроструктура зерен на границе шва

под сварку. Под воздействием теплового потока  $q$  кромки заготовок и присадочный пруток (на рисунке не показан) расплавляются и формируют общую сварочную ванну. После прекращения теплового воздействия происходит охлаждение и кристаллизация металла сварочной ванны с образованием литой дендритной структуры шва.

Источники энергии для сварки обычно характеризуются эффектививной тепловой мощностью  $\epsilon$ , наибольшей удельной мощностью в пятне нагрева и площадью последнего. Энергетические

характеристики основных термических источников энергии для сварки и резки представлены в табл. 3.1. Их сравнение показывает, что наибольшую удельную мощность в пятне нагрева имеет лазерный луч. Она достаточна даже для резки и фрезерования

3.1. Сравнительные характеристики источников энергии для сварки

Источник энергии	Температура, °С	Наименьшая площадь пятна нагрева, см <sup>2</sup>	Наибольшая удельная мощность в пятне, кВт/см <sup>2</sup>
Кислородно-ацетиленовая пламя	3000...3500	10 <sup>-2</sup>	50
Электрическая (свободная) дуга	6000...7000	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>2</sup>
Плазменная (сжатая) дуга в газах: водород, азот	5000...8000	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>3</sup>
аргон, гелий	10000...20000		
Электронный луч	—	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>5</sup>
Лазерный луч	—	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>6</sup>

Примечание. Понятие «температура» для луча не имеет физического смысла, так как частицы имеют направленное, а не хаотичное движение.

металла. При удельной мощности свыше 10<sup>4</sup> кВт/см<sup>2</sup> сварка невозможна, так как происходит интенсивное испарение металла в зоне нагрева. В импульсных квартовых генераторах (лазерах) предусматривается возможность регулирования длительности импульса. Уменьшая продолжительность последнего, обеспечивают менее резкий подъем температуры в зоне сварки.

**Нагрев электрической дугой.** Тепловая энергия преобразуется из электроэнергетики, потребляемой дугой. Эффективная тепловая мощность дуги, определяемая по формуле (2.5), соответствует количеству теплоты, введенному в единицу времени в металл заготовки и затраченному на ее нагрев.

**Нагрев плазменной дугой.** В дуге обжатой потоком газа, концентрация тепловой энергии значительно повышается. Диапазон силы тока, при котором обеспечивается устойчивое горение дуги, достаточно широк: от 0,1...10 (микроплазменная дуга) до 1000...1500 А.



Энергия плазменной дуги передается заготовке электронами, тяжелыми частицами, вынужденными конвективными потоками и излучением столба дуги при значительном силовом воздействии на нагреваемый участок. Эффективная тепловая мощность определяется по формуле (2.5).

Эффективный КПД плазменной дуги достаточно высок, однако ниже, чем КПД электрической дуги, что связано с большей теплоотдачей через стенки сопла, а также столбом дуги в окружающем пространстве. Для массивной нагреваемой заготовки  $\eta = 0,3..0,75$ , для проволоки  $\eta = 0,1$ .

### 3.3. Металлургические процессы при дуговой сварке плавлением

**Особенности металлургии сварки.** Применение при сварке мощных высококонцентрированных и высокотемпературных источников теплоты приводит к местному расплавлению основного и присадочного металлов и образованию сварочной ванны. Нагрев основного и присадочного металлов до расплавления, их последующее охлаждение и затвердевание сопровождаются фазовыми переходами в веществе. При сварке плавлением имеет место взаимодействие между жидким и твердым металлами, газом и жидким шлаком.

Высокая температура нагрева расплавленного металла, малый объем сварочной ванны и ее перемешивание, значительная скорость процесса, интенсивный отвод теплоты в околошовную зону и окружающую атмосферу, быстрая кристаллизация сварочной ванны усложняют получение сварного шва с заданными физико-механическими свойствами, которые предопределяются химическим составом металла шва и его структурой.

Химический состав металла шва и его свойства зависят от состава и доли участия в формировании шва основного и присадочного металлов, покрытия и флюсов, степени защиты от воздуха, приемов ведения и режимов сварки. Металл шва образуется в результате перемешивания в сварочной ванне основного и присадочного металлов и реакций взаимодействия нагретого металла с газами атмосферы и защитной средой.

Одной из серьезных задач при сварке плавлением является защита сварочной ванны от вредного воздействия воздуха и предотвращение попадания в металл шва вредных веществ (влага, ржавчины, минеральных масел и других загрязнений). Высокая температура источника нагрева и объекта теплового воздействия значительно ускоряет физико-химические процессы в зоне сварки. Кислород, азот и водород переходят в атомарное состоя-

ние и более интенсивно взаимодействуют с расплавленным металлом. Кислород является наиболее вредной примесью, и его повышенное содержание в сварном шве приводит к понижению прочности, пластичности, вязкости и антикоррозионных свойств последнего.

С железом кислород образует три вида оксидов:  $FeO$ ,  $Fe_2O_3$  и  $Fe_3O_4$ . Наиболее отрицательное воздействие оказывает  $FeO$ , который хорошо растворяется в расплавленном металле шва, поэтому его порог хладноломкости — температуру, при которой металл теряет пластичность. Для швов с повышенным содержанием  $FeO$  этот порог составляет — (10..15) °С.

Азот, попадающий в зону сварки главным образом из воздуха, растворяется в большинстве конструкционных материалов и со многими элементами образует называемые нитридами соединения, снижающие пластичность и повышающие твердость металла шва.

На степень насыщения металла шва азотом оказывают влияние режимы сварки и охлаждения. С увеличением силы тока и дугового промежутка содержание азота уменьшается. Медленное охлаждение шва способствует удалению из него газообразного азота.

Водород поступает в зону сварки из атмосферной влаги, а также из влаги, содержащейся в покрытиях электродов, флюсах, ржавчине на кромках заготовок; он растворяется в больших количествах в металле. Железо, никель, кобальт, медь и некоторые другие металлы не вступают в соединение с водородом, а титан, ванадий, тантал, ниобий и другие образуют с ним химические соединения — гидриды.

Атомарный водород, растворяясь в жидком металле, может оставаться в этом состоянии до тех пор, пока температура достигает ~200 °С. В интервале температур 200..20 °С водород переходит из атомарного состояния в молекулярное, вызывая при этом значительные внутренние напряжения и, как следствие, образование флокенов — трещин, представляющих собой в изломе светлые скрученные пятна, напоминающие хлопья снега. Гидриды и флокены снижают прочность, вязкость и пластичность шва. Для защиты сварочной ванны от вредного воздействия воздуха используют флюсы, покрытые электроды, порошковую проволоку. При их расплавлении образуется шлак, который, растекаясь по поверхности металла, играет роль защитного слоя.

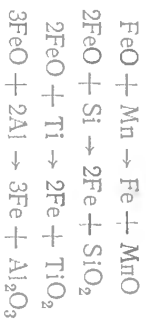
Сера попадает в сварочную ванну из флюсов либо из основного или электродного металла; соединяясь с железом, она образует сульфид железа  $FeS$ . Соединение последнего с железом при кристаллизации сварочной ванны приводит к возникновению зв-

тектики ( $\text{FeS—Fe}$ ) с температурой плавления 988 °С. Обладая малой растворимостью в жидкой стали, эвтектика группируется в колонии, располагаясь между зернами и проходящие циклы кристаллизации значительно позже основного металла шва. Под воздействием внутренних напряжений происходит образование горячих трещин.

Попавший в сварочную ванну из флюсов или диффундирующий из основного металла фосфор, растворяясь в зернах феррита, подобно оксиду железа  $\text{FeO}$ , резко повышает температуру перехода в хрупкое состояние — вызывает хладноломкость стали.

Для уменьшения содержания в шве водорода пользуются рядом практических приемов: электроды и флюсы перед сваркой тщательно прокаливают; крошки свариваемых заготовок и сварочную проволоку очищают от влаги, грязи и ржавчины; швы выполняют за минимальное число проходов, так как при наложении последующего шва предыдущий шов в момент вторичного расплавления насыщается водородом; при выполнении сварочных операций на открытой площадке обеспечивают защиту зоны сварки от атмосферных осадков; сварку ответственных конструкций выполняют только при положительных температурах.

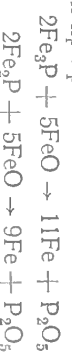
**Раскисление, рафинирование и легирование сварочной ванны.** Защита сварочной ванны шлаками не обеспечивает полного предохранения металла от насыщения кислородом и образования оксидов. Раскисление металла сварочной ванны производится с целью удаления из нее химическим путем главным образом оксида железа  $\text{FeO}$ . Осуществляют операцию с помощью марганца, кремния, титана либо алюминия, которые специально вводят в состав флюсов или покрытий электродов. Раскислителями являются и чистые металлы, и ферросплавы. В результате раскисления образуются соединения ( $\text{MnO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), нерастворимые в расплавленном металле шва и переходящие в шлак:



Операцию по удалению сульфидов, фосфидов, нитридов и водорода, осуществляемую также химическим путем, называют рафинированием. Для уменьшения в шве количества серы в покрытии и флюсы вводят марганец и известь  $\text{CaO}$ , образующие прочные практически нерастворимые в жидком металле сульфиды, полностью переходящие в шлак:



Фосфор присутствует в стали в виде фосфидов железа  $\text{Fe}_3\text{P}$  и  $\text{Fe}_2\text{P}$ , удаляемых при раскислении:



Неметаллические включения удаляют из металла шва флюсо-растворителями, специально вводимыми в состав флюсов, покрытий электродов и сердечников порошковой проволоки. Продукты их взаимодействия с включениями образуют легкоплавкую механическую смесь, имеющую невысокую плотность. Наиболее часто в качестве флюсо-растворителя используют плавиковый шпат  $\text{CaF}_2$ , который одновременно позволяет уменьшить содержание атомарных азота и водорода, растворенных в металле сварочной ванны.

Атомарный фтор, выделяющийся из фтористого кальция  $\text{CaF}_2$ , при высокой температуре вступает в химическую реакцию с атомарным азотом или водородом, образуя фтористый азот (фтористый водород), переходящий из металла в шлак или атмосферу.

Легированием называется введение специальных, так называемых легирующих элементов в основной металл с целью получения заданных служебных свойств последнего. При легировании металла сварочной ванны в электродный или присадочный металл вводят хром, никель, ванадий, молибден, вольфрам, титан, бор и др.

**Кристаллизация металла при сварке.** Различают первичную и вторичную кристаллизацию. Переход металла сварочной ванны из жидкого состояния в твердое называется первичной кристаллизацией. Первичная кристаллизация металла сварочной ванны начинается от частично оплавленных зерен основного или ранее наплавленного металла и продолжается по нормали от линии расплавления (рис. 3.3).

Вторичная кристаллизация происходит после завершения первичной и характеризуется сменой кристаллических решеток (полиморфные превращения) и изменением структуры.

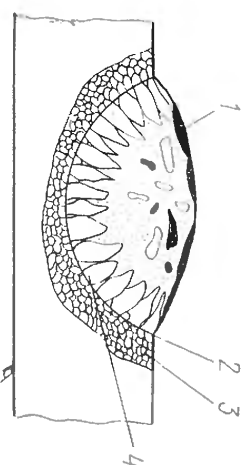


Рис. 3.3. Схема кристаллизации металла в сварочной ванне.

1 — неметаллические шлаковые частицы, 2 — зона плавления, 3 — зона термического влияния, 4 — столбчатые кристаллы шва

Вторичная кристаллизация характерна только для металлов, испытывающих полиморфные превращения (железо, кобальт, титан, марганец и др.). Решающее влияние на характер протекания полиморфных превращений оказывает скорость охлаждения. Чем тоньше слой шлакового покрытия и ниже температура окружающей среды, тем выше скорость охлаждения и вероятность образования внутренних напряжений и трещин.

**Строение сварного соединения.** Соединение, выполненное сваркой плавлением, состоит из четырех зон: наплавленного металла; сплавления; термического влияния; основного металла (рис. 3.4).

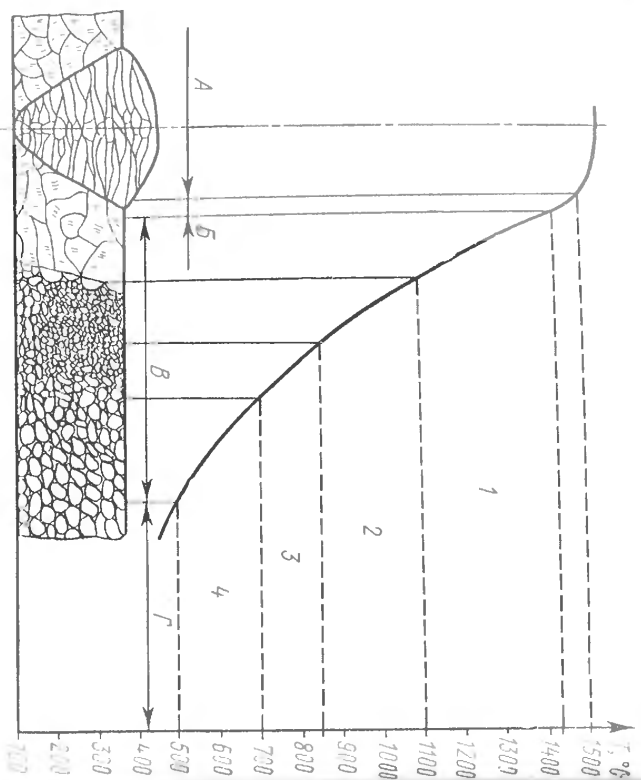


Рис. 3.4. Схема строения сварного соединения при дуговой сварке стали:

А — зона наплавленного металла, Б — зона сплавления, В — зона термического влияния, Г — зона основного металла

Зона наплавленного металла представляет собой перемешанный в жидком состоянии с основным металлом материал электродов или присадочной проволоки.

Зона сплавления — это слой основного металла толщиной 0,1...0,4 мм с частично оплавленными зернами. Перегрев металла в этой зоне приводит к образованию игольчатой струк-

туры, отличающейся хрупкостью и пониженной прочностью, и оказывает значительное влияние на свойства соединения в целом.

Зона термического влияния состоит из четырех участков (1...4), различающихся структурой. Участок *перегрева* 1 — область основного металла, нагретого до 1100...1450 °С и имеющего крупнозернистую структуру с площадью поверхности зерен, до 12 раз превышающую площадь исходных зерен. Перегрев снижает механические свойства металла, главным образом пластичность и вязкость. Разрушение сварного соединения обычно происходит по этому участку, ширина которого достигает 3...4 мм.

Участок *нормализации* 2 — область основного металла, нагретого до 900...1100 °С. Благодаря мелкозернистой структуре механические свойства металла на этом участке выше по сравнению с основным металлом. Ширина участка составляет 1...4 мм.

Участок *неполной рекристаллизации* 3 — область основного металла, нагретого до 725...900 °С; состоит из мелких и крупных зерен. Неравномерное кристаллическое строение приводит к снижению механических свойств.

Участок *рекристаллизации* 4 — область основного металла, нагретого до 450...725 °С. При этих температурах происходит восстановление формы зерен, деформированных в результате прядушето механического воздействия (при прокатке, штамповке и др.). Ширина зоны термического влияния зависит от удельной энергии  $\epsilon_z$ , введенной в заготовку, и вида сварки (например, при ручной дуговой сварке качественными электродами она составляет 5...7 мм).

Зона основного металла условно начинается от границы с температурой 450 °С. Структура при температурах ниже 450 °С не отличается от структуры исходного металла, однако сталь, нагретая до температур 200...400 °С, обладает худшими механическими свойствами, что объясняется выпадением по границам зерен оксидов и нитридов, ослабляющим связь между зернами. Это явление, вызывающее понижение пластичности и ударной вязкости при одновременном повышении прочности металла, называется синеломкостью (характерны синие цвета пожеллости).

**Свариваемость металлов и сплавов.** Под свариваемостью понимают способность материалов образовывать соединения, механические и другие эксплуатационные свойства которых находятся на уровне основного материала. Свариваемость может быть оценена конкретными количественными характеристиками. В зависимости от назначения и условий эксплуатации конструк-

нии определяют: склонность к образованию горячих и холодных трещин в металле шва и зоне термического влияния; склонность к образованию пор; механические свойства; коррозионную стойкость; структуру; химический состав и другие свойства. Свариваемость определяется не только свойствами материала — она зависит от способа и режима сварки, состава сварочных материалов, конструктивного оформления сварного узла, условий эксплуатации изделия. Различают физическую, технологическую и эксплуатационную свариваемость.

*Физическая* свариваемость определяется процессами, происходящими на границе соприкосновения свариваемых заготовок при различных физико-химических методах соединения металлов (физический контакт, химическое взаимодействие, рекристаллизация и др.).

Под *технологической* свариваемостью понимают возможность получения сварного соединения определенным способом сварки. Технологическая свариваемость влияет на выбор параметров режима сварки и технологическую последовательность выполнения работ.

Под *эксплуатационной* свариваемостью понимают условия доступного применения материалов в сварных конструкциях и сварных изделиях.

**Трещины в сварных соединениях.** В зависимости от температуры, при которой они образуются, трещины условно подразделяют на горячие и холодные. Горячие трещины в сталях возникают при температуре, превышающей 1000 °С, а холодные — при более низкой. Трещины являются самым серьезным дефектом сварного соединения, как правило, не подлежащим устранению.

Горячие трещины — это хрупкие межкристаллические разрушения металла шва и околошовной зоны, возникающие в твердо-жидком состоянии в процессе кристаллизации, а также при высоких температурах в твердом состоянии. По временным представлениям горячие трещины вызываются действием двух факторов: наличием жидких прослоек между зернами в процессе кристаллизации и деформациями укорочения. При кристаллизации жидкий металл шва последовательно переходит в жидкое, твердо-жидкое и твердое состояния.

В интервале температур плавления и полного затвердевания происходит миграция примесей и загрязнений в межзеренные пространства. Наличие между зернами жидкой фазы, примесей и загрязнений снижает деформационную способность шва и околошовной зоны. Неравномерность линейной и объемной усадки шва и основного металла при охлаждении приводит к возникновению внутренних напряжений, являющихся причиной появления

микро- и макроскопических трещин как вдоль, так и поперек шва (рис. 3.5).

Причинами образования горячих трещин при сварке являются следующие: большое количество вредных примесей (особенно серы и фосфора) в металле свариваемых заготовок; наличие в

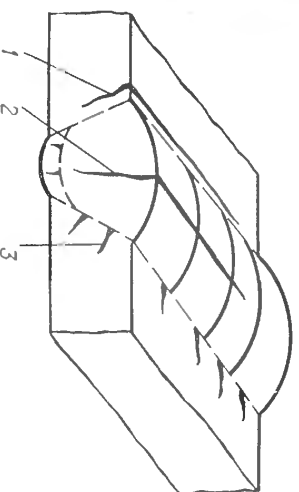


Рис. 3.5. Топография горячих трещин в сварных соединениях:

1, 2 — продольные в зоне термического влияния и шве, 3 — поперечные в зоне термического влияния

металле шва элементов, образующих химические соединения с низкой температурой затвердевания (хром, молибден, ванадий, вольфрам, титан), нарушающие связь между зернами; жесткое закрепление свариваемых заготовок или повышенная жесткость самого сварного узла, затрудняющие перемещение заготовок при остывании.

Холодные трещины — это локальные меж- или транскристаллические разрушения сварных соединений, образующиеся в металле при остывании до относительно невысоких температур (как правило, ниже 200 °С) или при выживании готового изделия. Наиболее часто они поражают околошовную зону и режме — металл шва.

Для предупреждения образования холодных трещин применяют следующие технологические приемы: прокачивание флюсов и электродов перед сваркой; предварительный подогрев свариваемых заготовок до 250...450 °С; ведение процесса сварки в режме с оптимальными параметрами; наложение швов в правильной последовательности; медленное охлаждение изделия после сварки; проведение непосредственно после сварки смягчающего отжига для снятия остаточных сварочных напряжений.

Термическим способом широко пользуются для снятия остаточных сварочных напряжений в изделиях из углеродистых и ле-

### 3.3. Температура снятия напряжений в стальных сосудах, работающих под давлением, после сварки плавлением

Сталь	Температура снятия напряжений, °С
Низкоуглеродистая	580...650
Углеродистая с марганцем	600...650
Углеродистая с 0,5% молибдена	620...660
Легированная:	
с 1% хрома и 0,5% молибдена	620...660
с 2,25% хрома и 1% молибдена	660...700
с 5% хрома и 0,5% молибдена	700...740
с 3,5% никеля	500...620

пированных сталей. Он основан на уменьшении предела текучести металла с ростом температуры. При общем нагреве изделия до заданных температур (табл. 3.3) остаточные растягивающие напряжения перераспределяются за счет местных пластических деформаций, уменьшая вероятность образования холодных трещин.

## 4. СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

К сварочным материалам относят: сварочную и наплавочную проволоку; присадочные прутки; порошковую проволоку; порошки; плавящиеся покрытые электроды; неплавящиеся электроды; флюсы; защитные газы.

### 4.1. Сварочная и наплавочная проволоки

Сварочную проволоку применяют в качестве электрода при сварке под флюсом, электрошлаковой, в защитных газах, а также в качестве присадочного материала при сварке неплавящимся электродом и стержней покрытых электродов — при ручной дуговой сварке.

Для сварки и выполнения наплавочных работ выпускают: проволоку стальную сварочную (ГОСТ 2246—70); проволоку стальную наплавочную (ГОСТ 10543—82); проволоку сварочную из алюминия и алюминиевых сплавов (ГОСТ 7871—75); проволоку и прутки из меди и сплавов на медной основе сварочные (ГОСТ 16130—85).

Стальную сварочную проволоку изготавливают 77 марок, в том числе: 6 марок — из низкоуглеродистой стали (Св-08, Св-08А, Св-08АА, Св-08ГА, Св-10ГА, Св-10Г2); 30 марок — из

легированной стали (Св-08ГС, Св-12ГС, Св-08Г2С, Св-10ГН, Св-10НМА, Св-18ХМА, Св-15ГСТЮДА, Св-20ГСТЮА и др.); проволоку последних двух марок применяют для дуговой сварки без дополнительной защиты); 41 марку — из высоколегированной стали (Св-06Х19Н9Т, Св-07Х19Н10В, Св-07Х25Н13, Св-13Х25Н18, Св-08Х19Н10Г2В, Св-10Х20Н15, Св-01Х23Н28М3Д3Т и др.).

Стальную сварочную проволоку изготавливают следующих диаметров, мм: 0,3; 0,5; 0,8; 1; 1,2; 1,6; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12. Поставляют проволоку свернутой в мотки массой 1,5...40 кг и внутренним диаметром 150...750 мм.

Стальная наплавочная проволока предназначена для механизированной дуговой наплавки. Выпускают 19 марок наплавочной проволоки, в том числе: 8 марок — из углеродистой стали Нп-25, Нп-30, Нп-35, Нп-40, Нп-45, Нп-50, Нп-65, Нп-80); 8 марок — из легированной стали (Нп-40Г, Нп-50Г, Нп-65Г, Нп-30ГСА, Нп-30Х5, Нп-40Х2Г2М, Нп-5ХНМ, Нп-50ХФА); 3 марки — из высоколегированной стали (Нп-30Х13, Нп-40Х13, Нп-Г13А).

Стальную наплавочную проволоку выпускают следующих диаметров, мм: 0,3; 0,5; 0,8; 1; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 6,5; 8. Твердость и назначение наплавочной проволоки указаны в табл. 4.1.

В марках стальной сварочной и наплавочной проволоки буквы и цифры означают: Св — сварочная; Нп — наплавочная; цифра после дефиса — среднее содержание углерода в сотых долях процента (например, 08 — 0,08 % С); последующая буква (или буквы) — обозначение легирующего элемента; цифра после буквы — среднее содержание данного элемента в процентах; отсутствие цифры означает, что данный элемент содержится в количестве 1...1,5 % (хром, никель, марганец, кремний) или < 1 %; А — высококачественная (с пониженным содержанием серы и фосфора); АА — особо высококачественная.

Химические элементы в марках стальных проволок обозначают соответствующими буквами: алюминий — Ю; азот — А; бор — Р; ванадий — Ф; вольфрам — В; кремний — С; кобальт — К; марганец — Г; медь — Д; молибден — М; никель — Н; ниобий — Б; титан — Т; хром — Х; цирконий — Ц.

Например, марка проволоки Св-01Х23Н28М3Д3Т расшифровывается так: Св — сварочная; содержание углерода ~ 0,01 %; хрома ~ 23 %; никеля ~ 28 %; молибдена ~ 3 %; меди ~ 3 %; титана < 1 %. Диаметр проволоки (мм) указывается перед ее маркой только при поставках (например, 2Св-12ГС).

Для сварки алюминия и сплавов на его осно-

#### 4.1. Твердость и назначение наплавочной проволоки

Марка проволоки	Ориентировочная твердость наплавленного металла	Наплавляемые изделия
Нп-25	НВ 160...220	Оси, шпиндели, валы
Нп-30		
Нп-35		
Нп-40	НВ 170...230	
Нп-45		
Нп-50	НВ 180...240	Натяжные колеса, скаты тележек, опорные ролики
Нп-65	НВ 220...300	Опорные ролики, оси
Нп-80	НВ 260...340	Коленчатые валы, креповины карданных валов
Нп-40Г	НВ 180...240	Оси, шпиндели, ролики, валы
Нп-50Г	НВ 200...270	Натяжные колеса, опорные ролики гусеничных машин
Нп-65Г	НВ 230...310	Колеса кранов, оси опорных роликов
Нп-30ХГСА	НВ 220...300	Обжимные прокатные валки, колеса кранов
Нп-30Х5	НРС, 37...42	Прокатные валки сортопрокатных станов
Нп-40Х3Г2МФ	НРС, 38...44	Детали, подвергающиеся ударам и абразивному износу
Нп-40Х2Г2М	НРС, 54...56 (после закалки)	Детали машин, работающие с динамическими нагрузками (коленчатые валы, поворотные кулаки оси опорных катков)
Нп-55ХНМ	НРС, 40...50	Ковочные и вырубные штампы, валки ковочных машин

#### Продолжение табл. 4.1

Марка проволоки	Ориентировочная твердость наплавленного металла	Наплавляемые изделия
Нп-50ХФА	НРС, 43...50	Шлицевые валы, коленчатые валы двигателей внутреннего сгорания
Нп-30Х13	НРС, 38...45	Плунжеры гидропрессов, шейки коленчатых валов, штампы
Нп-40Х13	НРС, 45...52	Опорные ролики тракторов и экскаваторов, детали конвейеров
Нп-Г13А	НВ 220...280	Железнодорожные креповины, шейки дробилок, зубья ковшей

всего предусмотрено выпуск 14 марок сварочных проволок  $\varnothing$  0,8...1,25 мм: Св-А97; Св-А85Т; Св-А5; Св-АМц; Св-АМГ3; Св-М4; Св-АМ5; Св-1557; Св-АМГ6; Св-АМГ63; Св-АМГ61; Св-АК5; Св-АК10; Св-1201.

Буквы в марках сварочных проволок на основе алюминия означают следующее: А — алюминий; Т — титан; Мц — марганец; М — магний; К — кремний. Цифры, стоящие после указанных букв, показывают среднее содержание этих элементов в процентах.

Для сварки, наплавки и пайки меди и ее сплавов в промышленности используют сварочную проволоку и прутки из сплавов на ее основе. Сварочную проволоку выпускают 17 марок: М1 (99,9 % меди, остальное — примеси); МСр1 (99 % меди и  $\approx$  1 % серебра); МНЖ5-1; МНЖКТ5-1-0,2-0,2; БрКМц3-1; БрОЦ4-3; БрАМц9-2; БрОФ65-0,15; БрАЖМц10-3-1,5; БрХ0,7; БрХНТ; БрНЦр; БрНЦрТ; Л63; ЛО60-1; ЛК62-0,5; ЛКБ062-0,2-0,4-0,5. Диаметр проволоки — 0,8...8 мм.

Сварочные прутки изготовляют из меди и ее сплавов 12 марок: Мцр (99,9 % меди, остальное — серебро и другие примеси); Мвр (99,5 % меди, остальное — примеси); БрОФ65-0,15; БрОЦ4-3; БрАМц9-2; ЛО60-1; ЛК62-0,5; Л63; ЛМц58-2; ЛЖМц59-1-1; ЛОК59-1-0,3; ЛКБ062-0,2-0,4-0,5. Диаметр выпускаемых прутков — 6 и 8 мм.

Буквы в обозначении марок сварочной проволоки и прутков

означают следующее: М — медь; Вр — бронза; Л — латунь; Ср — серебро; Н — никель; Ж — желез; К — кремний; Т — титан; Мн — марганец; О — олово; Ф — фосфор; А — алюминий; Х — хром; Цр — цирконий; Б — бор; р — рафинированная; Ц — цинк. В стглавах марок МНЖБ-1 и МНЖКТБ-1-0,2-0,2 и для всех бронз цифры показывают среднее содержание в процентах элементов в соответствии с буквенным обозначением, остальное — медь.

В обозначении латуней первая цифра указывает среднее содержание меди в процентах, следующие цифры — содержание в процентах элементов, соответствующих буквенному обозначению, остальное — цинк.

Примерное назначение и химический состав сварочных проволок и прутков регламентируются ГОСТ 16130—85.

#### 4.2. Порошковая проволока

Порошковая проволока — это непрерывный электрод, который представляет собой изготовленную из стальной ленты толщиной 0,2...0,5 мм металлическую оболочку, заполненную порошком из газо- и шлакообразующих компонентов (рис. 4.1, а...е). Применяют ее для механизированной дуговой сварки открытой дугой или в защитных газах. Сохраняя технологические преимущества голый проволоки, порошковые проволоки позволяют создавать надежную газовую и шлаковую защиту сварочной ванны от атмосферного воздуха при работе на открытых площадках, обеспечивая при этом легирование и рафинирование металла шва.

Кроме того, используя их, можно применять ток плотностью 150...170 А/мм<sup>2</sup>, в то время как при ручной дуговой сварке открытыми электродами плотность тока не превышает 20 А/мм<sup>2</sup>. Это дает возможность повысить производительность процесса в 1,5...2 раза.

Марки порошковых проволок для сварки сталей и их назначение приведены в табл. 4.2. Для холодной сварки чугуна следует применять порошковую проволоку марок ПП-Ч1 и ПП-Ч2 для горячий — марки ПП-Ч3.

Для восстановления изношенных поверхностей деталей машин или придания поверхности заданных служебных свойств (износостойкости, коррозионной стойкости и др.) применяют специальные наплавочные порошковые проволоку и ленту.

Порошковую наплавочную проволоку в зависимости от ее назначения выпускают различных марок: для наплавки без дополнительной защиты — ПП-2Х4В3Ф-О; ПП-

#### 4.2. Характеристики порошковых проволок для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей

Самозащитная

Марка проволоки	Диаметр проволоки, мм	Коэффициент наплавки, г/(А·ч)	Заменяемый тип проволокой электрод	Назначение
ПП-АН1	2,8	10...13,5	Э46	Сварка низкоуглеродистых сталей в нижнем положении
				То же, в нижнем и вертикальном положениях
ПП-1ДСК	1,8; ...2,2	9,5...13,5	Э46	То же, в нижнем и вертикальном положениях
				Сварка низкоуглеродистых и низколегированных сталей в нижнем и наклонном положениях
ПП-АН3	3	14...18	Э50А	То же, в нижнем, вертикальном и горизонтальном положениях
ПП-АН7	2; 2,3	22...26	Э50А	То же, в нижнем, вертикальном и горизонтальном положениях
ПП-АН11	2; 2,4	22...28		То же, во всех положениях
ПП-АН17	3	20	Э46	Сварка низкоуглеродистых сталей в нижнем положении
ПП-2ДСК	1,8; 2,2; 2,35	17...20	Э50А	Сварка низкоуглеродистых и низколегированных сталей в нижнем, вертикальном и горизонтальном положениях
				То же, в нижнем и вертикальном положениях
СП-2	2,35; 2,55	20...21		То же, в нижнем и вертикальном положениях

Для сварки в углекислом газе

Марка проволоки	Диаметр проволоки, мм	Коэффициент наплавки, г/(А·ч)	Заменяемый электрод	Назначение
ПП-АН4	2,2; 2,5	16...20	Э50А	Сварка низкоуглеродистых и низкоуглеродистых сталей (особо ответственные конструкции) в нижнем и наклонном положениях
ПП-АН9*	2; 2,5	14...18		
ПП-АН8**	2,2; 2,5; 3	16...24	Э46А; Св-08Г2С	
ПП-АН10	2,2	11...14		

Для сварки с принудительным формированием шва

ПП-2ВДСК	2,35			Сварка низкоуглеродистых и низкоуглеродистых сталей в вертикальном положении
ПП-АНЗС	3	—	Э50А	То же, в горизонтальном положении
ПП-АН19	2,3; 3			То же, во всех положениях

\* Имеет пониженную токсичность.  
\*\* Обеспечивает улучшенное формирование шва.

У25Х17Т-О; ПП-3Х13-О; ПП-70Х20Р3Т-О; ПП-Г13Н4-О; ПП-У30Х14МФ-О и др.; для наплавки под флюсом — ПП-13; ПП-3Х2В8; ПП-Х12ВФ; ПП-25Х5ФМС и др.; для наплавки с допониительной защитой углекислым газом — ПП-4Х2В8Т; ПП-2Х3В10ГТ; ПП-30Х10Г10Т; ПП-У45Х25Г6Т и др. Диаметр порошковой проволоки составляет 1,6...3 мм.

Для получения на поверхности детали слоя, обладающего повышенными твердостью и износостойкостью, применяют порошковую наплавочную ленту (рис. 4.1, ж) марок ПЛ-У30Х30Г3ТЮ, ПЛ-АН101 (ПЛ-У300Х25Н3С3-11), ПЛ-АН102 (ПЛ-30Х25Н4С4), ПЛ-5Х4В3ФС (металлокерамическая). Размеры ленты (мм): ширина — 30...60; толщина — 1,5...3.

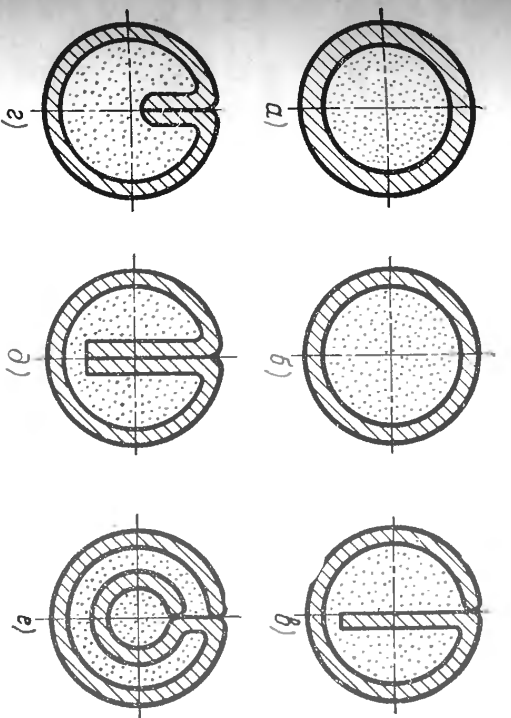


Рис. 4.1. Порошковые проволоки трубчатая цельнотянутая (а), трубчатая свертная (б), трубчатая однозатяжная (в), трубчатая двухзатяжная (г), трубчатые с повышенной долей металла (д, е) и порошковая лента (ж)

В марках порошковой проволоки и ленты применяют следующие обозначения: ПП — порошковая проволока; ПЛ — порошковая лента; У — углерод; цифра после буквы У — содержание углерода в десятых долях процента; Ч — проволока для сварки и наплавки чугуна; буква О в конце обозначения указывает, что данную проволоку можно использовать для сварки открытой дугой. Значения остальных букв и цифр такие же, как и в марках стальных сварочных и наплавочных проволок.

### 4.3. Неплавящиеся электроды для дуговой сварки и резки

Для дуговой сварки и резки используют угольные, графитовые ивольфрамовые неплавящиеся электроды. Они имеют высокую температуру плавления и служат только для поддержания горения дуги, не участвуя в формировании металла шва.

Угольные электроды изготовляют прессованием из



Порошка кокса с последующим отжигом при температуре  $\approx 1400^\circ\text{C}$ . Различают два вида этих электродов — омедненные и неомедненные. Применяют их для сварки металлов, воздушной дуговой резки, удаления прибылей отливок и других работ. Угольные электроды выпускают трех марок: ВДК — воздушнодуговые круглые; ВДП — воздушно-дуговые плоские; СК — сварочные круглые.

Электроды марки ВДК изготавливают номинальными диаметрами 6, 8, 10 и 12 мм и длиной  $300 \pm 10$  мм, марки ВДП — номинальным сечением  $12 \times 5$  и  $18 \times 5$  и длиной  $(350 \pm 10)$  мм, марки СК — номинальными диаметрами 4, 6, 8, 10, 15 и 18 мм и длиной  $(250 \pm 10)$  мм.

Изготовление графитовых электродов, предназначенных для дуговой сварки или резки, стандартом не предусмотрено. Их можно изготовить из остатков или отходов электродов плавильных печей резкой с последующим обогащением. Сопротивление графита в 4 раза меньше, чем сопротивление угля, — это позволяет использовать графитовые электроды при больших плотностях тока.

**Вольфрамовые электроды** изготавливают методами порошковой металлургии либо из чистого порошка вольфрама, либо с присадками (до 2%) оксидов лантана, иттрия или тория. Введение оксидов этих металлов облегчает зажигание дуги и повышает устойчивость ее горения. Для уменьшения расхода электродов зажимать дугу следует на вспомогательной графитовой пластине.

При сварке коррозионно-стойких и жаропрочных сталей, алюминиевых и магниевых сплавов толщиной до 4 мм диаметр электрода назначают примерно равным толщине менее тонкой заготовки.

Перед началом сварки электроды затачивают: угол заточки угольных и графитовых электродов —  $60 \dots 70^\circ$ , вольфрамовых —  $10 \dots 30^\circ$ .

#### 4.4. Покрытые электроды для ручной дуговой сварки и наплавки

Плавыщийся покрытый электрод (рис. 4.2) представляет собой металлургический стержень, на поверхность которого окунанием или опрессовкой под давлением наносят покрытие определенным составом и толщиной, которое должно обеспечить: легкое зажигание и устойчивое горение дуги; получение металла шва требуемого химического состава; равномерное расплавление электродного стержня и покрытие; высокую провариваемость при неболь-

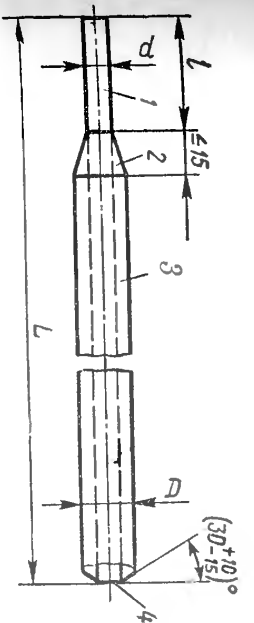


Рис. 4.2. Плавыщийся покрытый электрод:

1 — стержень, 2 — участок перехода, 3 — покрытие, 4 — контактный торец без покрытия;  $D$  — диаметр покрытия электрода,  $L$  — длина электрода,  $d$  — номинальный диаметр стержня,  $l$  — длина зачищенного от покрытия конца

ших потерях электродного металла на удар и разбрызгивание, получение плотных беспористых швов, не склонных к образованию горячих трещин; легкую отделяемость шлаковой корки от поверхности шва; минимальную токсичность при сварке.

Стальные электроды изготавливают в соответствии с ГОСТ

#### 4.3. Размеры электродов, мм (ГОСТ 9466—75)

Номинальный диаметр $d$ стержня	Номинальная длина $L$ электрода со стержнем из стальной проволоки		Длина $l$ зачищеного от покрытия конца электрода (предельные отклонения $\pm 5$ мм)
	низкоуглеродистой или легированной	высоколегированной	
1,6	200; 250	150; 200 (250)	20
2	250 (300)	200; 250 (300)	
2,5	250; 300 (350)	250 (300)	25
3	300; 350 (450)	300; 350	
4	350; 400	350 (450)	30
5; 6; 8	450	350; 450	
10; 12			

Примечание. Размеры в скобках не рекомендуются для изготовления электродов.

9466—75, 9467—75, 10051—75, 1052—75. Размеры электродов должны соответствовать значениям, указанным на рис. 4.2 и в табл. 4.3.

Покрытые электроды классифицируют по следующим признакам: назначению; типам и маркам; толщине покрытия; качеству; видам покрытия; применению для сварки или наплавки в различных пространственных положениях; роду и полярности тока.

#### 4.4. Типы покрытых электродов для сварки конструкционных сталей (ГОСТ 9467—75)

Тип электрода	Механические характеристики*			
	Металла шва или наплавленного металла	Относительное удлинение $\delta$ , %	Ударная вязкость $\alpha$ , Дж/см <sup>2</sup>	Временное сопротивление разрыву $\sigma_B$ , МПа
Э38	380	14	30	380
Э42	420	18	80	420
Э46	460	18	80	460
Э50	500	16	70	500
Э42А	420	22	150	420
Э46А	460	22	140	460
Э50А	500	20	130	500
Э55	550	20	120	550
Э60	600	18	100	660
Э70	700	14	60	
Э85	850	12	50	
Э100	1000	10	50	
Э125	1250	8	40	
Э150	1500	6	40	

\* Минимальные значения.

По назначению покрытые электроды подразделяют на следующие: У — для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву до 600 МПа; Л — для сварки легированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву свыше 600 МПа; Т — для сварки легированных теплоустойчивых сталей; В — для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами; Н — для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами.

По типам и маркам покрытые электроды различают также в зависимости от назначения: 14 типов — для сварки конструкционных сталей (табл. 4.4); 9 типов — для сварки теплоустойчивых сталей (табл. 4.5); 49 типов — для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами (табл. 4.6); 44 типа — для ручной

#### 4.5. Типы покрытых электродов для сварки легированных теплоустойчивых сталей (ГОСТ 9467—75)

Тип электрода	Механические характеристики* металла шва или наплавленного металла		
	Временное сопротивление разрыву $\sigma_B$ , МПа	Относительное удлинение $\delta$ , %	Ударная вязкость $\alpha$ , Дж/см <sup>2</sup>
Э-09М	450	18	100
Э-09МХ	460	18	90
Э-09Х1М	480	15	90
Э-05Х2М	500	16	80
Э-09Х2М1	500	15	70
Э-09Х1МФ	500	14	60
Э-10Х1МНФБ			
Э-10Х3М1БФ			
Э-10Х5МФ			

\* Минимальные значения.

Дуговой наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами (табл. 4.7).

По толщине покрытия электроды подразделяют в зависимости от отношения  $D/d$  (см. рис. 4.2): М — с тонким покрытием

4.6. Типы покрытых электродов для ручной дуговой сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами (ГОСТ 10052—75)

Тип электрода	Механические характеристики* металла шва или наплавленного металла		
	Временное сопротивление разрыву $\sigma_B$ , МПа	Относительное удлинение $\delta$ , %	Ударная вязкость $\alpha_K$ , Дж/см <sup>2</sup>
Э-12Х13	600	16	50
Э-06Х13Н	650	14	—
Э-10Х17Т	—	—	—
Э-12Х11НМФ	700	15	50
Э-10Х16Н4Б	1000	8	40
Э-04Х20Н9	—	—	—
Э-07Х20Н9	550	30	100
Э-06Х22Н9	650	20	—
Э-08Х16Н8М2	—	—	—
Э-08Х17Н8М2	—	30	100
Э-02Х19Н9Б	550	—	120
Э-08Х19Н10Т2Б	—	24	—
Э-08Х20Н9Т2Б	—	22	80
Э-10Х17Н13С4	—	15	40
Э-08Х19Н9Ф2С2	600	—	80
Э-10Х25Н13Т2	550	25	90
Э-12Х24Н14С2	—	24	60
Э-10Х25Н13Т2Б	600	25	70
Э-10Х28Н12Т2	650	15	50
Э-03Х15Н9АГЧ	600	30	120

Продолжение табл. 4.6

Тип электрода	Механические характеристики* металла шва или наплавленного металла		
	Временное сопротивление разрыву $\sigma_B$ , МПа	Относительное удлинение $\delta$ , %	Ударная вязкость $\alpha_K$ , Дж/см <sup>2</sup>
Э-10Х20Н9Т6С	550	25	90
Э-98Х24Н16Т6	600	—	100
Э-09Х15Н25М6Т2Ф	650	30	—
Э-04Х16Н35Т6М7Б	—	25	80
Э-06Х25Н40М7Т2	600	30	120

\* Минимальные значения.

( $D/d \leq 1,2$ ): С — со средним покрытием ( $1,2 < D/d \leq 1,45$ ); Д — с толстым покрытием ( $1,45 < D/d \leq 1,8$ ); Г — с особо толстым покрытием ( $D/d > 1,8$ ).

По качеству электроды подразделяют на три группы. В понятие качества входят: предельные отклонения длины электрода от номинального (например, для электродов 1-й группы — не более  $\pm 3$  мм, для электродов 2-й и 3-й групп — не более  $\pm 2$  мм); кривизна электродов; разностенность толщины покрытия; состояние поверхности покрытия и др.

По видам покрытия различают следующие электроды: А — с кислотным покрытием; Б — с основным покрытием; Ц — с целлюлозным покрытием; Р — с рутильовым покрытием; П — с покрытием прочих видов (табл. 4.8). При наличии в составе покрытия железного порошка в количестве более 20 % к обозначению вида покрытия электродов добавляется буква Ж.

По применению для сварки или наплавки в различных производственных помещениях электроды подразделяют: 1 — для всех положений; 2 — для всех положений, кроме вертикального сверху вниз; 3 — для нижнего и вертикального снизу вверх; 4 — для нижнего и нижнего «в подпочку».

По роду и polarity тока, применяемого для сварки или наплавки, а также по номинальному напряжению холостого хода используемого источника питания сварочной дуги переменно-тока частотой 50 Гц электроды обозначают в соответствии с табл. 4.9.

**4.7. Типы покрытых электродов для ручной дуговой наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами (ГОСТ 10051—75)**

Тип электрода	Твердость НРС <sub>2</sub>	
	после наплавки	после термической обработки
Э-10Г2	20...28	—
Э-11Г3	28...35	—
Э-12Г4	35...40	—
Э-15Г5	40...44	—
Э-16Г2ХМ	35...39	—
Э-30Г2ХМ	31...41	—
Э-35Г6	50...57	—
Э-37Х9С2	52...58	—
Э-70Х3СМТ	—	52...60
Э-80Х4С	56...62	—
Э-95Х7Г5С	25...32	—
Э-65Х11Н3	25...33	—
Э-25Х10Г10С	40...50	—
Э-08Х17Н8С6Г	—	28...37
Э-30В8Х3	—	40...50
Э-80В18Х4Ф	—	57...62
Э-90В10Х5Ф2	—	—
Э-24Х12	40...48	—
Э-20Х13	—	33...48
Э-35Х12Г2С	—	54...62
Э-35Х12В3СФ	—	50...58

*Продолжение табл. 4.7*

Тип электрода	Твердость НРС <sub>2</sub>	
	после наплавки	после термической обработки
Э-100Х12М	—	53...60
Э-120Х12Г2СФ	—	54...62
Э-30Х5В2Г2СМ	50...60	—
Э-65Х25Г13Н3	23...35	—
Э-105В6Х5М3Ф3	—	60...64
Э-90Х4М4ВФ	—	58...63

ГОСТ 9466—75 устанавливает условное обозначение для каждой марки электродов (рис. 4.3), которое должно быть ука-

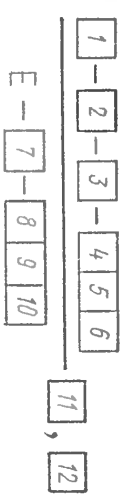


Рис. 4.3. Структура условного обозначения электрода:

1 — тип, 2 — марка, 3 — диаметр (мм), 4 — название, 5 — толщина покрытия (мм), 6 — группа (по качеству); 7 — характеристика наплавочного металла и металла шва (ГОСТ 9467—75, 10051—75, 10052—75); 8 — вид покрытия, 9 — допустимые про- странственные положения сварки или на- плавки, 10 — род и полярность тока, 11 — фазное напряжение холостого хода (В), 12 — ГОСТ 9466—75, 12 — ГОСТ или ТУ на типы электродов

зано на этикетках или в маркировке коробок, пачек и ящиков с электродами. В условном обозначении электродов для сварки углеродистых и низколегированных сталей с  $\sigma_B < 60$  кгс/мм<sup>2</sup> после буквы Е тире не ставят

В технической документации (чертежи, технологические кар- ты, технические условия и др.) в обозначение электродов входят марка, диаметр, группа качества и ГОСТ 9466—75. Например, УОНИ-13/45—4.0—2 ГОСТ 9466—75.

4.8. Типы покрытий и марки электродов общепромышленных и низколегированных конструкционных сталей

Условное обозначение и характеристика покрытия	Тип и марка электродов
<p>К и с л о е — А</p> <p>Образует шлаки, в состав которых входят силикаты и титанаты марганца и железа, а также компоненты, окисляющие металл. Защитные газы образуются за счет сторанья органических составляющих. Наплавленный металл сильно окислен, склонен к горячим трещинам и содержит мало легирующих добавок, из-за чего его вязкость и пластичность невысоки. Применяется в электродах, предназначенных для сварки неответственных конструкций из низкоуглеродистых сталей. Выделяет много вредных примесей. Электроды с этими покрытиями в настоящее время имеют менее широкое применение, чем с рутитовыми</p>	<p>Э42 (СМ-5; КП1-32; УНЛ-1)</p>
<p>Образует шлаки, в состав которых входят титанаты, силикаты марганца и железа, а также другие компоненты, практически не содержащие оксидов железа. Титанистый шлак обладает достаточной жидкотекучестью, что обеспечивает хороший контакт между ним и металлом и качественное формирование шва; шлак после остывания легко удаляется. Электроды с рутитовым покрытием имеют хорошие гигиенические свойства, образуя при стораньи неблуждающее количество аэрозолей, содержащих оксиды марганца. Для повышения производительности в некоторых покрытиях вводят до 50 % порошка железа</p>	<p>Э42 (АНО-1; АНО-5; АНО-6); Э46 (АНО-3; АНО-4; МР-3; ОЗС-3; ОЗС-4; ОЗС-6; РВУ-4; РВУ-5)</p>

Продолжение табл. 4.8

Условное обозначение и характеристика покрытия	Тип и марка электродов
<p>Основное — Б</p> <p>Образует шлаки, в состав которых входят силикаты кальция или марганца, а также фтористый кальций (лавиковый шпатель). Содержит небольшое количество оксидов железа и других компонентов, окисляющих металл. Защитные газы образуются за счет диссоциации карбонатов. Наплавленный металл склонен к образованию горячих трещин, загрязнен примесями, обладает высокими механическими свойствами. Электроды с такими покрытиями используются для сварки конструкций, работающих при температуре до —70°С. Технологические особенности: сварку выполняют на постоянном токе обратной полярности короткой дугой; козырек покрытия должен быть опущен в сварочную ванну; жегательно выполнять соединение широкими швами, возможно дольшее удерживая ванну в жидком состоянии. Электроды с основным покрытием применяют для сварки конструктивных, коррозионно-стойких, окислительно-стойких и других специальных сталей и сплавов. В аэрозолях, образующихся при стораньи покрытий, содержатся различные фтористые соединения, поэтому при сварочных работах в закрытых помещениях необходима хорошая вентиляция, а сварщики должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты дыхательных органов или работать с подачей чистого воздуха в зону дымления сварки</p>	<p>Э42А (УОНИ-13/45; СМ-11; УП-2/45; ОЗС-2); Э46А (Э-138/45Н); Э50 (ВСН-3); Э50А (УОНИ-13/55; ДСК-50; УП-1/55; УП-2/55; Э-138/50Н; АН-Х7); Э60А (УОНИ-13/65); Э55 (УОНИ-13/55); Э70 (ЛКЗ-70); Э85 (УОНИ-13/85; УОНИ-13/85У)</p>
<p>П е л л о з н о е — Ц</p>	<p>Э42 (ОМА-2; ВСЦ-1; ВСЦ-2); Э50 (ВСЦ-3)</p>
<p>Основой являются органические составяющие (чаще всего — электроная пеллолоза марки ЭЦ), образующие защитные газы. В качестве раскислителей вводят ферросплавы марганца, в качестве шлакообразу-</p>	

Условное обозначение и характеристика покрытия	Тип и марка электродов
Юшних добавок — рутил, карбонаты, алюминаты и др. Легирование металла шва осуществляется через проволоку, а также введением в состав покрытия металлических порошков и ферросплавов. Целлюлозные покрытия образуют на шве тонкий слой шлака. Электроды с такими покрытиями удобны для выполнения монтажных работ, когда необходимо накладывать швы во всех пространственных положениях, обеспечивают качественные провар корня шва и формирование обратной стороны последнего	

**4.9. Обозначения электродов в зависимости от рода тока и напряжения холостого хода**

Рекомендуемая полярность постоянного тока	Напряжение холостого хода источника переменного тока, В		Обозначение
	Номинальное значение	Предельные отклонения	
Обратная	—	—	0
Любая Прямая Обратная	50	±5	1 2 3
Любая Прямая Обратная	70	±10	4 5 6
Любая Прямая Обратная	90	±5	7 8 9

**Примеры условных обозначений электродов.**

- Э46А — УОНИ-13/45 — 3,0 — УД2 — ГОСТ 9466 — 75,  
Е43 2(5) — В10 — ГОСТ 9467 — 75.

**Э46А** — тип электрода по ГОСТ 9467—75 (Э — электрод для дуговой сварки; 46 — минимальный гарантированный предел прочности шва, кгс/мм<sup>2</sup>; А — гарантированная повышенная пластичность шва); УОНИ-13/45 — марка электрода; 3,0 — диаметр, мм; У — для сварки углеродистых и низколегированных сталей; Д2 — с толстым покрытием 2-й группы качества; Е — электрод 43 2(5) — условная по ГОСТ 9467—75 группа индексов, указывающих характеристики наплавленного металла и металла шва (43 — временное сопротивление разрыву — не менее 43 кгс/мм<sup>2</sup>; 2 — относительное удлинение — не менее 22%; 5 — ударная вязкость — не менее 34,5 Дж/см<sup>2</sup> при температуре —40°С); В — основное покрытие; 1 — для сварки во всех пространственных положениях; 0 — для сварки на постоянном токе обратной полярности.

- Э-11ГЗ — ОЗН-300у — 5,0 — НД1 — ГОСТ 9466 — 75,  
Е 300/32 — 1 — Б40

ГОСТ 10051 — 75;

**Э-11ГЗ** — тип электрода по ГОСТ 10051—75; ОЗН-300у — марка электрода; 5,0 — диаметр, мм; Н — для наплавки поверхностных слоев металла с особыми свойствами; Д1 — с толстым покрытием 1-й группы качества; Е — электрод; 300/32 (300 — твердость по Виккерсу HV 300; 32 — твердость по Роквеллу НРС,32); 1 — без термообработки; В — основное покрытие; 4 — для наплавки в нижнем положении; 0 — для сварки на постоянном токе обратной полярности.

В табл. 4.10...4.14 (с. 78...97) указаны технологические свойства покрытых электродов для сварки различных сталей, цветных металлов, а также сплавов на их основе. В табл. 4.15 (с. 98, 99) приведены электроды для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами, а в табл. 4.16 (с. 100, 101) — для сварки и наплавки чугуна.

**4.5. Сварочные флюсы**

Сварочным флюсом называют неметаллический материал, расплав которого (шлак) необходим для выполнения сварки и улучшения качества шва. Расплавляясь, флюсы создают газовый и шлаковый купола над зоной сварочной дуги, а после химико-металлургического воздействия в дуговом пространстве и сварочной ванне образуют на поверхности шва шлаковую корку, в которую выводится оксиды серы, фосфора и газа. По способу изготовления флюсы делятся на плавленые и неплавленые (керамические).

Плавленые флюсы получают плавлением исходных материа-

4.10. Технологические свойства покрытых электродов для сварки углеродистых и низколегированных сталей (ГОСТ 9467—75)

Электрод		Показатели технологических свойств					Пространственное положение	Особые свойства и рекомендации	Основное назначение
Тип	Марка	Коэффициент наплавки, г/(А ч)	Диаметр, мм	Допустимая сила тока при сварке в нижнем положении, А	Расход электродов на 1 кг наплавленного металла, кг	Род тока, полярность			
Э42	ВЦС-1	10		120; 170; 220		Переменный и постоянный любой полярности		При сварке этими электродами легко перекрывать зазоры. Вертикальные швы следует накладывать сверху вниз. Сварку можно осуществлять методом опирания. Покрытие негигроскопично	Наложение (без подкладных колец) первого шва на поворотные стыки труб из низкоуглеродистых и низколегированных сталей
Э42А	УОНИ-13/45	8,5	3; 4; 5	100; 160; 200	1,6	Постоянный обратной полярности	Любое	Сварка выполняется предельно короткой дугой методом опира-	Сварка особо ответственных конструкций, работающих при от-
								ния. Свариваемые кромки необходимо зачищать от ржавчины и следов масла. Электроды следует хранить в герметической таре в сухом отапливаемом помещении, а отсыревшие сушить при 350...370 °С в течение 1 ч	рицательных температурах, металлических заготовок большой толщины, заварка дефектов литья
	СМ-11	9,5		130; 160; 250	1,45	Постоянный обратной полярности и переменный		Сварка выполняется методом опирания. Свариваемые кромки следует тщательно зачищать. Электроды нужно хранить в сухом отапливаемом помещении, а отсыревшие прокалить при 300...350 °С в течение 1 ч	Сварка особо ответственных конструкций, работающих при отрицательных температурах и знакопеременных статических и динамических нагрузках, заварка дефектов литья

Электрод		Показатели технологических свойств					Род тока, полярность	Пространственное положение	Особые свойства и рекомендации	Основное назначение
Тип	Марка	Коэффициент наплавки, г/(А·ч)	Диаметр, мм	Допустимая сила тока при сварке в нижнем положении, А	Расход электродов на 1 кг наплавленного металла, кг					
Э46	АНО-3	8,5	3; 4; 5	140; 200; 270	1,6	Постоянный любой полярности и переменный	Любое	Сварка производится дугой средней длины. Допускается сваривать незачищенные кромки. Увлажненные электроды следует сушить при 190...200 °С, после чего хранить в сухом помещении не более 1 сут до сварки	Сварка в заводских и монтажных условиях ответственных конструкций, работающих при статических и динамических нагрузках	
	АНО-4	8,3	3; 4; 5	140; 210; 270	1,7					
6-807	МР-1	8,5		160; 200; 240				Сварка производится короткой дугой. Отсыревшие электроды следует сушить при 150 °С в течение 1 ч. Электроды отличаются хорошими гигиеническими свойствами	Сварка строительных металлоконструкций, работающих при статических и динамических нагрузках	
	МР-3	7,8	4; 5	200; 260				Допускается сварка по ржавым кромкам. Сварку можно выполнять короткой и средней дугой, рекомендуется ее применять для перекрытия зазоров. Отсыревшие электроды следует сушить при 170...200 °С в течение 1,5 ч. Электроды обладают улучшенными гигиеническими свойствами	Сварка ответственных, работающих при статических и динамических нагрузках металлоконструкций из низколегированных и низкоуглеродистых сталей	



Электрод		Показатели технологических свойств						Общие свойства и рекомендации	Основное назначение
Тип	Марка	Коэффициент наплавления, г/(А·ч)	Диаметр, мм	Допустимая сила тока при сварке в нижнем положении, А	Расход электродов на 1 кг наплавленного металла, кг	Род тока, полярность	Пространственное положение		
Э46	ОЗС-4	8,5	3; 4; 5	100; 180; 250	1,7	Постоянный любой полярности	Любое	Сварка выполняется дугой средней длины. Отсыревшие электроды следует сушить перед сваркой при 150...180 °С в течение 1 ч	Сварка ответственных конструкций из низкоуглеродистых сталей
	ОЗС-3	15		200; 240; 350					
Э50	ВСН-3	9	3; 4	140; 200	1,7	Постоянный обратной полярности	Любое	Сварка производится нагретыми электродами методом опирания. Перед сваркой требуется тщательно зачистить кромки, а также прокалить электроды при 300 °С в течение 1 ч	Сварка ответственных, работающих при отрицательных температурах (до -70 °С), конструкций из стали 10Г2
Э50А	УОИИ-13/55	9	3; 4; 5	100; 160; 200				Сварка производится методом опирания и короткой дугой. После зажигания дуги следует продвинуть назад на 5...8 мм, получить спокойную ванну и после этого продолжать сварку. Рекомендуется перед сваркой прокалить электроды при 350 °С в течение 1 ч	Сварка ответственных машиностроительных и строительных конструкций, металлических заготовок повышенной прочности, заварка дефектов литья

Электрод		Показатели технологических свойств						Особые свойства и рекомендации	Основное назначение
Тип	Марка	Коэффициент наплавления, г/(А·ч)	Диаметр, мм	Допустимая сила тока при сварке в нижнем положении, А	Расход электродов на 1 кг наплавленного металла, кг	Род тока, полярность	Пространственное положение		
Э50А	ДСК-50	10	4,5	220; 270	1,4	Постоянный обратный и переменный	Любое	Сварка производится короткой дугой. Кромки перед сваркой следует тщательно зачистить. Технология сварки аналогична выполняемой электродами УОНИ-13/55. Перед сваркой электроды необходимо прокалить при 350...370 °С в течение 1 ч	Сварка ответственных конструкций из низколегированных сталей 14ХГС, 15ХСНД и т. п.
Э55	УОНИ 13/55у	9,5	3; 4; 5	100; 150;	1,6	Постоянный обратный по-	Нижнее	Обычная сварка аналогична вы-	Ванная сварка стержней армату-
				210		лярности, при ванной сварке — переменный		полняемой электродами УОНИ-13/55. Ванная сварка может выполняться одним или несколькими электродами (гребенкой), перерывы при этом недопустимы. Перед сваркой электроды следует прокалить при 300...350 °С в течение 1 ч	ры железобетонных конструкций из сталей Ст5, 18Г2С, 25ГС, 15ГС и др., монтажная сварка рельсов. Допускается дуговая сварка ответственных конструкций из углеродистых и низколегированных сталей
Э60А	УОНИ-13/65	0		100; 150; 200	1,7		Любое	Сварка производится методом опирация. Кромки следует тщательно зачистить. Электроды необходимо хранить в сухом отапливаемом помещении или в герметической таре, отсыревшие прокалить при 400 °С в течение 1 ч	Сварка ответственных машиностроительных конструкций, работающих в условиях тяжелого нагружения и знакопеременных нагрузок, из среднеуглеродистых, низколегированных хромистых, хромомолибденовых и хромокремнемарганцевых сталей

Электрод		Показатели технологических свойств						Особые свойства и рекомендации	Основное положение
Тип	Марка	Коэффициент наплавления, г/(А·ч)	Диаметр, мм	Допустимая сила тока при сварке в нижнем положении, А	Расход электродов на 1 кг наплавленного металла, кг	Род тока, полярность	Пространственное положение		
Э70	ЛКЗ-70	9,5	3; 4; 5	120; 160; 220	1,6	Постоянный обратной полярности, при вальной сварке — переменный	Нижнее	Сварка производится предельно короткой дугой. Обязательная тщательная зачистка кромок. Электроды следует хранить в сухом отапливаемом помещении или в герметической таре, а отсыревшие прокалить при 300...350 °С в течение 1 ч	Сварка ответственных машиностроительных конструкций из низколегированных сталей повышенной прочности
Э85	УОНИ-13/85у	10		120; 180; 220		Постоянный обратной полярности и переменный	Любое	Сварка производится предельно короткой дугой с предварительной зачисткой кромок. Электроды следует хранить в герметической таре, а отсыревшие прокалить при 300...350 °С в течение 1 ч	Ванная сварка рельсов и стержней арматуры, когда требуется более высокая прочность шва, чем могут обеспечить электроды УОНИ-13/55у (например, при сварке сталей 25ГС, 25Г2С, 30ХГ2С), а также сварка обычным способом особо ответственных конструкций из высокопрочных сталей

Примечание. Значения силы тока указаны в соответствии со значениями диаметра электрода.

## 4.11. Технологические свойства покрытых электродов для сварки теплоустойчивых сталей (ГОСТ 9467—75)

Электрод		Показатели технологических свойств						Особые свойства и рекомендации	Основное назначение
Тип	Марка	Коэффициент наплавки, г/(А·ч)	Диаметр, мм	Допустимая сила тока при сварке в нижнем положении, А	Расход электродов на 1 кг наплавленного металла, кг	Род тока, полярность	Пространственное положение		
Э-09МХ	ЦЛ-14	10,5	4; 5	180; 240	1,6	Постоянный обратной полярности и переменный	Любое	Сварка производится с предварительным подогревом заготовок из стали 12ХМ до 250...300 °С. После сварки следует осуществить высокотемпературный отпуск при 710 °С	Сварка трубопроводов и деталей турбин, выполненных из сталей 12ХМ, 15ХМ, 20ХМЛ и работающих при температуре до 550 °С. Толщина свариваемых деталей — 20...30 мм
	ГЛ-14	8	3; 4; 5	120; 180; 220	1,5	Постоянный обратной полярности		Сварка производится короткой дугой с предварительным и сопутствующим подогревом заготовок до 200 °С. После сварки следует осуществить вы-	Сварка заготовок из теплоустойчивых сталей 30ХМ, 34ХМ, 20ХЗМВФ и др. толщиной до 100 мм с повышенным требованием к прочности
Э-09МХ								кий отпуск при 710 °С. Отсыревшие электроды нужно прокалить при 350 °С в течение 1 ч	
	ЦЛ-30	10,4	4; 5	160; 210	1,6	Постоянный обратной полярности	Нижнее и вертикальное	Сварка производится с предварительным и сопутствующим подогревом заготовок из стали 34ХМ до 350 °С, из стали 20ХЗМВФ — до 450 °С. Необходима прокатка электродов перед сваркой при 350 °С в течение 1 ч	
Э09Х1МФ	ЦЛ-20	10,3	4; 5	160; 210	1,6	Постоянный обратной полярности	Любое	Сварка производится короткой дугой с предварительным и сопутствующим подогревом заготовок с последующим высокотемпературным отпуском	Сварка ответственных, работающих при 500...700 °С конструкций из сталей 20ХМФ, 20ХМФЛ, 12Х1НФ

Электрод		Показатели технологических свойств						Особые свойства и рекомендации	Основное назначение
Тип	Марка	Коэффициент наплавки, г/(А·ч)	Диаметр, мм	Допустимая сила тока при сварке в нижнем положении, А	Расход электродов на 1 кг наплавленного металла, кг	Род тока, полярность	Пространственное положение		
Э-10ХЗМНФ	ЦЛ-26М	10,5	3; 4; 5	130; 140; 210	1,6	Постоянный обратной полярности	Любое	при 700...740 °С в течение 3 ч. Перед сваркой необходимо зачистить кромки и прокалить электроды при 330...350 °С в течение 45 мин	Сварка конструкций, работающих при 600 °С, из жаропрочных сталей 15ХМФКР и 12Х2МФБ перлигнового класса. Возможно применение для сварки тонкостенных заготовок из всех теплоустойчивых перлиг-
Э10ХЭМФ	ЦЛ-17-63	10,5	3; 4	120; 160	1,6			дуге осуществить высокий отпуск при 740...760 °С в течение 5 ч. Перед сваркой электроды пужно прокалить при 330...350 °С в течение 1 ч	ных сталей
								Возможна сварка короткой дугой по зазорам. Необходимы предварительный и сопутствующий подогрев заготовок до 300...400 °С, после сварки — высокий отпуск при 760 °С в течение 3 ч, далее — медленное охлаждение до 500 °С, а затем на воздухе. Перед сваркой электроды следует прокалить при 300...350 °С в течение 45 мин	Сварка ответственных, работающих при температурах до 450 °С конструкций из сталей Х5М, 15Х5МФА

Примечание. Значения силы тока указаны в соответствии со значениями диаметра электрода.

92 **4.12. Покрытые электроды для сварки легированных теплоустойчивых сталей (ГОСТ 9467—75)**

Электрод		Коэффициент наплавки, г/(А·ч)	Рекомендуемая термообработка заготовок	Основное назначение
Тип	Марка			
Э-09МХ	ЦЛ-14	10,5	Предварительный подогрев до 200...300 °С, отпуск при 710...730 °С в течение 3 ч	Сварка работающих при температуре до 540 °С котлов и трубопроводов из сталей 12ХМ, 15ХМ, 12Х1МФ и др.
	ОЗС-11	8...9	Предварительный и сопутствующий подогрев до 150...200 °С, отпуск при 710 °С в течение 3 ч	Сварка работающих при температуре до 510 °С конструкций из сталей 12ХМ, 15ХМ, 12ХМФ, 15Х1М1Ф и др.
Э-09Х1М	ТМЛ-1	9,5...10,2		Сварка работающих при температуре до 570 °С паропроводов из хромомолибденовых и хромомолибденованадиевых сталей
Э-09МХ	ТМЛ-2			
Э-09Х1МФ	ТМЛ-3			
	ЦЛ-20	10,3	Предварительный и сопутствующий подогрев до 150...200 °С, отпуск при 710 °С в течение 3 ч	То же, кроме тонкостенных трубопроводов
Э-09Х1М	ЦЛ-38	9...10	Отпуск при 710...730 °С в течение 3 ч	Сварка тонкостенных трубопроводов, работающих при температуре до 540 °С, из тех же сталей

Э-09Х1МФ	ЦЛ-39		Отпуск при 730...750 °С в течение 5 ч	То же, с рабочей температурой до 585 °С
Э-10Х5М1БФ	ЦЛ-26М	10,5	Отпуск при 740...760 °С в течение 5 ч	То же, с рабочей температурой до 600 °С; сварка разнородных сталей, например 1Х11В2МФ и 12Х1МФ
Э-10Х5МФ	ЦЛ-17	9,5...10,5	Предварительный и сопутствующий подогрев до 350...450 °С	Сварка конструкций, работающих в агрессивных средах при температуре до 450 °С, из сталей 15Х5М, 12Х5МА, 15Х5МФА

**4.13. Покрытые электроды для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами**

Электрод			Коэффициент наплавки, г/(А·ч)	Основное назначение
Тип (ГОСТ 10052—75)	Марка	Материал стержня (ГОСТ 2246—70)		
Для сварки коррозионно-стойких сталей				
Э-07Х20Н9	ОЗЛ-8	Св-04Х19Н9	12...14	Сварка хромоникелевых сталей при жестких требованиях к отсутствию межкристаллитной коррозии (МКК) металла шва
Э-12Х13	УОНИ-13/НЖ	Св-12Х13	10...12	Сварка ответственных конструкций из хромистых сталей 08Х13, 12Х13

Электрод			Коэффициент наплавления, г/(А·ч)	Основное назначение
Тип (ГОСТ 10052-75)	Марка	Материал стержня (ГОСТ 2246-70)		
Э-02Х2Н1Н10Г2	ОЗЛ-22	Св-01Х18Н10	12...14	Сварка конструкций, работающих в агрессивных средах типа азотной кислоты, из сталей Х18Н10, Х18Н12 и др.
Э-04Х20Н19	ОЗЛ-14А	Св-01Х19Н9	10...12	Сварка хромоникелевых сталей 08Х18Н10, 06Х18Н11 и др. при предъявлении к металлу шва требований стойкости к МКК
Э-08Х17Н8М2	ЦНАТ-1	Св-04Х19Н9	10...11	Сварка конструкций из хромоникелевых и хромоникелемолибденовых сталей; наиболее пригодны для сварки тонколистового металла
Э-07Х19Н11М3Г2Ф	ЭА-400/10У	Св-04Х19Н11М3	12	Сварка корпусов энергооборудования и трубопроводов, работающих в контакте с агрессивной средой при температуре до 350 °С, из сталей 12Х18Н12Г, 1Х17Н12М2Т и др.
	ХА-400/10Т		14,5	
Э-10Х25Н13Г2	ОЗЛ-6	Св-07Х25Н13	11...12	Сварка слабонагруженных конструкций, работающих в агрессивных средах при температуре до 1000 °С, из сталей 20Х23Н13, 20Х23Н18, 15Х25Т и др.

Для сварки жаростойких сталей

Э-12Х24Н14С2	ОЗЛ-5	Св-10Х20Н15	12,5	Сварка конструкций, работающих при 900...1100 °С, из стали Х25Н2С2 и др., а также конструкций, работающих при 350 °С, из коррозионно-стойких сталей
Э-28Х24Н16Г6	ОЗЛ-9А	Св-30Х25Н16Г7	13...14	Сварка конструкций, работающих в агрессивных средах при температуре до 1050 °С, из хромоникелемарганцевых и хромоникелевых сталей
Э-10Х17Н13С4	ОЗЛ-29	Св-02Х17Н14С4	14,5... ...16	Сварка конструкций, работающих при температуре до 1100 °С в агрессивных и науглероживающих средах, из сталей 20Х20Н14С2, 20Х25Н20С2

Для сварки жаропрочных сталей

Э-09Х19Н11Г3М2Ф	ЦТ-1	Св-04Х19Н9	13	Сварка работающих при температуре до 630 °С узлов установок сверхвысокого давления, деталей турбин, трубопроводов из сталей 12Х18Н9Т, 1Х14Н14В2М и др.
	ЦТ-7-1	Св-06Х19Н9Т	10,5	
	ЦТ-7	Св-08Х19Н12М3	13	
Э-08Х20Н19Г2Б	ЦГ-15-1	Св-07Х19Н10Б	12	Сварка работающих при температуре до 650 °С конструкций и паропроводов из жаропрочных сталей
Э-08Х19Н10Г2Б	ЦТ-15	Св-08Х19Н10Т		
Э-08Х16Н8М2	ЦТ-26-1	Св-0Х15Н8М2 (ЭП-290)	10,5	Сварка работающих при температуре до 850 °С узлов паропроводов и теплообменников из жаропрочных и жаростойких сталей
Э-08Х16Н8М2	ЦТ-26	Св-Х16Н9М2 (ЭП-377)		

## 4.14. Покрытые электроды для сварки цветных металлов и сплавов на их основе

Тип или марка металла стержня	Марка электрода	Коэффициент наплавки, г/(А·ч)	Расход электродов на 1 кг наплавленного металла, кг	Временное сопротивление наплавленного металла, МПа	Основное назначение
-------------------------------	-----------------	-------------------------------	---	--	---------------------

## Для сварки алюминия и его сплавов

Св-А5	ОЗА-1	6,32	2,3	65...85	Сварка и наплавка при изготовлении и ремонте изделий из алюминия марок А6, АД0, АД1, АД
	АФ-4аКр				
Св-АМц или Св-АК5 (ГОСТ 7871—75)	А2	7,5...7,8	2,5	100...110	Сварка при изготовлении и ремонте изделий из сплавов АМц и АЛ-9
Св-АК5 (ГОСТ 7871—75)	ОЗА-2	6,25...6,5	2,3	Не менее 100	Сварка и наплавка деталей из литейных сплавов АЛ-2, 4, 5, 9, 11

## Для сварки меди и ее сплавов

Медь М1	«Комсомолец-100»	14	1,4	270	Сварка листовой меди, содержащей не более 0,01 % кислорода, и меди с низкоуглеродистой сталью
МН-5 (ЦМТУ 4708—55)	МН-5	12		250	Сварка медно-никелевых труб из сплава МНЖ5-1 и сварка этих труб с латунью Л90 и бронзой БрАМц9-2
БрАНМц8-5-1,5 (ТУ 58—61)	АНМц ЛКЗ-АБ	16,5	1,2	500	Исправление дефектов (заварка) в отливках из бронз типов БрАМц9 и АН



## 4.15. Покрытые электроды для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами

Электрод		Коэффициент наплавки, г/(А·ч)	Твердость наплавленного металла, НРС <sub>9</sub>	Основное назначение
Тип (ГОСТ 10051—75)	Марка			
Э-10Г2	ОЗН-250у	7...8	20...28	Наплавка с применением постоянного или переменного тока быстроизнашивающихся, подвергающихся ударным нагрузкам деталей из углеродистых и низколегированных сталей (оси, валы, автосцепки, железнодорожные крестовины, рельсы, узлы сельскохозяйственных машин и др.)
Э-11Г3	ОЗН-300у		20...35	
Э-12Г4	ОЗН-350у		35...40	
Э-15Г5	ОЗН-400у		40...44	
Э-16Г2ХМ (ТУ 14-4-317--73)	ОЗШ-1	8...8,5	35...39	Наплавки штампов для холодной штамповки; наплавка в нижнем и вертикальном положениях штампов для горячей штамповки, а также режущего инструмента
	ОЗШ-2	9...10	Не менее 56	
Э-37Х9С2	ОЗШ-3		52...58	Наплавка в нижнем и вертикальном положениях обрешных и вырубных штампов и быстроизнашивающихся деталей машин
Э-110Х14В13Ф2 (ТУ 14-4-779—76)	ВСН-5		50...55	Наплавка быстроизнашивающихся деталей, работающих при значительных ударных нагрузках в условиях абразивного изнашивания
	ВСН-8	Не менее 57		
Э-95Х7Г5С	12АН/ЛИВТ	8,3	25...32	Наплавка деталей экскаваторов, землеройных машин, работающих при ударных нагрузках
Э-320Х25С2ГР	Т-590	8,5	57...65	Наплавка стальных и чугунных деталей, подверженных абразивному изнашиванию, работающих без ударных нагрузок
Э-320Х23С2ГР	Т-620		55...62	То же, при ударных нагрузках
Э-70Х3СМТ	ЭН-60М	9	56...62	Наплавка штампов для холодной штамповки
Э-65Х11Ц3	ОМГ-Н	9,2	25...33	Наплавка щек дробилок, железнодорожных крестовин и других деталей из стали Г13Л

## 4.16. Покрытые электроды для сварки и наплавки чугуна

Тип или марка металла стержня	Марка электрода	Род тока, полярность	Пространственное положение	Основное назначение
Б — чугуновый прутки (ГОСТ 2671—70)	ОМЧ-1	Постоянный обратной полярности и переменный	Нижнее	Ремонт чугунных изделий методом горячей сварки; сварка с частичным нагревом при ремонте крупных изделий
А и Б (ГОСТ 2671—70)	ВЧ-3			Исправление дефектов чугунного литья методом горячей сварки
	ЭПЧ			
ИМЖМц 28-2,55-1,5	МНЧ-1	Постоянный обратной полярности	Нижнее и вертикальное	Сварка и наплавка изделий без подогрева, когда требуется получение вязких, хорошо обрабатываемых швов; исправление дефектов на обработанных поверхностях

Лента никелевая НН2 (ГОСТ 2170—73)	ОЗЧ-3			Заварка (без подогрева) трещин на изделиях, требующих герметичности швов и подлежащих механической обработке	
Св-04Х19Н9 (оболочка — медь)	АНЧ-1				
Св-08, Св-08А	ЦЧ-4			Нижнее	Сварка изделий из высокопрочного чугуна; заварка дефектов; сварка чугуна со сталью
	ОЗЖН-1			Нижнее и вертикальное	
Св-08Н150	ЦЧ-3А		Нижнее	Исправление дефектов деталей из серого и высокопрочного магниевого чугуна сваркой без подогрева	





лов (кварцевого песка, марганцевой руды, плавикового шпата, каустического магnezита и др.) в электрических или пламенных печах при 1400...1500 °С. Расплавленная масса выливается тонкой струей в воду и гранулируется, приобретая вид крупки размером 0,25...3 мм. Гигроскопичные флюсы, содержащие большее количество фтористых и хлористых солей, подвергают сухой грануляции. Расплавленный флюс выливают в металлургическую форму, а после остывания дробят в валках до размера 0,1...3 мм. Для изготовления *неплавленных* флюсов исходные компоненты измельчают, замешивают на жидком стекле и с целью доводки и правильного измельчения и получения однородной массы пропускуют через экструдер. После сушки и просеивания флюс готов к употреблению.

Наибольшее применение в сварочном производстве получили плавленые флюсы, к преимуществам которых относятся высокие технологические свойства (защита, формирование шва, отделимость шлаковой корки и др.) и малая стоимость. Химический состав флюсов, предназначенных для сварки алюминия, титана и их сплавов

Марка флюса	Состав	Содержание, % (мас.)	Назначение
АН-А1	Хлористый калий	50	Дуговая сварка алюминия
	Хлористый натрия	20	
АН-А4	Хлористый калий	50	Дуговая сварка алюминиево-магниевого сплава
	Хлористый литий	20	
АН-А301; АН-А302; АН-А304	Хлористый калий	20...60	Электродшлаковая сварка алюминия
	Хлористый литий	10...40	
	Хлористый барий	5...30	
	Фтористый литий	2...20	
АН-Т1	Фтористый кальций	79,5	
	Хлористый барий	19	
	Фтористый натрий	1,5	
АН-Т3	Фтористый кальций	85,5	Дуговая сварка титана толщиной до 8 мм
	Хлористый барий	10	
	Фтористый натрий	1,5	

состав некоторых марок плавленных флюсов, применяемых для сварки сталей, и примерное их назначение указаны в табл. 4.17. Для электродшлаковой сварки выбирают флюсы общего назначения (АН-348А, АН-22, 48-ОФ-6, АНФ-5) и предназначенные именно для данного процесса (АН-8 и АН-25). Содержание в этих флюсах оксидов титана обеспечивает их высокую электропроводность в твердом состоянии.

Для сварки меди и ее сплавов можно использовать флюсы ОСП-45, АН-348А, АН-20, АН-26, а для сварки алюминия, титана и их сплавов — указанные в табл. 4.18.

#### 4.6. Защитные газы

Защитные газы предназначены для защиты дуги и сварочной ванны от вредного воздействия окружающей среды и делаются химически инертными и активными.

Инертными называют газы, которые химически не взаимодействуют с нагретым металлом и не растворяются в нем. При их использовании сварку можно выполнять как плавящимся, так и неплавящимся электродом. К инертным газам относятся аргон (Аг), гелий (Не) и их смеси. Они служат для сварки алюминия, магния, титана и их сплавов, склонных при нагреве к энергичному взаимодействию с кислородом, азотом и водородом. Инертные газы обеспечивают защиту дуги и сваряемого металла, не оказывая на него металлургического воздействия.

Активными называют газы, вступающие в химическое взаимодействие со сваряемым металлом и растворяющиеся в нем. По свойствам различают три группы активных газов: с восстановительными свойствами (водород, оксид углерода); с окислительными свойствами (углекислый газ, водяные пары); выборочной активности (азот активен к черным металлам, азотинию, но инертен к меди и медным сплавам). Основным активным защитным газом является углекислый газ.

Рекомендации по выбору защитных газов даны в табл. 4.19. Ниже указана стоимость 1 м³ защитных газов по отношению к азоту.

Азот	1
Гелий	100
Аргон	28,6
Углекислый газ	0,64
Водород	2,6
Кислород	2,1

При расчете затрат следует иметь в виду, что гелий имеет более низкую плотность, в результате чего при сварке его расход выше по сравнению с аргоном.

#### 4.19. Защитные газы, рекомендуемые для дуговой сварки различных металлов

Свариваемые металлы	Толщина, мм	Сварка	
		вольфрамовым электродом	плавящимся электродом
Низкоуглеродистые, легированные, конструкционные стали	3	70...80 % Ag+20...30 % CO <sub>2</sub> ; Ag марки В	CO <sub>2</sub> ; 75...90 % Ag+10...25 % CO <sub>2</sub> ; Ag марки Г
Теплоустойчивые перлитные стали		Ag марки Б	CO <sub>2</sub> ; Ag марки Г; 75...80 % Ag+10...25 % CO <sub>2</sub>
Высоколегированные, коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные стали		Ag марки В; He; 70...80 % Ag+20...30 % CO <sub>2</sub>	Ag марки В; He; Ag марки Г; CO <sub>2</sub> ; 75...90 % Ag+10...25 % CO <sub>2</sub>
Жаропрочные хромоникелевые сплавы	Любая	Ag марки В; He	Ag марки Б; He
Алюминий и его сплавы	6	Ag марки В	Ag марки Б; Ag марок Б и В; Ag марки Е (35 % Ag+65 % He)
Титан и его сплавы	Любая	Ag марки А	Ag марки А
Медь и ее сплавы		Ag марки В; He; 70...80 % Ag+20...30 % CO <sub>2</sub>	Ag марки В; He; 70...80 % Ag+20...30 % CO <sub>2</sub>
Магниеые сплавы		Ag марки Б; He	Ag марки Б
Цирконий, молибден, тантал и другие активные металлы		Ag марки А	Ag марки А

Смеси газов в ряде случаев обладают лучшими технологическими свойствами, чем отдельные газы. Для уменьшения разбрызгивания металла и улучшения условий формирования шва при сварке применяют смесь, состоящую из 95...98 % CO<sub>2</sub> и 5...2 % O<sub>2</sub>. Она способствует мелкокапельному переносу металла и снижению потерь последнего на разбрызгивание на 30...40 %.

При сварке стальной по узкому зазору целесообразно применять особые смеси (75 % Ag+25 % CO<sub>2</sub>). В результате использования смеси из 70 % He и 30 % Ag увеличивается производительность сварки алюминия, улучшается формирование шва и обеспечивается возможность сваривать за один проход металл большей толщины.

Защитные газы хранят и транспортируют в баллонах вместимостью 40...50 л под давлением 150 атм, а жидкую углекислоту — под давлением до 60 атм. Для предохранения от коррозии и быстрого опознавания баллоны окрашивают в разные цвета и выполняют соответствующие надписи (табл. 4.20). В использованных баллонах необходимо оставлять сжатый газ под давлением не менее 0,2...0,3 МПа (2...3 атм).

4.20. Окраска и маркировка баллонов с газом

Газ	Цвет окраски			Надпись
	баллона	надписи	полосы	
Азот	Черный	Желтый	Коричневый	Азот
Гелий	Коричневый	Белый	—	Гелий
Аргон: технический чистый	Черный	Синий	Синий	Аргон технический
Углекислый	Серый	Зеленый	Зеленый	Аргон чистый
Водород	Черный	Желтый	—	Углекислый газ
	Темно-зеленый	Красный	—	Водород

#### 5. Источники питания дуги

##### 5.1. Требования к источникам питания

В отличие от обычных потребителей электроэнергии (лампы накаливания, электродвигатели, печи сопротивления и др.) электрическая дуга имеет следующие особенности: для зажигания дуги требуется напряжение значительно более высокое, чем для поддержания ее горения; она горит с перерывами, во время кото-

рых прожигает либо разрыв электрической цепи, либо короткое замыкание. Во время горения дуги с изменением ее длины меняются напряжение и сила тока. При коротком замыкании в момент зажигания и переходе капли расплавленного электрода металл на заготовку напряжение дуги падает до нуля.

На основании этих особенностей сформулированы перечисленные ниже требования к источникам питания, которые должны обеспечить три режима — рабочий, холостого хода и короткого замыкания.

1. Напряжение холостого хода на зажимах источника питания (при разомкнутой сварочной цепи) должно в 2...3 раза превышать напряжение горения дуги и быть достаточным для ее легкого возбуждения, но в то же время его значение не должно быть больше допустимого, безопасного для сварщика. Максимальное напряжение холостого хода установлено в следующих пределах: для источников переменного тока — до 80 В; для источников постоянного тока — до 90 В.

2. Мощность источника питания должна соответствовать толщине свариваемых заготовок. Необходимо, чтобы источник питания был оснащен устройством для плавного регулирования силы тока.

3. Сила тока  $I_{кз}$  при коротком замыкании должна иметь ограниченное значение. Нормальный процесс дуговой сварки обеспечивается, если  $I_{кз} = (1,1...1,5)I_{ев}$ . В некоторых случаях  $I_{кз}$  достигает значения, равного  $2I_{ев}$ . При очень больших значениях  $I_{кз}$  происходит перегрев электрода и источника питания.

4. Время восстановления напряжения от 0 до 25 В после короткого замыкания не должно превышать 0,05 с, что необходимо для устойчивого горения дуги.

5. При изменении напряжения на дуге сила тока не должна существенно изменяться, так как значительные отклонения от параметров режима приведут к снижению качества сварного соединения.

6. Источники питания дуги должны иметь небольшие массы и размеры, быть недорогими и удобными в эксплуатации.

Основными техническими показателями источников питания дуги являются внешняя характеристика, напряжение холостого хода, относительная продолжительность работы и относительная продолжительность включения при прерывистом режиме.

## 5.2. Внешняя характеристика источника питания

Внешней (вольт-амперной) характеристикой источника питания называется зависимость напряжения на зажи-

мах источника от силы тока. Источники питания могут иметь следующие внешние характеристики: крутопадающую, пологопадающую, жесткую и возрастающую (рис. 5.1).

Характеристика источников питания для ручной дуговой сварки должна быть крутопадающей, обеспечивающей стабиль-

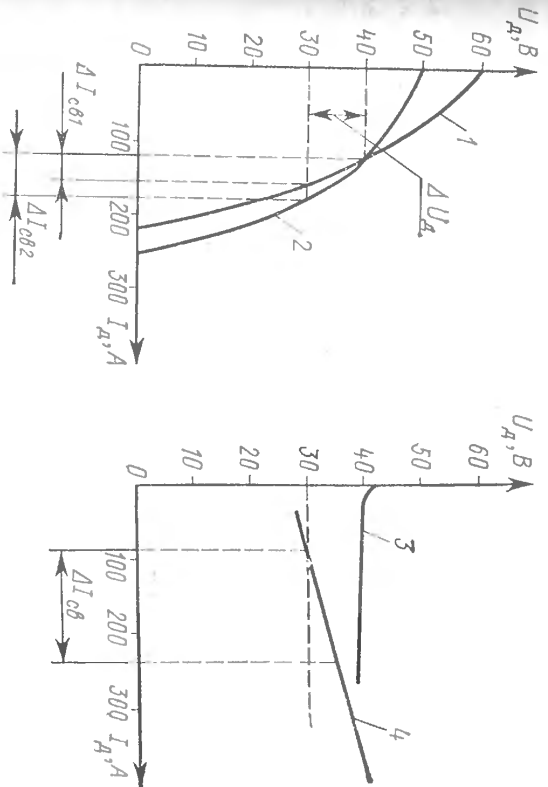


Рис. 5.1. Внешние характеристики источников питания: 1 — крутопадающая, 2 — пологопадающая, 3 — жесткая, 4 — возрастающая

мость горения дуги при неизбежных изменениях ее длины в процессе сварки. Значения длины дуги и напряжения взаимосвязаны: чем больше длина дуги, тем выше напряжение. При одинаковом падении напряжения  $\Delta U_d$  (изменении длины дуги) сила тока при крутопадающей характеристике изменяется меньше, чем при пологопадающей (см. рис. 5.1):  $\Delta I_{св1} < \Delta I_{св2}$ .

Для обеспечения устойчивого горения дуги необходимо, чтобы ее вольт-амперные характеристики (рис. 2.5) и соответствующие характеристики источника питания пересеклись в одной точке (рис. 5.2), когда  $U_d = U_{гор}$ . Таким образом, точка А характеризует устойчивое горение дуги. В случае уменьшения силы тока напряжение источника станет больше напряжения дуги (см. рис. 5.2, точка В), и сила тока увеличится до значения, равного его значению в точке А. При увеличении силы тока напряжение источника станет меньше напряжения дуги (см. рис. 5.2, точка С), и сила тока уменьшится до первоначального значения. Следовательно, для устойчивого горения дуги внешние характеристики

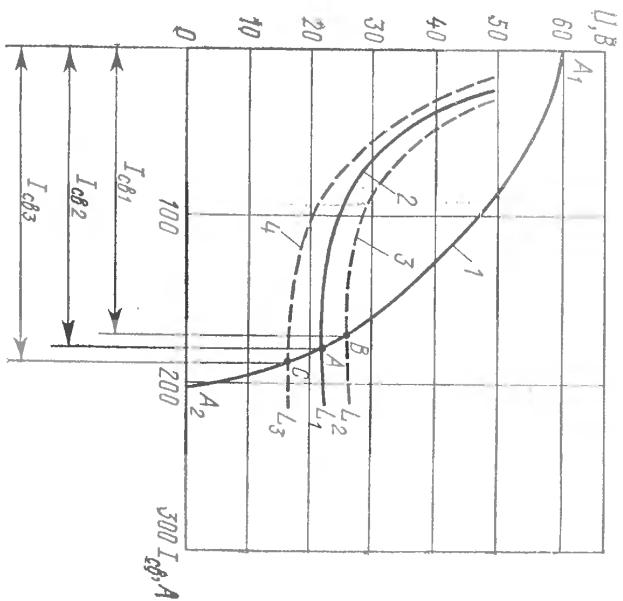


Рис. 5.2. Внешние характеристики источника питания и сварочных дуг длиной  $L_1, L_2, L_3$ :  
 1 — вольт-амперная характеристика источника питания,  
 2, 3, 4 — вольт-амперные характеристики дуги,  $A_1, A, A_2$  — точки, соответствующие моменту зажигания дуги, ее стабильному горению и короткому замыканию

новлению первоначальной длины дуги и связанного с ней напряжения. Например, при уменьшении длины дуги во время прохождения участка с повышенной напряженностью, что вызывает уменьшение силы тока, рост скорости плавления проволоки и увеличение длины дуги — система приходит в исходное состояние.

Падение характеристики могут быть получены, если в цепи с дугой последовательно включить сопротивление — балластные резисторы при сварке на постоянном токе или дроссели (индуктивные сопротивления) при использовании сварочных трансфор-

маторов. При автоматической сварке под флюсом плавлением электродом происходит эффект саморегулирования, заключающийся в том, что всякое изменение напряжения на дуге вызывает изменение силы тока и скорости плавления электродной проволоки в противоположном направлении, что ведет к восста-

новлению первоначальной длины дуги и связанного с ней напряжения. Например, при уменьшении длины дуги во время прохождения участка с повышенной напряженностью, что вызывает уменьшение силы тока, рост скорости плавления проволоки и увеличение длины дуги — система приходит в исходное состояние.

Падение характеристики могут быть получены, если в цепи с дугой последовательно включить сопротивление — балластные резисторы при сварке на постоянном токе или дроссели (индуктивные сопротивления) при использовании сварочных трансформаторов, трансформаторов и выпрямителей принят режим при  $PP=65\%$  или  $60\%$ , многопостовых источников питания — при  $PP=100\%$ .

### 5.3. Режим работы источников питания

Под режимом работы понимается соотношение между временем  $t_{св}$  сварки и временем  $t_{х}$  холостого хода (переключающийся режим) или временем  $t_{п}$  паузы в случае, если источник питания отключается от сети (повторно-кратковременный режим). Во время холостого хода или паузы выполняют смену электродов, сборку заготовок, очистку шва от шлака и других загрязнений, происходит также охлаждение источника питания. *Переключающийся режим* характеризуется продолжительностью работы  $PP$  (%), определяемой с помощью выражения

$$PP = \frac{t_{св}}{t_{св} + t_{х.х}} \cdot 100. \quad (5.1)$$

*Повторно-кратковременный режим* характеризуется продолжительностью включения  $PВ$  (%), для определения которой используют выражение

$$PВ = \frac{t_{св}}{t_{св} + t_{п}} \cdot 100. \quad (5.2)$$

Значение  $PP$  учитывают при ручной дуговой сварке, а также при автоматической и механизированной сварке под флюсом на постоянном токе. В остальных случаях учитывают значение  $PВ$ , которое считают равным  $PP$ . Для ручной дуговой сварки обычно принимают  $t_{св} + t_{п} = 5$  мин, причем  $t_{св} = 3$  мин, а  $t_{п} = 2$  мин.

За номинальный режим работы однопостовых сварочных генераторов, трансформаторов и выпрямителей принят режим при  $PP=65\%$  или  $60\%$ , многопостовых источников питания — при  $PP=100\%$ .

Каждый источник питания рассчитывают на номинальную нагрузку, при которой он работает, не перегреваясь выше допустимых норм. В паспорте источника питания указывают номинальные значения силы тока  $I_n$  и продолжительности работы  $P_n$ . В тех случаях, когда сварка выполняется при более жестких по сравнению с паспортными режимах, определяют максимальную допустимую силу тока ( $A$ ):

$$I_{доп} = I_n \sqrt{\frac{P_n}{P}} \quad (5.3)$$

**Пример.** Определить допустимую силу тока для трансформатора ТС-300 ( $P_n = 60\%$ ,  $I_n = 300$  А), если источник работает непрерывно более 10 мин, т. е.  $P = 100\%$ .  
 Пользуясь формулой (5.3), находим, что  $I_{доп} = 300 \sqrt{6/100} \approx 240$  А. Таким образом, при непрерывном режиме работы сила тока не должна превышать 240 А.

### 5.4. Классификация и обозначение источников питания

Источники питания дуги классифицируют по следующим признакам: *роду тока* — на источники постоянного и переменного тока общепромышленного назначения; *количеству одновременно работающих сварочных постов* — на однопостовые и многопостовые; *назначению* — на источники для ручной дуговой сварки покрытыми электродами; автоматической и механизированной сварки под флюсом; сварки в защитных газах; электрошлаковой сварки; плазменной сварки и резки; источники специального назначения (для сварки трехфазной дугой, импульсно-дуговой сварки и др.); *принципу действия и конструктивному исполнению*; *специализированные источники питания* в установках.

Для обозначения источников питания применяют буквы и цифры. Оно состоит из двух частей, разделенных дефисом: первая буква означает тип изделия (Т — трансформатор, В — выпрямитель, Г — генератор, У — установка); вторая буква — вид сварки (Д — дуговая, П — плазменная, Ш — электрошлаковая, Т — трехфазной дугой); третья буква — способ сварки (Ф — под флюсом, Г — в защитных газах, У — универсальные источники для нескольких способов сварки); отсутствие буквы означает ручную сварку штучными электродами; четвертая буква — дальнейшее пояснение назначения источника (М — для многопостовой сварки, И — для импульсной сварки); одна или две цифры после дефиса — номинальная сила тока источника (округленно в сотнях А); две последние цифры (например, 02) — регистрационный номер изделия; следующие буква и цифра — климатическое исполнение (У или Т) и категория размещения (2; 3 или 4).

В качестве примера даны обозначения двух источников питания и соответственно их расшифровка:  
 ВДТМ-1602У3 — выпрямитель для ручной сварки в защитных газах многопостовой; сила тока — 1600 А; регистрационный номер изделия — 02; климатическое исполнение — У; категория размещения — 3.  
 ТД-502 — трансформатор для ручной дуговой сварки штучными электродами однопостовой; сила тока — 500 А; регистрационный номер изделия — 02.

### 5.5. Источники питания переменного тока

К этим источникам питания относятся сварочные трансформаторы, предназначенные для одного поста и применяемые для ручной дуговой сварки штучными электродами и для механизированной сварки под флюсом, а также трехфазные источники питания. Сварочные трансформаторы подразделяют на две группы: с нормальным магнитным рассеянием и отдельной реактивной обмоткой; с повышенным реактивным рассеянием.

**Однофазные сварочные трансформаторы с нормальным магнитным рассеянием и отдельной реактивной обмоткой.**  
 В трансформаторах этого типа (рис. 5.3) обмотка дросселя последовательно включена в сварочную цепь. Падаящая характеристика соедается ЭДС самонадукции, возникающей в обмотке дросселя. Сила сварочного тока плавно регулируется изменением зазора  $\delta$  между подвижной и неподвижной частями дросселя. При  $\delta = 0$  сила тока минимальна, так как магнитный поток в сердечнике дросселя

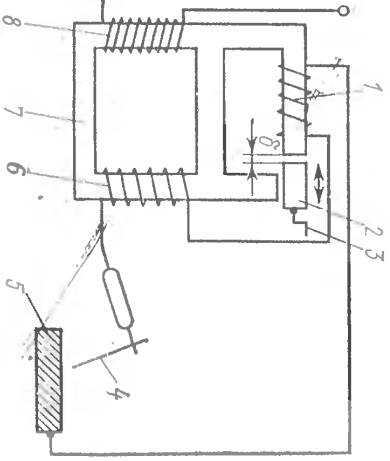


Рис. 5.3. Электрическая схема сварочного трансформатора с нормальным магнитным рассеянием и отдельной реактивной обмоткой.

1 — обмотка дросселя, 2 — подвижный пакет сердечника-магнитопровода, 3 — рукоятка, 4 — электрод, 5 — заготовка, 6, 7 — вторичная и первичная обмотки, 8 — сердечник-магнитопровод;  $\delta$  — переменный зазор



и ЭДС самондукции имеют максимальные значения. При максимальном зазоре  $\delta$  сила тока максимальна.

По этой схеме промышленностью ранее выпускались сварочные трансформаторы СТЭ-24у, СТЭ-34у, СТН-350, СТН-500, СТН-500-1, СТН-700. В настоящее время выпускаются трансформаторы ТСД-500-1, ТСД-1000-4, ТСД-2000-2, предназначенные для питания автоматических установок. Технические характеристики этих трансформаторов приведены в табл. 5.1.

### 5.1. Технические характеристики однофазных сварочных трансформаторов с нормальным магнитным рассеянием и реактивной обмоткой

Характеристика	Тип трансформатора		
	ТСД-500-1	ТСД-1000-4	ТСД-2000-2
Напряжение холостого хода $U_{x,x}$ , В	80	71	79
Продолжительность работы ПР, %	60		
Номинальная сила сварочного тока $I_n$ , А	500	1000	2000
Номинальная мощность $N$ , кВ·А	42	78	162
Пределы регулировки силы сварочного тока $\Delta I_n$ , А	200...600	400...1200	800...2200
Коэффициент мощности cos $\phi$	0,6		0,64
Габаритные размеры, мм:			
длина	950		
ширина	818		
высота	1215	1242	1382
Масса $Q$ трансформатора, кг	420	510	675

**Трехфазные сварочные трансформаторы с повышенным магнитным рассеянием.** Регулирование силы сварочного тока происходит за счет изменения магнитных полюсов рассеяния между

первичной и вторичной обмотками и осуществляется следующими способами: изменением расстояния между катушками первичной и вторичной обмоток — ТС-300, ТС-500, ТСК-300, ТСК-500, ТД-300, ТД-500 (рис. 5.4); подвижным магнитным шунтом — СШ-250, СШ-300, СШ-500, СШ-500-80, СТАН-0, СТАН-1, ОСТА-350 (рис. 5.5); неподвижным магнитным шунтом и помещенной на нем обмоткой управления — ТДФ-1001, ТДФ-2001.

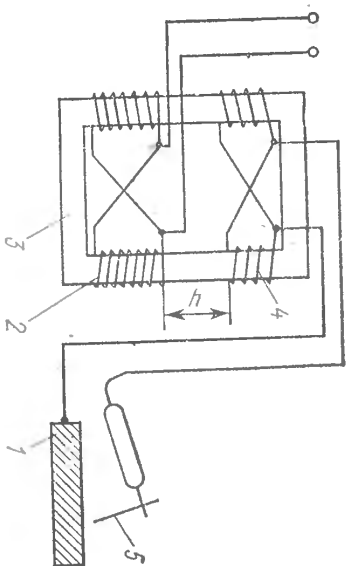


Рис. 5.4. Электрическая схема сварочного трансформатора с перемещением вторичной обмотки: 1 — катушка первичной и вторичной обмоток, 2 — катушки первичной и вторичной обмоток, 3 — магнитопровод, 4 — зазор

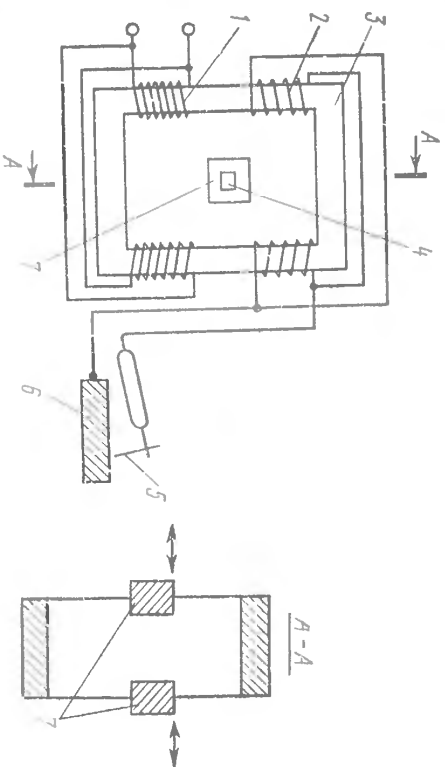


Рис. 5.5. Электрическая схема сварочного трансформатора типа СШ: 1, 2 — первичная и вторичная обмотки, 3 — сердечник, 4 — винтовая механика (стрелками показано его возможное перемещение), 5 — катушка, 6 — катушка, 7 — магнитный шунт

## 5.2. Технические характеристики сварочных трансформаторов с повышенным магнитным рассеянием

Тип трансформатора	$U_{x-x'}$ , В	ПВ, %	$I_{II}$ , А	$N$ , кВ·А	$\Delta I_{II}$ , А	cos $\varphi$	Габаритные размеры, мм			Q, кг
							Длина	Ширина	Высота	
СТАН-0	55; 65; 80	65	120	7,6	20...150	0,51	698	429	485	85
СТАН-1	60; 70		350	20,2	60...480	0,52	870	520	800	185
ОСТА-350	70			20	50...445	0,7	810	450	710	200
СТШ-250	61	20	250	16,3	70...260	0,4	420	260	425	44
СТШ-300	63	60	300	20,5	110...405	0,52	545	695	707	158
СТШ-500	62		500	33	145...650	0,5	670	665	753	220
СТШ-500-80	80			44,5	60...650	0,62	980	765	766	323
ТС-120	68		120	9	50...160	0,43	650	340	800	90

ТС-300	63	60	300	20	100...385	0,51	760	520	970	180
ТС-500	60		500	32	40...650	0,53	840	576	1060	250
ТСҚ-300	63		300	20	100...385	0,72	760	520	970	215
ТСҚ-500	60		500	32	40...650	0,65	840	576	1060	280
ТД-300	61; 79		300	20	60...385	0,53	692	620	710	137
ТД-500	60; 76		500	32	90...650	0,65	720	570	835	210
ТДМ-503	65; 75			36	75...580		585	555	888	175
ТДФ-1001	68...71	—	1000	82	400...1200	—	830	1200	1200	720
ТДФ-2001	74...79		2000	170	800...2200					980

## 5.3. Технические характеристики трехфазных сварочных трансформаторов

Параметр	Тип трансформатора						
	УДГТ-315	ТТС-400	З-СТ	ТТСД-1000	ТНС-600	ТНС-1000-3	ТНС-3000-3
Номинальная сила сварочного тока, А	315	400	300	1000	600	1000	3000
Напряжение, В:	380		220/380		380		
вторичное	65	60	59; 68	69; 78	38...62		38...63
Число ступеней регулирования рабочего напряжения	—		4	2	18		10
Номинальная мощность, кВ·А	—	52	45	150	96	160	450
Продолжительность работы, %	60	50	60		1450	100	
Масса, кг	250	—		1450		1500	—

В трансформаторах типа СТП первичная и вторичная обмотки закреплены на общем сердечнике. Между обмотками расположен магнитный шунт, состоящий из двух половин, которые могут раздвигаться и сдвигаться. Когда половинный шунт раздвинут, магнитный поток рассеяния уменьшен и сила тока максимальна. При сдвинутых половинках шунта сила тока минимальна. В табл. 5.2 приведены основные технические характеристики трансформаторов этой группы.

**Трехфазные сварочные источники питания.** Промышленность выпускает источники питания для ручной автоматической и электродуговой сварки (табл. 5.3). Сварка трехфазной дугой имеет ряд преимуществ по сравнению с одноступенчатой сваркой, таких, как повышенная производительность сварочных работ, небольшой расход электроэнергии, значительный коэффициент мощности  $\cos \phi$ .

Источник питания состоит из одного трехфазного или двух однофазных трансформаторов и трех дросселей (рис. 5.6). Регулирование силы тока осуществляется дросселем вручную или дистанционно. Сварка выполняется двумя электродами, закрепленными в специальном держателе и изолированными друг от друга. Одновременное горение трех дуг (см. рис. 2.6) повышает мощность и предопределяет преимущества данного способа сварки.

**Обслуживание сварочных трансформаторов.** Перед началом работы следует убедиться в надежности заземления трансформатора и отсутствии оголенных проводов. Все запитанные кожухи

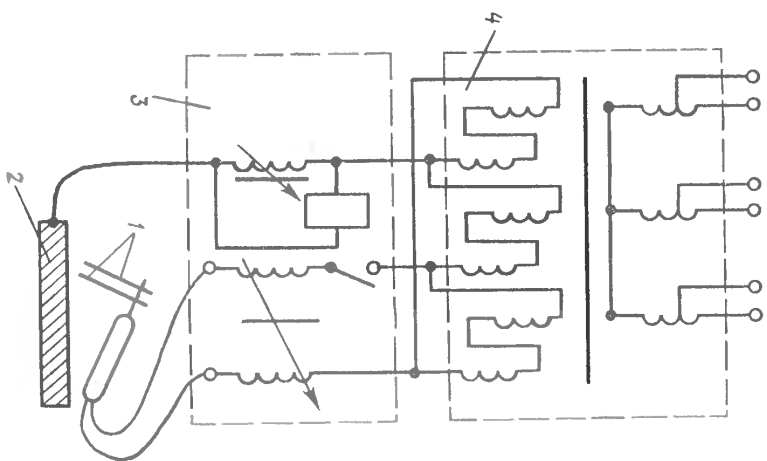


Рис. 5.6. Электрическая схема трехфазного источника питания с отдельными дросселями:  
1 — электроды, 2 — заготовка, 3 — блок дросселей, 4 — блок трансформаторов

#### 5.4. Характерные неисправности сварочных трансформаторов

Неисправность	Возможная причина	Способ устранения
Трансформатор сильно нагревается	Неправильное включение в сеть	Проверить включение первичной обмотки
	Превышение допустимого значения силы сварочного тока	Уменьшить силу сварочного тока; разоботать электродом меньшего диаметра
Чрезмерно нагреваются сердечник и шпильки, стягивающие его	Замыкание между витками обмотки	Отправить трансформатор в ремонт
	Нарушение изоляции и замыкание между собой стальных листов, из которых набраны сердечники трансформатора и регулятора, в местах прохождения шпилек	Восстановить исправность изоляции
Сильно нагреваются зажимы трансформатора	Слабая затяжка контактных болтов	Подтянуть тактные болты
	Недостаточное сечение провода в месте контакта	Заменить проводом нормального сечения
Трансформатор сильно гудит	Ослабление болтов, стягивающих сердечник, или винтов, крепящих кожух	Подтянуть болты, затянуть винты
	Перекас сердечника регулятора	Затянуть болты равномерно, без перекоса
	Ослабление крепления сердечника и механизма перемены катушек	Устранить перекосы в механизме перемены катушек; подтянуть шпильки

#### Продолжение табл. 5.4

Неисправность	Возможная причина	Способ устранения
Трансформатор не обеспечивает нижний или верхний предел регулирования	Повреждение изоляции между обмотками и корпусом (обнаруживается проверкой с помощью мегаомметра)	Устранить повреждение изоляции
	Подвижные вторичные катушки не доходят до упоров (заедание в ходовом винте, попадание посторонних предметов между катушкой и стержнем и др.)	Устранить причину заедания

должны быть всегда надежны и закреплены, болтовые и винтовые соединения — хорошо затянуты.

Постоянно нужно следить за надежностью контактных соединений и не допускать их неполного включения. Во избежание перегрева, оказывающего отрицательное воздействие на изоляцию обмоток, трансформатор следует устанавливать вдали от источников тепла и не допускать его работы с перегрузками. При работе вне помещения трансформатор необходимо защищать от осадков, в противном случае возможны пробой отыревшей изоляции обмоток и межвитковое замыкание.

Запрещается при перемещении трансформатора использовать сварочные провода. Следует оберегать трансформатор от механических повреждений, регулярно очищать сердечник и обмотки от пыли и грязи. Рекомендуется 1 раз в месяц обдуть трансформатор сжатым воздухом, проверить состояние изоляции и смазать консистентной смазкой ходовой винт механизма перемещения сердечника или катушек обмоток.

Характерные неисправности сварочных трансформаторов и способы их устранения указаны в табл. 5.4.

#### 5.6. Источники питания постоянного тока

Источники постоянного тока для дуговой сварки разделяют на две группы: 1) вращающиеся электромашинные преобразователи и сварочные агрегаты; 2) сварочные выпрямители. Вращающиеся преобразователи состоят из генератора постоянного

тока и соосного с ним асинхронного двигателя. В сварочных агрегатах вращение генератора производится от двигателя внутреннего сгорания. Сварочные выпрямители являются статическими преобразователями энергии трехфазной сети в энергию выпрямленного тока, используемую для питания дуги. Они имеют более высокие технико-экономические и эксплуатационные показатели и шире применяются, чем источники первой группы.

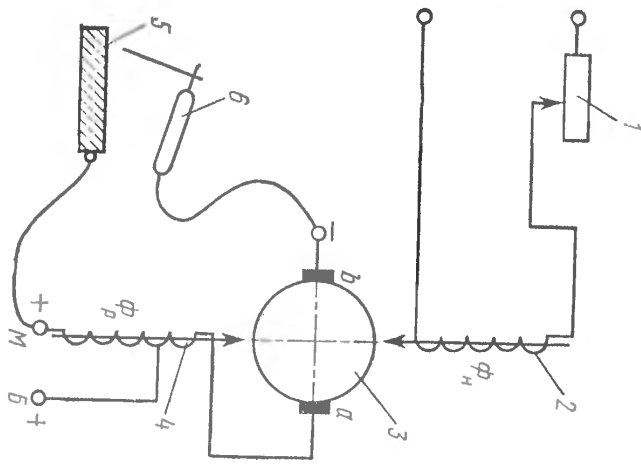


Рис. 5.7. Электрическая схема генератора с независимым возбуждением и последовательной размагничивающей обмоткой:

1 — диод, 2, 4 — намагничивающая и размагничивающая обмотки, 3 — генератор, 5 — свариваемая заготовка, 6 — электродержатель; б — зажим «Малые токи», а, в — щетки генератора

торы с независимым возбуждением и последовательной размагничивающей обмоткой (рис. 5.7) получают частоту вращения синхронную с частотой вращения якоря и равную 3000 об/мин (в преобразователях АСО-2000 и ПСО-1000-III — 1500 об/мин). Обмотка независимого возбуждения, питающаяся от сети переменного тока через полупроводниковый выпрямитель,

### Сварочные преобразователи и агрегаты.

Основным узлом сварочных преобразователей и агрегатов является сварочный генератор. Магнитные системы и расположение обмоток возбуждения сварочных генераторов и генераторов постоянного тока общепромышленного исполнения различны. Наибольшее распространение получили сварочные генераторы, обладающие падающими внешними характеристиками и работающие по четырем основным магнитозлектрическим схемам: с независимым возбуждением и последовательной размагничивающей обмоткой; вентильные; со специальной схемой самовозбуждения.

### Сварочные генераторы

Сварочные генераторы с независимым возбуждением и последовательной размагничивающей обмоткой (рис. 5.7) получают частоту вращения синхронную с частотой вращения якоря и равную 3000 об/мин (в преобразователях АСО-2000 и ПСО-1000-III — 1500 об/мин). Обмотка независимого возбуждения, питающаяся от сети переменного тока через полупроводниковый выпрямитель,

### 5.5. Технические характеристики однофазовых сварочных преобразователей с падающей характеристикой

Характеристика	Тип преобразователя						
	ПСО-120	ПСО-300А	ПД-303	ПСО-500	ПСО-800	АСО-2000	ПС-1000-III
Тип генератора	ГСО-120	ГСО-300А	—	ГСО-500	ГСО-800	ГС-1000-II	ГС-1000-III
Номинальная сила сварочного тока (ПР = 65%), А	120	300	300	500	800	1000×2	1000
Напряжение холостого хода, В	48...65	55...80	65	58...86	60...90	—	—
Пределы регулирования силы сварочного тока, А	30...120	75...300	80...300	125...600	200...800	(300...1200)×2	300...1200
Мощность преобразователя, кВт	7,3	12,5	10	28	55	56	55
Частота вращения якоря, об/мин	2900	2890	2890	2930	—	1460	1460
КПД, %	55	60	—	59	57	59	60
Масса, кг	155	400	331	540	1040	4100	1600

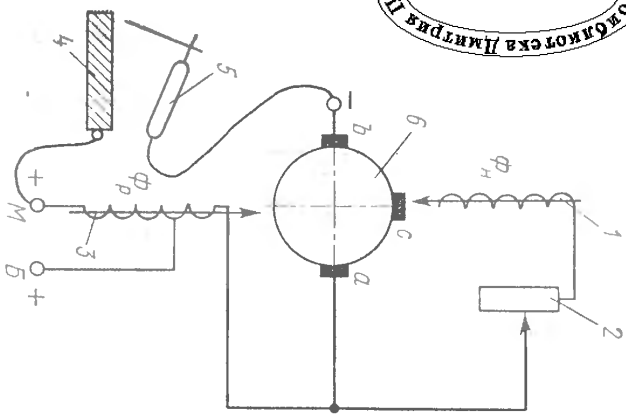


Рис. 5.8. Электрическая схема генератора с самовозбуждением и последовательной размагничивающей обмоткой:

1, 3 — намагничивающая и размагничивающая обмотки, 2 — реостат, 4 — свариваемая заготовка, 5 — электроподдержатель, 6 — генератор; Б — зажим «Большие токи», М — зажим «Малые токи», а, б, с — щетки генератора

создает магнитный поток  $\Phi_n$ , индуцирующий на щетках генератора напряжение, необходимое для возбуждения дуги. На холостом ходу, когда сила тока равна нулю, размагничивающая обмотка не действует. При горшей дуге сварочный ток, проходящий через размагничивающую обмотку, создает магнитный

поток  $\Phi_r$ , направленный навстречу потоку  $\Phi_n$ , что позволяет получить падшую внешнюю характеристику. Силу сварочного тока регулируют переключением числа витков размагничивающей обмотки (малые токи — большие токи) и реостатом.

Генераторами, работающими по схеме, показанной на рис. 5.7, оснащены преобразователи ПСО-120, ПСО-300А, ПД-303, ПСО-500, ПСО-800, ПСО-1000-III, АСО-2000 (табл. 5.5).

Сварочные генераторы с самовозбуждением и последовательной размагничивающей обмоткой (рис. 5.8) имеют полюсы, выполненные из ферромагнитной стали, обладающей остаточным магнетизмом. При вращении генератора его якорь создает ток в обмотке независимого возбуждения, при этом значение напряжения между щетками а и с почти постоянно, что позволяет получать стабиль-

5.6. Технические характеристики сварочных преобразователей с самовозбуждением и последовательной размагничивающей обмоткой

Характеристика	Тип преобразователя			
	ПД-101	ПС-300-1	ПСТ-300М	ПС-500
Тип генератора	ГД-101	ГСО-300	ГСО-300М	ГС-500
Номинальная сила сварочного тока, А	125	300	300	500
Напряжение холостого хода, В	80	75	60	62...80
Пределы регулирования силы сварочного тока, А	15...135	75...320	100...300	120...600
Продолжительность работ, %	65	65	60	65
Мощность преобразователя, кВт	7,5	14	17	28
Частота вращения якоря, об/мин	2910	1450	2910	1450
КПД, %	60	70	70	55
Масса, кг	222	430	350	940

Вентильные сварочные генераторы входят в состав сварочных агрегатов АДБ с двигателями внутреннего сгорания и сварочных преобразователей ПД с асинхронными двигателями. Агрегаты АДБ применяют для работы в полевых условиях, преобразователи ПД — в заводских.

На рис. 5.9 приведена электрическая схема вентильного сварочного генератора ГД-312 с самовозбуждением, который состоит из индукторного пульсационного синхронного генератора повышенной частоты и бесконтактного выпрямительного устройства, собранного на неуправляемых вентилях  $V1...V6$  по трехфазной мостовой схеме выпрямления. При пуске, когда генератор не нагружен, а его вал начал вращаться, на зажимах обмотки статора появляется напряжение порядка 7...8 В. Трансформатор Т1 повышает это напряжение, и после выпрямления оно подается на зажимы обмотки возбуждения. Генератор самовозбуждается до напряжения холостого хода, которое регулируют резистором R1. При нагрузке ток проходит через первичную обмотку трансформатора Т2 и через вентиль V9 дополнительно питает обмотку возбуждения. В вентильном генераторе осуществляется ступенчатое-плавное регулирование силы сварочного тока с помощью выключателей S и резистора R2. Технические характеристики агрегата АДБ-318 с вентильным генератором ГД-312 приведены на с. 128.

## 5.7. Технические характеристики сварочных агрегатов

Характеристика	Тип агрегата					
	АСБ-300-7	АСД-3-1	АСДП-500	АСДП-2×300Г	СДУ-2	ПАС-400-VII
Конструкция	На раме, без колес		На двухосном прицепе	На двухколесном прицепе	На базе трактора Т-100М	На раме с роликами для перемещения
Тип генератора	ГСО-300-5	СГП-3-VIII		ГСГ-300 (два)	ГСМ-500	СГП-3-VI
Двигатель	ГАЗ-320	ЯАЗ-М20Г4			Д-108	ЗИЛ-120
Номинальная сила сварочного тока (ПР = 65%), А	300	500		300×2	600	400
Мощность двигателя, кВт	22	44			80	47
Частота вращения ротора, об/мин	2000	1500				1500...1700
Масса, кг	700	2500	5000	2500	14350	1900

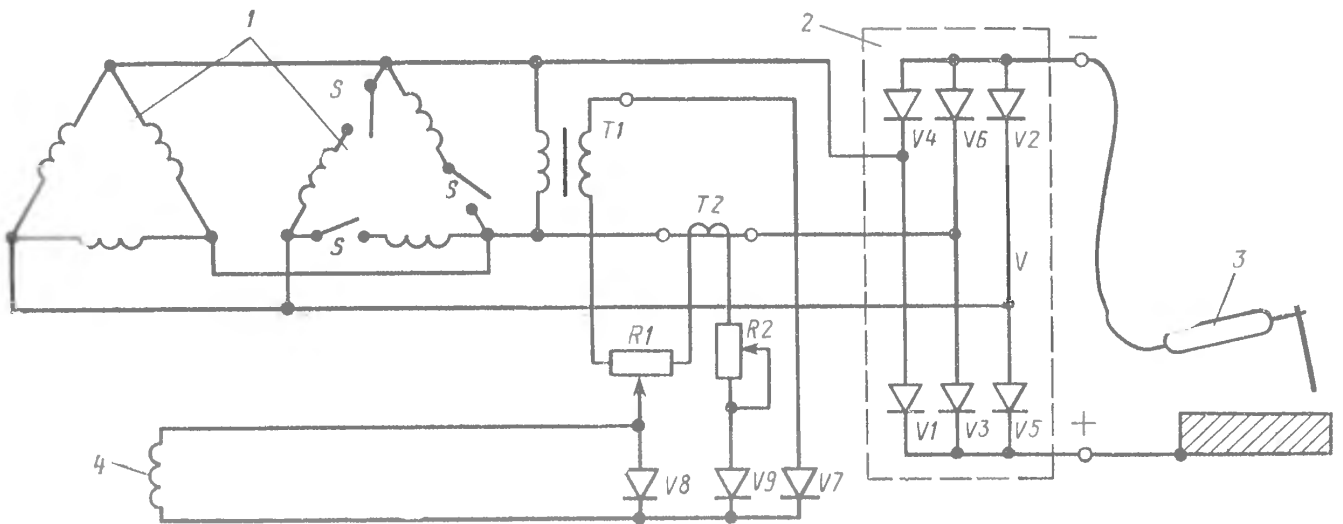


Рис. 5.9. Электрическая схема вентильного генератора ГД-312 с самовозбуждением:

1 — индукторный пульсационный синхронный генератор повышенной частоты, 2 — выпрямительный блок, 3 — электрододержатель, 4 — обмотка возбуждения; T1, T2 — обмотки повышающего трансформатора, V1...V6 — неуправляемые вентили, V7...V9 — вентили обмотки возбуждения, R1, R2 — управляющие резисторы, S — выключатели

Техническая характеристика сварочного агрегата АДБ-318 с вентиляльным генератором ГД-312

Напряжение холостого хода, В	85
Номинальная сила сварочного тока, А	315
Пределы регулирования силы сварочного тока, А:	
для первой ступени	40...180
для второй ступени	160...350
Номинальное рабочее напряжение, В	32
Продолжительность работы, %	60
Бензиновый двигатель:	
тип	320-01
частота вращения, об/мин	2000
мощность, кВт	29
расход топлива, кг/ч	4,85
Топливо	бензин
Масса агрегата, кг	А-72 710

Сварочные генераторы со специальной схемой самовозбуждения (рис. 5.10) имеют жесткую или падающую характеристику, что достигается применением на генераторе одной пары главных полюсов — сердечников с вырезами в средней части. Такое конструктивное исполнение сердечников позволяет обеспечивать надежное возбуждение при минимальных напряжениях холостого хода. Получение падающих или жестких характеристик достигается комбинацией включения обмоток генератора.

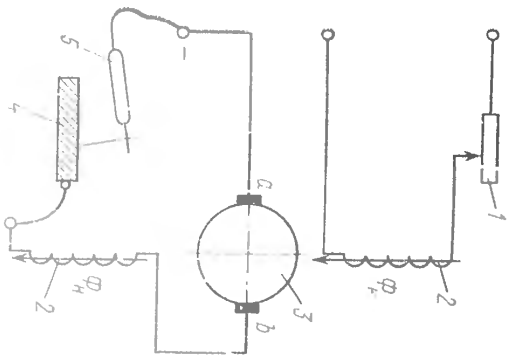


Рис. 5.10. Генератор со специальной схемой самовозбуждения:

- 1 — ротор, 2 — намагничивающая обмотка, 3 — генератор, 4 — свариваемая заготовка, 5 — электрододержатель

Преобразователи, оснащенные генераторами, работающими по схеме, приведенной на рис. 5.10, применяются в качестве источников питания подавтоматов для сварки в углекислом газе (ПСГ-350, ПСГ-500-1). Преобразователь ПСГ-500-1 показан на рис. 5.11.

Преобразователи ПСУ-300 и ПСУ-500-2 являются универсальными и могут применяться как для питания постов ручной дуговой сварки, так и для механизированной сварки в углекислом газе. Характеристики преобразователей данной группы приведены в табл. 5.8.

**Сварочные выпрямители.** Сварочными выпрямителями называют устройства, ко-

5.8. Технические характеристики сварочных преобразователей с жесткими характеристиками

Характеристика	Тип преобразователя					
	ПСГ-350	ПСГ-500-1	ПСУ-300		ПСУ-500-2	
			С жесткой характеристикой	С падающей характеристикой	С падающей характеристикой	С жесткой характеристикой
Тип генератора	ГСГ-350	ГСГ-500-1	ГСУ-300		ГСУ-500-2	
Номинальная сила сварочного тока, А	350	500	300		500	
Напряжение холостого хода, В	15...35	18...42	48	16...36	28...48	16...32
Пределы регулирования силы сварочного тока, А	50...350	60...500	75...300	—	120...500	60...500
Продолжительность работы, %		60	65	60	65	60
Номинальное напряжение, В	30	40		30		40
Пределы регулирования напряжения, В	15...35	16...40	—	10...35	26...40	16...40
Частота вращения якоря, об/мин	2900		2930			2890
Мощность преобразователя, кВт	14		28			10
Масса, кг	400	500	315		545	



### 5.9. Технические характеристики однопостовых сварочных выпрямителей с падающей внешней характеристикой

Характеристика	Тип выпрямителя											
	ВВС-120-4	ВСС-300-3	ВКС-500	ВКС-500-1	ВД-303*	ВД-304	ВКС-120	ВКСУ-500-1	ВКСУ-500-2	$\frac{ВД-101}{ВД-102}$	$\frac{ВД-301}{ВД-302}$	
Первичное напряжение, В	220/380		220; 380			380	220, 380	380			220; 380	
Выпрямленное напряжение холостого хода, В	63...57	61...58	65...74	65...78	75...85	70	65...55	78		$\frac{64}{61}$	$\frac{65}{61}$	
Номинальная сила сварочного тока, А	120	500	500		300	315	120	500	1000	125	300	
Номинальное выпрямленное напряжение, В	25	30	40		32		30	40		25	32	
Продолжительность работы, %	65		60			65		60				

Пределы регулирования силы сварочного тока, А	15... ...130	40... ...320	60... ...550	80... ...550	50... ...300	30... ...330	15...130	75...395	150... ...1150	20...125	55...310
Полезная мощность, кВт	3	9	20		9,6	3		20	40	3,5	9,6
КПД, %	68	66	75		73	—		73	75	73	63
Коэффициент мощности $\cos \varphi$	0,58	0,6	0,74		—		0,65	0,74	0,64	0,65	
Потери холостого хода, Вт	300	650	1000		600	—		300	1000	2000	300
Масса, кг	180	240	410	385	270	300	142	420	850	$\frac{170}{160}$	$\frac{230}{220}$

\* Может быть использован для сварки сжатой дугой.

торые с помощью полупроводниковых элементов преобразуют напряжение переменного тока в однофазной или трехфазной сети в напряжение постоянного тока с необходимой внешней характеристикой и предназначены для питания сварочной дуги.

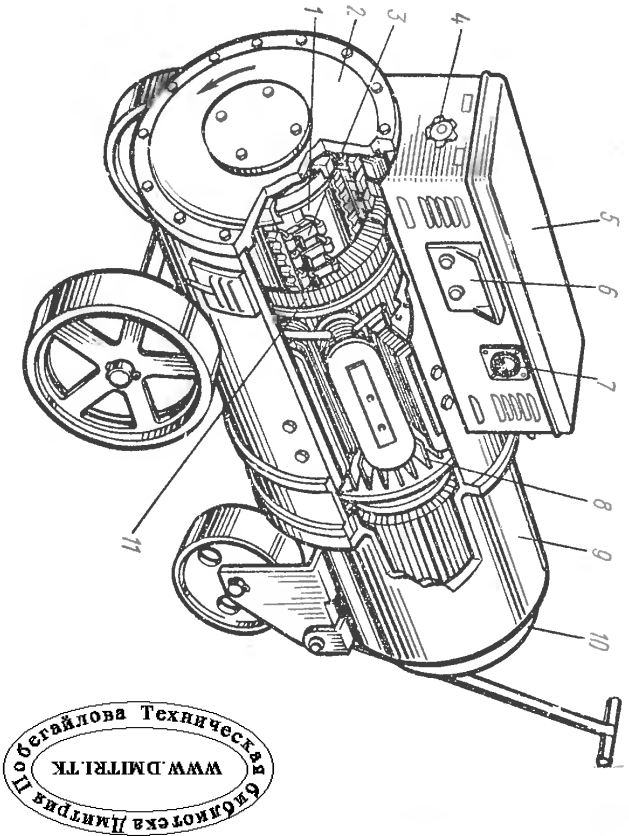


Рис. 5.11. Сварочный преобразователь ПСТ-500-1:

1 — коллектор, 2, 10 — передняя и задняя крышки, 3 — щетки колектора, 4 — реостат, 5 — щетка, 6 — доска с контактами, 7 — вольтметр, 8 — вентилятор, 9 — корпус, 11 — якорь

Сварочные выпрямительные установки в соответствии с ГОСТ 13821—77 выпускают на номинальные силы тока 120...1000 А, трансисторные источники питания — 15...300 А с пределами регулирования от 0,15 до 300 А.

Основными узлами сварочного выпрямителя являются понижающий трансформатор, блок выпрямительных вентилялей, вентилятор, пускорегулирующая и стабилизирующая аппаратура.

В зависимости от внешней вольт-амперной характеристики, количества постов и способа сварки сварочные выпрямители подразделяют на однопостовые с падающей внешней характеристикой, однопостовые с жесткой внешней характеристикой, однопостовые универсальные, многопостовые, однопостовые трансисторные.

Сварочные выпрямители *однопостовые с падающей внешней*

характеристикой (табл. 5.9) предназначены для ручной дуговой сварки и наплавки, а также для механизированной сварки под флюсом. Падающая внешняя характеристика и заданное значение силы сварочного тока обеспечивают трансформатором. Для преобразования тока используют селеновые (выпрямители серии ВСС) и кремневые (выпрямители серий ВКС и ВД) вентиляи. По сравнению с кремниевыми селеновые вентиляи имеют меньший КПД, но обладают большей стойкостью к перегрузкам.

Сварочные выпрямители *однопостовые с жесткой внешней характеристикой* (табл. 5.10) предназначены для механизированной сварки в углекислом газе плавящимся электродом, электрошлаковой сварки и сварки самозащитной проволокой.

*Однопостовые универсальные* сварочные выпрямители (табл. 5.11) обеспечивают возможность получения как жесткой, так и падающей внешней характеристик, поэтому их можно применять для ручной дуговой сварки, автоматической сварки плавящимся и неплавящимся электродами в защитных газах и сварки под флюсом.

*Многопостовые* сварочные выпрямители (табл. 5.12) предназначены для одновременного обслуживания 6...30 постов ручной дуговой сварки. Эти выпрямители, изготовляемые на кремниевых вентиляях, отличаются высоким КПД, хорошими энергетическими показателями, бесшумностью работы, малыми габаритными размерами и небольшой массой. Они рассчитаны на работу в закрытых помещениях при температуре окружающего воздуха от —40 до +40 °С.

Трансисторные источники питания (табл. 5.13) используют для аргонодуговой сварки неплавящимся электродом различных металлов и сплавов на постоянном или импульсном токе. Диапазон силы сварочного тока этих источников питания обеспечивает сварку металлов толщиной от сотых долей миллиметра до нескольких миллиметров. На рис. 5.12 представлена электрическая схема трансисторного источника питания АП-4.

Трансисторные источники питания обеспечивают плавное регулирование силы сварочного тока, надежное возбуждение дуги и ее устойчивое горение (со стабильной силой тока) при колебании длины от 0,5 до 3 мм, плавное уменьшение силы тока дуги в конце сварки, что необходимо для устранения кратера шва. Пульсации тока в дуге возникают с помощью генератора импульсов 4 (см. рис. 5.12), выполненного на полупроводниковых триодах. Длительность импульса составляет 0,03...0,05 с, длительность паузы — 0,1...0,5 с. Переход с импульсного режима на непрерывный осуществляется переключателем П.

### 5.10. Технические характеристики однопостовых сварочных выпрямителей с жесткой внешней характеристикой

Характеристика	Тип выпрямителя											
	ВС-200	ВС-300	ВДГ-301	ВС-500	ВДГ-502	ВС-600	ВС-1000	ВС-1000-2	ИПП-120П	ИПП-300П	ИПП-500П	ИПП-1000П
Номинальная сила сварочного тока, А	200	300		500		600	1000		120	300	500	1000
Продолжительность работы, %	65											
Пределы регулирования рабочего напряжения, В	19... ...26	20... ...48	15... ...32	20... ...45	16... ...40	20... ...40	17... ...48	18... ...65	14... ...24	16... ...40	17... ...50	20... ...60
Пределы регулируемой силы сварочного тока, А	30... ...200	30... ...300	40... ...300	50... ...500	60... ...500	60... ...600	До 1000		40... ...120	60... ...300	80... ...500	100... ...1000
КПД, %	70		72	75	90	75			73	75	76	81
Мощность, кВт	—								3	11	27	60
Масса, кг	187	250	210	350	370	450	600	—	180	225	450	850

### 5.11. Технические характеристики однопостовых универсальных сварочных выпрямителей

Характеристика	Тип выпрямителя											
	ВСУ-300		ВСУ-500		ВДУ-504*		ВДУ-1001*		ВДУ-1601*		ВДУ-1201*	
	Внешняя характеристика											
	Жесткая	Падающая	Жесткая	Падающая	Жесткая	Падающая	Жесткая	Падающая	Жесткая	Падающая	Жесткая	Падающая
Напряжение сети, В	220/380						380					
Номинальная сила сварочного тока, А	300	240	500	350	500	1000		1600		1250		
Продолжительность работы, %	60						100					
Номинальное рабочее напряжение, В	35	30	40	30	46	66	56	66		60		

Характеристика	Тип выпрямителя											
	ВСУ-300		ВСУ-500		ВДУ-504*		ВДУ-1001*		ВДУ-1601*		ВДУ-1201*	
	Внешняя характеристика											
	Жест- кая	Пада- ющая	Жест- кая	Пада- ющая	Жест- кая	Пада- ющая	Жест- кая	Пада- ющая	Жест- кая	Пада- ющая	Жест- кая	Пада- ющая
Напряжение холостого хода, В	53... ...65	65	52... ...68	68	72...76		66	56	66		100 (не более)	
Пределы регулирования силы сварочного тока, А	50... ...330	25... ...240	90... ...550	50... ...350	100... ...500	60... ...500	600... ...1000	300... ...1000	500... ...1600	600... ...1600	300...1250	
Пределы регулирования рабочего напряжения, В	17... ...35	—	20... ...40	—	18... ...50	22... ...46	24... ...66	26... ...56	26... ...66	30... ...66	24... ...66	26... ...60
КПД, %	68	63	70	66	82,5		82		85		—	
Масса, кг	320		420		400		850		850		780	

\* Для механизированной сварки под флюсом и в защитных газах.

5.12. Технические характеристики многопостовых сварочных выпрямителей

Характеристика	Тип выпрямителя			
	ВКСМ-1000-1	ВДМ-1601	ВДМ-3001	ВМГ-5000
Номиналь- ная сила сва- рочного тока, А	1000	1600	3000	5000
Выпрямлен- ное напряже- ние холостого хода, В	70		60	68
Выпрямлен- ное напряже- ние при на- грузке, В		60		30...60
Сила тока, потребляемого от сети, А	115	182	340	—
Кoeffи- циент мощно- сти cos φ при номинальной нагрузке		0,89		—
КПД, %		0,88	0,89	0,94
Количество подключаемых постов	6	9	18	30
Продолжи- тельность ра- боты, %	100			
Масса, кг	510	750	1750	3200

Примечания: 1. Номинальная сила сварочного тока поста — 300 А при IP = 60%. 2. При раздельной работе каждой по- ловина выпрямителя ВДМ-3001 может питать девять постов. 3. Выпрямитель ВМГ-5000 комплектуют реостатами РВ-304 с из- мененной схемой включения секций.

## 5.13. Технические характеристики транзисторных источников питания

Характеристика	Тип источника питания				
	АП-2	АП-4	АП-5	АП-5М	АП-6
Напряжение питающей сети, В	380; 220	220	380	380; 220	380
Напряжение холостого хода, В	40	35	40	80	37
Номинальная сила сварочного тока, А	15	30		100	
Пределы регулирования силы сварочного тока, А	0,5...15	0,5...30	5...100	10...100	15...100
Пределы регулирования длительности импульсов, с	0,03...0,25	0,03...0,6		0,03...0,3	
Мощность, кВт	0,3	1,2	4,8		6
Коэффициент мощности $\cos \varphi$	0,9		0,85	0,6	0,85
Масса, кг	65	35	100	130	50

**Обслуживание источников питания постоянного тока.** При эксплуатации преобразователей и выпрямителей на открытых строительных и монтажных площадках необходимо защищать их от атмосферных осадков с помощью навесов и специальных будок. Корпуса источников питания должны быть тщательно заземлены. Перед включением источников питания, длительное время находившихся на незащищенных от атмосферных осадков площадках, нужно проверить сопротивление изоляции обмоток.

Уход за сварочными преобразователями. Особенно тщательного ухода требуют коллектор, щетки и подщипники генератора. Коллектор следует содержать в чистоте и периодически протирать чистой тряпкой, смоченной в бензине. Признаком нормальной работы коллектора является отсутствие искрения и следов нагара. При наличии нагара необходимо выскрести причину его возникновения и устранить ее, а коллектор шлифовать.

Угольные щетки должны иметь зеркально блестящую поверхность на всей площади соприкосновения с коллектором и работать бесшумно. Не допускается применение подоманных, выкрошившихся щеток, а также щеток несоответствующих марок. Щетки должны свободно перемещаться в щеткодержателях. Слишком сильное нажатие пружинных пружин на щетки приводит к повышенному нагреву и износу последних, слабое — к искрению под щетками. Поврежденные или изношенные щетки следует заменить новыми, притереть их к коллектору, образующуюся пыль удалить с помощью струи сжатого воздуха, после чего генератор включить в работу на холостом ходу для окончательного пришлифовывания щеток.

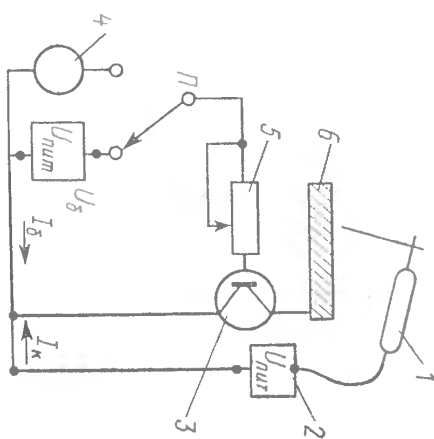


Рис. 5.12. Электрическая схема транзисторного источника питания АП-4:

1 — электрододержатель, 2 — источник постоянного тока, 3 — полупроводниковый триод, 4 — генератор импульсов, 5 — резистор, 6 — заготовка;  $U_{шт}$  — напряжение источника питания,  $U_6$  — напряжение базы,  $I_k$  — сила коллекторного тока триода,  $I_6$  — сила тока базы, П — переключатель

Смазку в шарикоподшипниках рекомендуются заменить один-два раза в год. После удаления смазки подшипники следует промыть бензином, протереть, просушить и снова заполнить смазкой. Количество которой должно составлять  $1/3 \dots 1/2$  объема подшипниковой полости. Необходимо периодически проверять состояние подшипниковых уплотнений. Недопустимо попадание в подшипники грязи и пыли. При работе шум подшипников должен быть глухим, ровным, без резких звуков.

Во время работы преобразователя нужно следить за температурой нагрева его отдельных узлов, так как вследствие чрезмерного нагрева они изнашиваются. Температура нагрева узлов не должна превышать значений, указанных в табл. 5.14.

**5.14. Предельная температура нагрева основных узлов преобразователей**

Наименование узла	Температура, °С
Обмотки асинхронного электродвигателя и машин постоянного тока	95
Стальные сердечники и другие части, соприкасающиеся с обмотками (статор)	100
Контактные кольца	100
Подшипник скольжения (с консистентной смазкой)	80
Подшипники качения (шариковые и роликовые)	95

Характерные неисправности сварочных преобразователей и способы их устранения приведены в табл. 5.15.

Уход за сварочными выпрямителями. Сварочные выпрямители следует беречь от сырости — не допускаются их работа в помещениях с повышенной влажностью. Рекомендуется периодически очищать выпрямители от пыли и грязи, трансформатор и блок вентилей по мере скопления пыли продувать сухим воздухом. Грущисея детали трансформатора и подшипники вентилятора 1 раз в 6 мес нужно промывать бензином и после просушки смазывать консистентной смазкой УТ (ГОСТ 1957—73).

При периодических осмотрах следует проверять контакты, устранять мелкие неисправности. Должна быть под наблюдением работа асинхронного двигателя вентилятора. При появлении постороннего звука в узле вентилятора следует немедленно выключить сварочный выпрямитель, обесточить и проверить состояние плавких предохранителей. При работе на двух фазах дви-

**5.15. Характерные неисправности сварочных преобразователей**

Неисправность	Возможная причина	Способ устранения
---------------	-------------------	-------------------

При пуске асинхронных двигателей

Электродвигатель сварочного преобразователя после включения не вращается, гудит или вращается очень медленно	Перегорел предохранитель в одной из фаз	Сменить плавкий предохранитель
	Разрыв в обмотках ротора или статора электродвигателя	Отключить электродвигатель, вызвать электрика и проверить целостность обмоток ротора или статора; при разрыве в какой-либо из обмоток отправить двигатель в ремонт



Обрыв в пусковом резисторе	Проверить целостность пускового резистора, в случае обрыва отправить двигатель в ремонт
Плохой контакт в щетках	Проверить прищипованность щеток, нажать пружина и состояние переходного контакта; обеспечить надежный контакт в щетках

Электродвигатель преобразователя вращается в обратную сторону	Неправильное включение обмоток электродвигателя по отношению к фазам сети	Переключить любые две фазы
---	---	----------------------------

Электродвигатель преобразователя с трудом пускается и медленно вращается	Плохой контакт щеток с кольцами	Поджать щетки или прищиповать их с помощью шлифовальной бумаги
--	---------------------------------	--

Электродвигатель гудит, обмотка ротора	Разрыв в обмотке ротора электродвигателя	Отправить двигатель в мастерскую
--	--	----------------------------------

Неисправность	Возможная причина	Способ устранения

При работе сварочных генераторов

Генератор не возбуждается (нет напряжения)	Загрязнен коллектор	Прочистить коллектор мелкой шлифовальной бумагой и протереть сжатым воздухом
Перегреваются обмотки якоря	Перегрузка машины: ухудшение вентиляции из-за уменьшения частоты вращения ротора, короткие замыкания в обмотке якоря или в обмотке возбуждения	Под руководством специалистов намагнитить генератор путем присоединения к другой сварочной машине постоянного тока
Генератор силь-	Сила сварочного	Отправить машину

Неисправность	Возможная причина	Способ устранения
Перегреваются коллектор и щетки	Загрязнение коллектора	Прочистить коллектор
Наблюдается искрение щеток	Перегрузка генератора	Отрегулировать нагрузку
Неисправность	Возможная причина	Способ устранения
Замыкание между коллекторными пластинами	Замыкание между коллекторными пластинами	Установить щетки в соответствии с рекомендациями завода-изготовителя

Неисправность	Возможная причина	Способ устранения
Повышена температура нагрева подшипников	Слабый нажим пружин на щетки	Сменить или отрегулировать пружины
	Щетки плохо прошлифованы или имеют выкрашивание	Прошлифовать или сменить щетки
Разбрызгивается и течет масло из подшипников	Загрязнение смазочных колец и подшипников	Осмотреть подшипники и в случае необходимости промыть
	Осевое давление на подшипник со стороны вращающегося электродвигателя	При обнаружении устранить перекос оси агрегата или давление на подшипник со стороны вращающегося электродвигателя
	Слишком большое количество смазки: недостаточный размер отверстий для стока масла в нижней половине вкладыша и сильное вращающееся действие вкладыша	Остановить генератор, вызвать электрика, слить излишки масла из подшипников (проверить уровень масла при неподвижной машине); увеличить отверстие для стока масла, усилить доподнигательные кожаны или войлочные уплотнения у подшипников со стороны, обращенной к корпусу

Патель вентилятора выходит из строя, что приводит к перегреву и разрушению блока вентиляей.

Если Выпрямитель не работал более года, требуется «подформовка» сегментов элементов. Для этого выпрямитель на 20 мин включают на напряжение, равное половине номинального значения, а затем в течение 4 ч он должен находиться под номинальным напряжением без нагрузки со стороны сварочной цепи. Характерные неисправности сварочных выпрямителей и способы их устранения приведены в табл. 5.16.

Неисправность	Возможная причина	Способ устранения
Выпрямительная установка не дает напряжения	Не работает вентилятор или воздушная засасывается не со стороны жализы	Проверить работу вентилятора; изменить направление его вращения так, чтобы воздушная засасывалась сверху, для чего необходимо поменять места любых два провода, питающие двигатель вентилятора
		Проверить работу реле, в случае неисправности отправить в ремонт
Вышел из строя один из вентиляей выходного блока	Сгорел один из предохранителей цепи двигателя	Снять ошинковку, соединяющую выпрямительный блок; с помощью тестера проверить все вентиляи; противоположные вентиляи в прямом и обратном направлении должны резко различаться; выломать проверку на отсутствие замыкания между корпусом вентиляи и радиатором; заменить неисправный вентиаль
		Проверить предохранители и заменить сгоревший



При пуске с места Двигатель вентилятора не работает, гулит

Сгорел один из предохранителей цепи двигателя

Проверить предохранители и заменить сгоревший

Обрыв в цепи одной из фаз двигателя

Устранить обрыв; включить двигатель в соответствии со схемой включения



Неисправность	Возможная причина	Способ устранения
Сильно нагревается или даже расплавляются части обмотки трансформатора	Витковое замыкание в обмотках	Разобрать устан. новку, ликвидировать витковое замыкание
Слишком сильно гудит трансформатор из-за большой силы тока холостого хода	Витковое замыкание в первичной обмотке трансформатора	Ликвидировать замыкание; если нужно, перемотать обмотку, при этом армированные медью концы отрезать и приварить вновь газовой сваркой
Чрезмерно нагреваются сердечник и стягивающие его шпильки	Нарушена изоляция листов и шпилек	Разобрать сердечник и восстановить изоляцию листов и шпилек

### 5.7. Вспомогательные электротехнические устройства

Осциллятор представляет собой устройство, преобразующее ток промышленной частоты и низкого напряжения (40...220 В) в ток высокой частоты (100...300 кГц) и высокого напряжения (2000...6000 В). При подаче импульсов высокого напряжения на промежутке между заготовкой и электродом происходит пробой промежутка между заготовкой и электродом электроны. Кратковременный искровой разряд развивается в дугу, создавая условия для горения дуги.

Осцилляторы применяют для бесконтактного зажигания и стабилизации горения дуги при сварке неглавным электродом (как правило, вольфрамовым) в защитных газах. Контактное зажигание дуги вольфрамовым электродом не рекомендуется, так как заметно увеличивается расход электрода в связи с образованием на его торце соединений вольфрама со свариваемыми металлами.

Применяют параллельную и последовательную схемы включения осциллятора в цепь дуги. Электрическая схема параллельного включения осциллятора представлена на рис. 5.13. Технические характеристики осцилляторов приведены в табл. 5.17.

5.17. Технические характеристики осцилляторов

Тип	Напряжение, В		Потребляемая мощность, Вт	Частота, кГц	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
	первичное	вторичное холостого хода				
М-3	40...65	2500	150	250	350×240×290	15
ОС-1	65		130		315×215×260	
ОСЦН	200	2300	400	—	390×270×350	35
ТУ-2	65; 220	3700	225		390×270×350	20
ТУ-7		1500	1000			25
ТУ-177		2500	400			20
ОСПЗ-2М		6000	44			440
ОСЦВ-2	220	2300	80	260	300×215×296	16

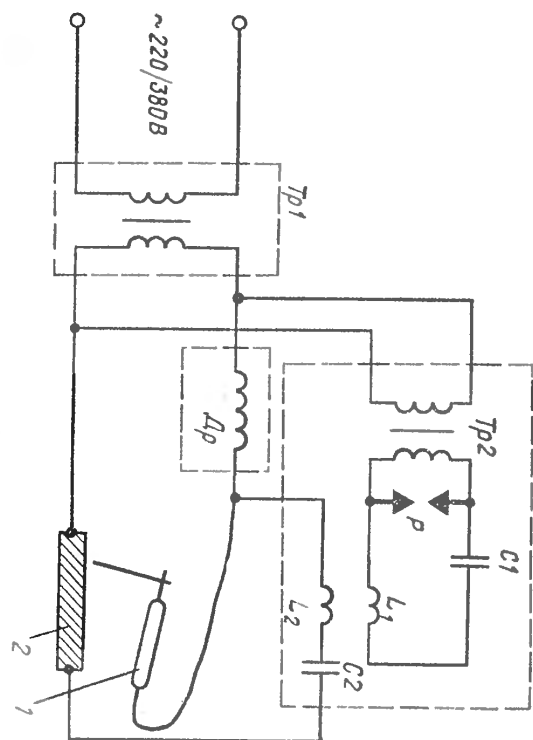


Рис. 5.13. Электрическая схема параллельного включенного осциллятора М-3 в сварочную цепь:

1 — электрододержатель, 2 — заготовка; Tr1 — сварочный трансформатор, Dr — диод, Tr2 — повышающий трансформатор осциллятора, P — диод, C1 — конденсатор контура, L1 — катушка самонадукции, L2 — катушка связи

Импульсные возбуждители дуги применяются для облегчения возбуждения последней, повышения устойчивости ее горения, улучшения процесса переноса катоды расплавленного металла в сварочную ванну. Используют их при сварке плавлением электродом в аргоно и других защитных газах легированных сталей и цветных металлов.

Электрическая схема генератора импульсов приведена на рис. 5.14. Его подключают в сварочную цепь параллельно сварочному трансформатору, конденсатор C заряжается от повышающего трансформатора ТП через выпрямительное устройство В. Специальное синхронизирующее устройство в момент перехода тока через ноль замыкает выключатель К, и конденсатор C разряжается через дугу выключатель К, и конденсатор C разряжается через дугу промежуток в виде кратковременного импульса составляет 1,5...2 А, при этом импульс имеет ту же полярность, что и напряжение дуги в данный момент. После разряда конденсатора синхронизирующее устройство размыкает выключатель, а конденсатор заряжается вновь для подачи следующего импульса.

### 5.18. Технические характеристики генераторов импульсов

Характеристика	Тип				
	ИИП-1	ИИП-2	ГИ-ИДС-1	ГИ-ИДС-2	ГИД-1
Пределы регулирования амплитуды импульсов тока, А	400...850	500...1000	400...1200	200...1200	450...1200
Частота генерирования, импульс/с	50	50	50; 100	100	50; 100
Длительность импульса, мс	1,5...2	1,6...2,8	1,8...3,5	—	1,5...3
Число ступеней регулирования:					
тока импульса	3	3	3	4	Плавное
длительности импульса	4	4	3	—	—
Диаметр электрода, мм	1,6...2	0,8...2,5	0,8...2,5	—	0,8...2,5
Номинальная мощность, кВт	5	10	15	13,4	11
Масса, кг	180	125	160	100	200

По сравнению с осцилляторами импульсные возбуждители дуги имеют следующие преимущества: не вызывают радиопомех и более надежно обеспечивают повторное зажигание дуги. Технические характеристики генераторов импульсов приведены в табл. 5.18.

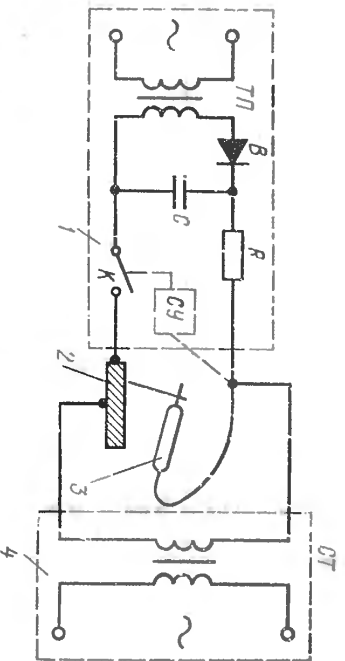


Рис. 5.14. Электрическая схема генератора импульсов и схема его включения в сварочную цепь: 1 — генератор импульсов, 2 — затворка, 3 — электроддержатель, 4 — сварочный трансформатор (СТ); ТП — повышающий трансформатор, В — выпрямительное устройство, СУ — синхронизирующее устройство, К — выключатель, R — резистор, С — конденсатор

Валдастные реостаты (рис. 5.15) предназначены для создания падающей характеристики и регулирования силы

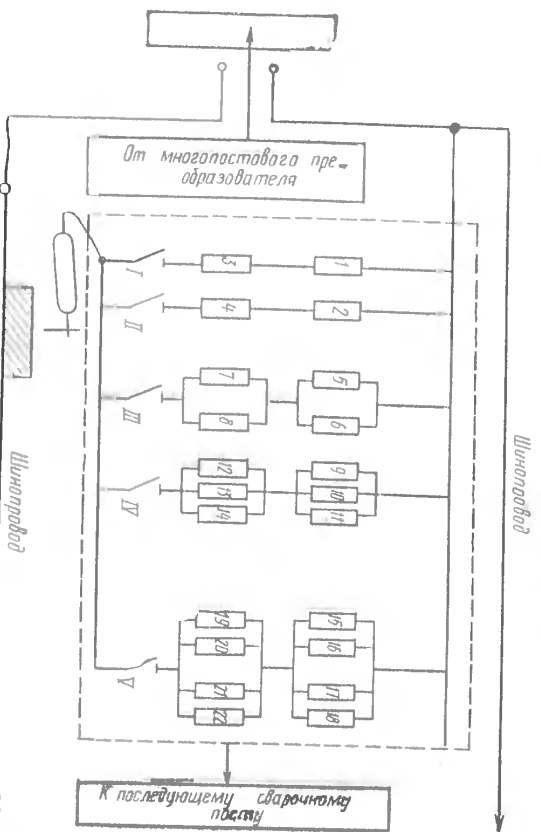


Рис. 5.15. Электрическая схема балластного реостата типа ВВ  
1...22 — резисторы; 1...V — рубильники

сварочного тока на каждом посту при питании от многопостового преобразователя. Реостат собран из резисторов, сконглонованных в блоки, и рубильников, включение которых в определенных сочетаниях позволяет осуществлять ступенчатое регулирование в достаточно широких пределах (20 ступеней).

Балластный реостат включают в сварочную цепь последовательно с дугой. Как видно из рис. 5.15, минимальным значение силы сварочного тока будет при включении рубильника 1, а максимальным — при включении всех пяти рубильников. Промышленно выпускаются балластные реостаты РВ-201, РВ-301 и РВ-501, соответственно регулирующие силу сварочного тока от 10 до 200 А через каждые 10 А, от 15 до 300 А через каждые 15 А и от 25 до 500 А через каждые 25 А.

## 6. ОСНАЩЕНИЕ СВАРОЧНЫХ ПОСТОВ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ И РЕЗКИ

### 6.1. Сварочный пост

Сварочный пост — это рабочее место сварщика, оснащенное комплектом технологически связанного между собой оборудования, необходимыми приспособлениями и инструментом. Сварочные посты могут быть стационарными или передвижными.

Стационарный пост представляет собой открытую сверху кабину размером 2000×2500×2000 мм (рис. 6.1). Ее стенки изготовляют из тонкой стали, фанеры или брезента (причем фанера и брезент должны быть пропитаны огнестойким составом, например раствором алюмокалиевых квасцов) и окрашивают светлой краской, хорошо поглощающей ультрафиолетовое излучение. Пол выполняют из огнестойкого материала. Освещенность кабины должна составлять не менее 80 лк. Кабину оборудуют местной вентиляцией, обеспечивающей воздухообмен 40 м³/ч. Вентиляционный отсос должен быть расположен так, чтобы выделяющиеся при сварке газы отводились от сварщика. Сварку выполняют на рабочем столе высотой 500...700 мм с чугунной крышкой толщиной 20...25 мм. Для включения источника сварочного тока в кабине устанавливают рубильник или магнитный пускатель.

Передвижной пост применяют при сварке крупногабаритных изделий в зоне выполнения сварочных работ. Пост, расположенный на открытой площадке, оборудуют навесом. Для защиты от светового излучения используют складные щиты.

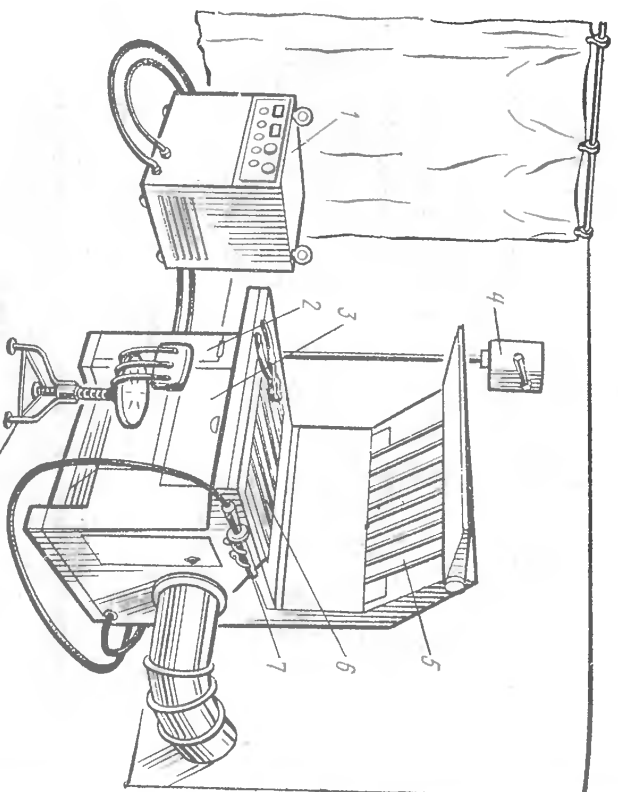


Рис. 6.1. Стационарный сварочный пост ручной дуговой сварки: 1 — источник сварочного тока, 2 — стол для электродов, 3 — ящик для инвентаря, 4 — рубильник, 5, 6 — вытяжная камера, 7 — электрододержатель, 8 — ступь сварщика

## 6.2. Принадлежности и инструмент сварщика при ручной дуговой сварке

Щитки и шлемы изготавливают в соответствии с ГОСТ 12.4.035—78 из токопроводящих материалов — фибры или пластмассы. Масса щитка не должна превышать 0,48 кг, шлема — 0,6 кг. Их внутренняя поверхность должна быть гладкой, матовой, черного цвета. Щиток состоит из корпуса со смотровым окном и ручки, имеющей круглое поперечное сечение и длину не менее 120 мм. Шлем представляет собой защитное приспособление, надеваемое сварщиком на голову. Он состоит из корпуса со смотровым окном и наголовника, который должен обеспечивать два фиксированных положения корпуса: опущенное (рабочее) и откинутое назад. Защитный шлем мод. НП-С-701VI показан на рис. 6.2. Размеры и масса щитков и шлемов различных моделей, выпускаемых промышленностью, указаны в табл. 6.1.

Для защиты глаз от вредных излучений щитки и шлемы снабжены светофильтрами типа С темно-зеленого цвета, которые выпускают (вместо светофильтров типа Э) 13 классов для сварки с применением тока силой 13...900 А. Защита светофиль-

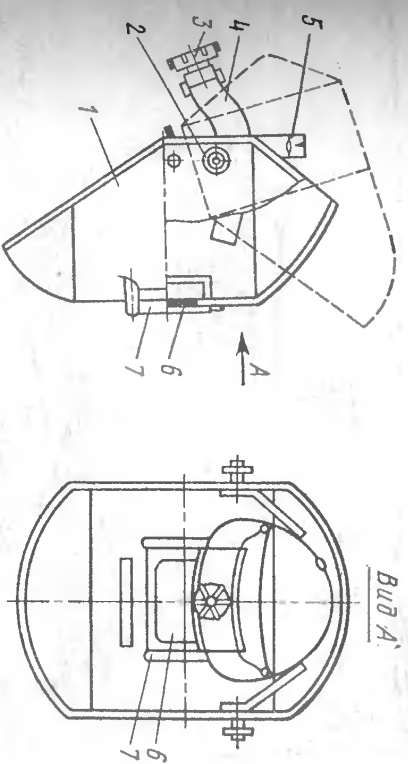


Рис. 6.2. Защитный шлем НП-С-701VI: 1 — корпус, 2 — гайка, 3 — наголовник, 4 — замок, 5 — ремень, 6 — стекло, 7 — рамка

### 6.1. Защитные шлемы и щитки для электроосварщиков

Наименование	Модель	Размер светофильтра, мм	Масса без стекла, кг	Размеры, мм
Шлем	НП-С-701VI	52×102		
Шлем с увеличенным светофильтром	ННО-С-701VI	90×102	0,45	315×240×165
Шлем, монтируемый на защитной каске	ЩЭК-С-701VI			
Шлем с отрывающимся светофильтром	ННП-С-701VI	52×102	0,6	315×240×190
Ручной шлем	РН-С-701VI			
Ручной шлем с увеличенным светофильтром	РНО-С-701VI	90×102	0,4	315×240×165

тра от брызг металла обеспечивается покровными органическими стеклами, которые по мере повреждения заменяют новыми.

Электроподдержатели служат для закрепления электрода и подвода к нему тока при ручной дуговой сварке. В зависимости от способа закрепления различают вилочные, пассатижные, винтовые, пружинные, эксцентрикные и другие электроподдержатели. Наибольшее распространение в практике получили пассатижные (рис. 6.3, а; табл. 6.2) и вилочные (рис. 6.3, б) электроподдержатели, но последние в настоящее время промышленностью не выпускаются.

**Дополнительный инструмент сварщика.** Для зачистки кромок перед сваркой и удаления с поверхности швов остатков шлака применяют стальные щетки — ручные и с электроприводом. Остывший шлак с поверхности шва удаляют молотком-шлакоотделителем. Для подсоединения шва удаляют молотком-шлакоотделитель или пружинные зажимы, в которые токопроводящий провод впаивают высокотемпературным припоем или закрепляют механически.

Для клеймения швов, вырубки дефектных мест, удаления брызг и шлака применяют соответственно клейма, зубила и молотки. Сборочные операции перед сваркой выполняют с помощью шаблонов, отвесов, линеек, угольников, чертилок и специальных приспособлений. При монтажных сварочных работах сварщики пользуются надежными через плечо брезентовыми сумками, в которых помещаются электроды.

### 6.2. Типы и основные параметры пассатижных электроподдержателей

Тип электроподдержателя	Номинальные параметры			Максимальная сила сварочного тока, А (не более), % при ПВ, %	Диаметр электрода, мм	Диаметр шейки	Диаметр болта	Масса, кг (не более)
	Сила сварочного тока, А	Продолжительность цикла сварки, мин	Продолжительность включения ПВ, %					
ЭД-12	125			100	35	1,6	3	0,35
ЭД-20	200			160	250	2,5	4	0,4
ЭД-25	250	5	60	200	315	3	5	0,45
ЭД-31	315			250	400	4	6	0,5
ЭД-40	400			315	500	5	8	0,65
ЭД-50	500			400	630	6	10	0,75

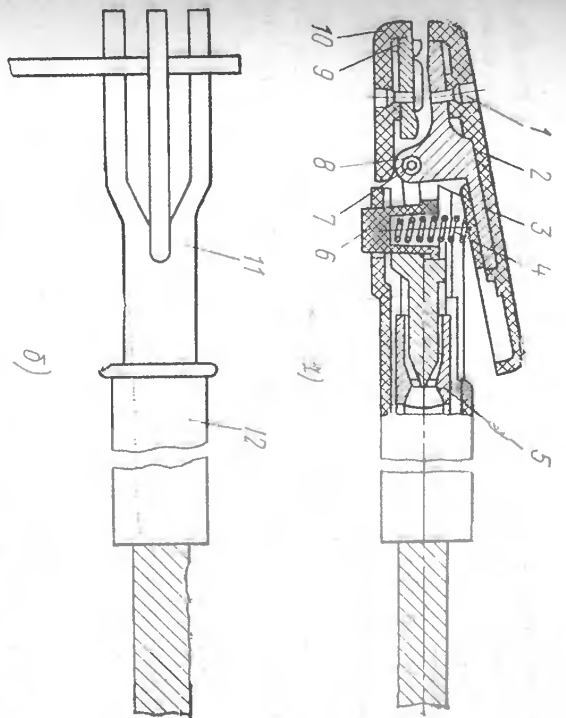


Рис. 6.3. Электроподдержатели для ручной дуговой сварки: а — пассатижный (ЭД-3104У), б — вилочный: 1 — винт, 2 — 10 — верхняя и нижняя накладки, 3 — рычаг, 4, 9 — пружины, 5 — гайка, 6, 8 — втулки, 7 — ось, 11 — токопровод, 12 — рукоятка

### 6.3. Выбор сечения проводов для подвода тока от сети к источнику питания и далее — к электроподдержателю

От сети к источнику питания	Сечение проводов*, мм <sup>2</sup>		Сила сварочного тока, А	От источника питания к электроподдержателю	
	Для сварочных трансформаторов	Для сварочных генераторов		Расстояние, м	Сечение проводов*, мм <sup>2</sup>
220	16	12	200...300	До 25	35...50
	380	12		25...50	50
500	10	6	300...400	До 25	50...70
				25...50	70
500	10	6	500...600	До 25	90...105

\* Указано для проводов длиной до 100 м.

**Одежда сварщика.** В комплект одежды входят куртка, брюки и рукавицы. Куртка и брюки шьются из брезента, сукна или асбестовой ткани. Одежда из прорезиненного материала не приляется, так как легко прожигается нагретыми металлургическими частями. Брюки должны прикрывать обувь для предохранения ног от ожогов брызгами металла. Рукавицы могут быть брезентовыми или спилковыми.

**Сварочные провода** служат для подвода тока от источника питания к электрододержателю и заготовке. Используют гибкие многожильные изолированные провода ПРГДО и ПРГД. Сечение проводов для подвода тока от сети к источнику тока и от источника тока к изделию и электрододержателю выбирают в зависимости от мощности источника тока, длины проводов, напряжения и силы сварочного тока (табл. 6.3). Температура нагрева проводов не должна превышать 70°C.

### 6.3. Оборудование для автоматической и механизированной сварки открытой дугой и под флюсом

Автоматом для дуговой сварки называют комплекс механизмов, позволяющих автоматизировать сварочный процесс. Автомат состоит из следующих основных частей: сварочной головки; ходового механизма; системы подачи флюса и удаления его нерасплавленной части; катушки со сварочной проволокой.

**Сварочная головка** служит для подачи в зону дуги электрической проволоки, поддержания в процессе сварки неизменными силы тока и напряжения дуги или измерения их по заданной программе; она оснащена, как правило, системой коррекции положения электрода по отношению к шву.

**Ходовой механизм** предназначен для перемещения автомата относительно свариваемого стыка по траектории, необходимой для получения швов заданной конфигурации, со скоростью, равной скорости сварки.

**Система подачи и удаления флюса** состоит из бункера с флюсом, дозирующего устройства, вакуумного устройства, предназначенного для удаления нерасплавленной части флюса, и шлангов.

В зависимости от способа перемещения различают следующие виды автоматов для дуговой сварки: подвесные (рис. 6.4); самоходные; сварочные тракторы (рис. 6.5). Технические характеристики автоматов приведены в табл. 6.4.

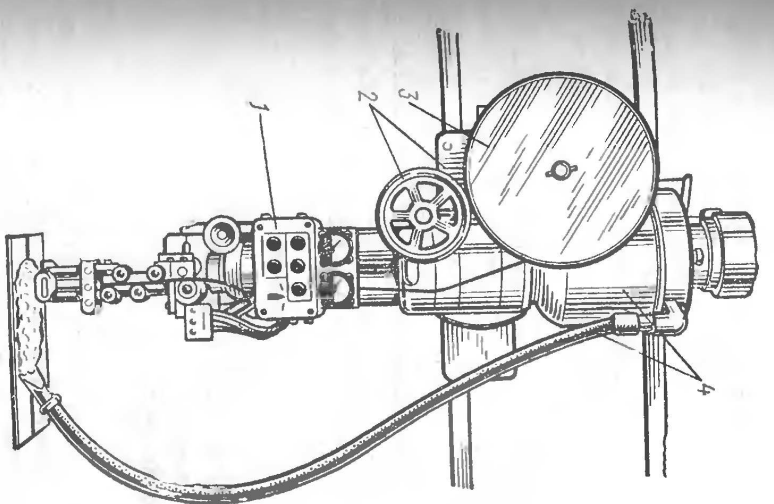


Рис. 6.4. Подвесной автомат для дуговой сварки:

1 — сварочная головка, 2 — ходовой механизм, 3 — катушка с электрической проволокой, 4 — система подачи флюса и удаления его нерасплавленной части

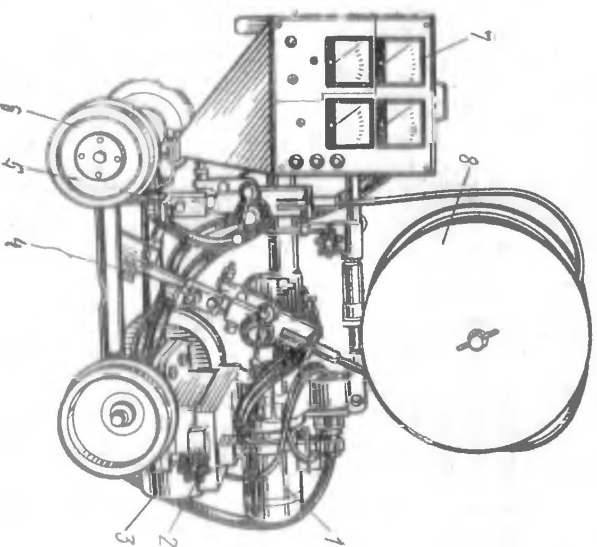


Рис. 6.5. Трактор ТС58 для двухдуговой сварки под флюсом:

1 — привод, 2 — суппорт, 3 — тележка, 4 — пружинный механизм, 5 — муфта, 6 — шасси, 7 — пульт-бункер, 8 — камера для электрической проволоки

## 6.4. Технические характеристики автоматов для дуговой сварки и наплавки открытой дугой и под флюсом

Автомат	Исполнение	Защита зоны сварки или наплавки	Диаметр проволоки (ширина ленты), мм	$I_{св}$ , А (ПВ=65 %)	Скорость подачи электродной проволоки $v_{п}$ , м/ч	Регулирование скорости $v_{п}$	Скорость сварки (наплавки) $v_{св}$ , м/ч	Источник питания	Масса, кг
---------	------------	---------------------------------	--------------------------------------	------------------------	---	--------------------------------	---	------------------	-----------

## Автоматы для дуговой сварки общего применения

АБСК	Самодходный	Флюс	2...6	300...1200	28...220	Ступенчатое	14...110	ТДФ-1001	160
А1401			2...5	1000	53...532		Плавное		12...120
А1410			2...6	2000		24...240		ТДФ-1601	
А1412			2...5	2×1600				ТДФ-1601 (2 шт.)	390
А1416				1000	47...508	Ступенчатое	12...220	ВДУ-1001	320
А1419			2...6	2000			24...240	ТДФ-1601	390
А1422			2...5	2×1600	Плавное	18...50		ТШС-1000-3	400
УДФ-1001У4			2,5...3	400...1000			200...600		

## Автоматы для дуговой сварки специализированные

А1423	Подвесной	Флюс	1,6...3	300	45...450	Плавное	—	ВДУ-504 или ВС-600	210
А1403	Самодходный		2...5	2×1600	53...530		24...240 (ступенчатое)	ТДФ-1601	340
А1425			4...5	1000	50...500		12...120		500
А1208С	Подвесной	Без внешней защиты	1,6 (сплошная)	200	102...196	Ступенчатое	10...25	ПСГ-500	345
		Углекислый газ	2...2,5 (порошковая)						

## Автоматы для дуговой наплавки общего применения

А384МК	Подвесной	Флюс	3...5 (20...100)	1000*	28,5...225	Ступенчатое	—	ПСО-500	135
А580М			1...3	400*	48...408				84
А874Н	Самодходный	Флюс или без внешней защиты	2...7 (15...100)	1000*	5...90	Плавное	5...116	ВДУ-1001	285

Автомат	Исполнение	Защита зоны сварки или наплавки	Диаметр проволоки (ширина ленты), мм	$I_{св}$ , А (ПВ=65 %)	Скорость подачи электродами проволоки $v_{п}$ , м/ч	Регулирование скорости $v_{п}$	Скорость сварки (наплавки) $v_{св}$ , м/ч	Источник питания	Масса, кг
---------	------------	---------------------------------	--------------------------------------	------------------------	---	--------------------------------	---	------------------	-----------

## Автоматы для дуговой наплавки специализированные

A1406	Подвесной	Без внешней защиты, флюс или углекислый газ	2...5	1000*	50...500	Плавное	—	ВДУ-1001	250		
A1408		Без внешней защиты или углекислый газ	1,6...3	500*						ВДУ-504	170
A1409		Без внешней защиты или флюс		300*							

## Тракторы для дуговой сварки однодуговые общего применения

ТС-17М-1	—	Флюс	1,6...5	200...1000	52...403	Ступенчатое	16...126	ТДФ-1001	45
ТС-42			2...5	До 1000	60...1000				40

АДС-1000-4	—	Флюс	3...5	400...1200	60...360	Плавное	12...120	ТДФ-1001	65		
АДС-1000-5										ВДУ-1001	
АДФ-1001										ТДФ-1001	
АДФ-1004										ВДУ-1001	60
АДФ-1602										ВДУ-1601	

## Тракторы для дуговой сварки специализированные

ТС-32	—	Флюс	2...5	До 900	137...284	Ступенчатое	24...50	ТДФ-1001	45
ТС-44			3...6	1600	60...360	Плавное	8...45	ВДУ-1601	115
ДТС-38			2...5	2×1600	58...580	Ступенчатое	16...160	ТДФ-1601 (2 шт.)	85
ТС-58				2×1250	60...360		10...100	ВДУ-1201УЗ	90

\* При ПВ=100 %.



## 6.5. Технические характеристики наплавочных станков общего назначения

Характеристика	Станок			
	У651	У652	У653	У654
Наплавочный аппарат	А1048	А1409	А1406	
Наплавляемая поверхность	Наружные поверхности валов, шлицы	Коренные и шатунные шейки с галтелями коленчатых валов	Наружные и внутренние цилиндрические, конические, плоские поверхности и др.	Наружные цилиндрические, конические поверхности, шлицы
Наплавляемая деталь: диаметр, мм	20...150 (500)*	100	50...800	
длина, мм	1300			
масса, кг	150		200	
Наплавка проволокой диаметром, мм: под флюсом	—	1...2	2...5	3...5
порошковой без внешней защиты	2...3	2...2,5	2...3,6	2...2,5
сплошной в CO <sub>2</sub>	1...2	—		
Габаритные размеры станка, мм: длина	2720		2900	
ширина	1800		1400	
высота (максимальная)	2050	2900	3050	
Масса, кг	1580	1630	1740	1840
Особые характеристики	Вариант исполнения — одно- и двухмундштучный	Наплавка шейки и галтели — автоматическая по кулачку	Для внутренней наплавки имеется специальная приставка на аппарате	Станок имеет две позиции, обслуживаемые поочередно

\* При массе изделия не более 150 кг.

Автомат АБСК предназначен для наложения продольных и кольцевых швов и выполнения стыковых, угловых и нахлесточных соединений металла толщиной 50...30 мм. При замене муфта-штука можно прозаводить наплавку ленточным электродом или вести сварку открытой дугой.

Автоматы А1401, А1410, А1412, А1416, А1419 и А1422 имеют такое же предназначение, как и автомат АБСК. Они оснащены автоматизированными приводами с механизмами слежения, вертикального и поперечного перемещения муфтштука, а также замкнутой системой циркуляции флюса (по специальному заказу — и вибратором электрода). Эти автоматы используются в автоматических и поточных линиях.

Автоматы А1423, А1403 и А1425 сконструированы из узлов автомата А1410, предназначены для многослойной (А1423), многоголовочной (А1403) сварки и наложения коротких прерывистых швов (А1425).

Самоходный автомат А1208С предназначен для сварки порошковой проволокой без внешней защиты дуги или сплошной проволокой в углекислом газе над устьем скважин стывков обсадных труб.

Автомат А384МК служит для наплавки плоских или цилиндрических деталей, а А580М — для автоматической наплавки круглых деталей, например коленчатых валов.

Автоматы А1406, А1408 и А1409 применяются в станках У651, У652, У653 и У654 (табл. 6.5), собранных из унифицированных узлов и служащих для восстановления изношенных деталей тракторов, сельхозмашин и др.

Тракторы ТС-17М-1 и ТС-42 для дуговой сварки используют с целью наложения кольцевых и прямолинейных швов (минимальный диаметр кольцевого шва составляет соответственно 1200 и 800 мм), а АДС-1000-4, АДС-1000-5, АДФ-1001, АДФ-1004 и АДФ-1602 — для выполнения стыковых и угловых соединений.

Специализированные тракторы ТС-32 и ТС-44 используются для соединения листового металла за один проход на скользящей водоохлаждаемой медной прокладке с одновременным формированием обратной стороны шва (толщина свариваемого металла составляет соответственно 2...12 и 6...22 мм), ДТС-38 — для выполнения двухдуговой сваркой стыковых и угловых швов, ТС-58 — для выполнения двухдуговой автоматической сваркой продольных и кольцевых швов.

В отличие от сварочных автоматов, в которых механизированы подача электродной проволоки в зону дуги и перемещение последней по определенной траектории, в полуавтомате механизирована лишь одна операция — подача проволоки. Принципиаль-

### 6.6. Технические характеристики полуавтоматов для сварки открытой дугой и под флюсом

Целевое применение	Сварка флюсом	Диаметр электродной проволоки, мм	Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	Плавность регулирования скорости	Источники питания	Длина шланга, м	Механизм подачи			Мощность двигателя, Вт	
							Габаритные размеры, мм	Масса, кг	Ярлыки на двигателе		
Общего применения, изготавливаемые серийно											
А765	Без внешней защиты	1,6...2	До 450	58...580	Ступенчатое	ПСГ-500	3,5	760×500×550	52	АОЛ12-4	180
А1197С (ПС-5-Ф)	Флюс	1,6...3	До 500	92...920		ВДУ-504	3	960×660×560	35		
Специализированные, изготавливаемые промышленными партиями											
А1114М	Без внешней защиты	1,6...2	До 500	106...428	Ступенчатое	ПСГ-500	2,5	364×290×130	10,5	Д-35	35
А1530	Ванная под флюсом	1,6...2 (2,2...2,8)*	500	I ступень — 200...250 (1-й цикл сварки); II ступень — 400...500 (2-й цикл сварки); III ступень — 850...1000 (3-й цикл сварки)	Плавное в пределах ступеней I, II и III			550×300×230	20	СЛ-571К	95

\* Порошковая проволока.

ная схема полуавтомата толкающего типа для дуговой сварки плавящимся электродом представлена на рис. 6.6. Технические характеристики полуавтоматов для сварки и наплавки приведены в табл. 6.6. Используют эти полуавтоматы в следующих целях: А765 — для сварки и наплавки порошковой и легированной сплошной

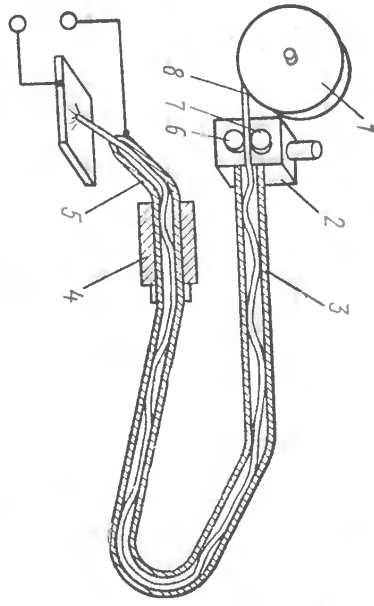


Рис. 6.6. Полуавтомат толкающего типа:  
1 — катушка со сварочной проволокой, 2 — механизм подачи проволоки, 3 — гибкий направляющий шланг, 4 — ручной держатель, 5 — наконечник, 6, 7 — прижимный и ведущий ролики, 8 — электродная проволока

проволоками открытой дугой; А1197 (универсальный) — в зависимости от исполнения для сварки под флюсом, в углекислом газе, открытой дугой порошковой проволокой или электродной проволокой сплошного сечения; А114М — для сварки открытой дугой активированной проволокой арматурных стержней  $\varnothing$  — 6...70 мм; А1530 — для сварки под флюсом арматуры железобетонных конструкций при диаметре стержня 36...40 мм.

#### 6.4. Оборудование для автоматической и механизированной дуговой сварки в защитных газах

Оборудование для сварки в углекислом газе. Для сварки в углекислом газе используют полуавтоматы толкающего или тянущего типа (табл. 6.7). В состав сварочного поста (рис. 6.7) входят источник питания и полуавтомат, включающий в себя баллон с углекислотой, горелку, подающий механизм, осушитель и подогреватель газа.

6.7. Технические характеристики наиболее распространенных полуавтоматов для дуговой сварки

Полуавтомат	Диаметр электродной проволоки, мм	$I_{св}, А$ (ПВ=65%)	$v_{п}, м/ч$	Источник питания	Длина шланга, м	Механизм подачи	
						Габаритные размеры, мм	Масса, кг
А-547У	0,8...1,2	До 200	100...250	ВС-300	1,2; 2,5	350×118×245	6
А-1230М		» 315	140...670			364×280×130	11
ПДГ-301		» 300	180...720	ПСГ-500	3	450×240×275	6
ПДГ-302						380×330×100	5
ПДГ-303						450×240×275	7
ВДГ-304						380×330×100	
А-825	0,8...1,6	» 250	120...620	ВС-300	2,5	900×660×420	20

Полуавтомат	Диаметр электродной проволоки, мм	$I_{св}$ , А (ПВ=65%)	$v_{п}$ , м/ч	Источник питания	Длина шлан- га, м	Механизм подачи	
						Габаритные размеры, мм	Масса, кг
ПШП-21	0,8...2	До 300	100...1000	ИПП-300	—	650×180×398	14,5
ПДПГ-500		» 500	150...720	ПСГ-500	3,5	625×425×350	10,5
А-537У	» 520	80...600	330×230×325			25	
А-1035	» 450	58...580	900×660×420			25,5	
А-1197П	1,6...3	» 500	90...900			ВДУ-504	3
А-1197С			92...920				
А-1503П		» 630	90...920	ПСГ-500	25,5		
ПШП-10*	1...2,5	» 300	160...650	Постоянного то- ка силой 350 А	—	325×85×200	1,7

\* Тянущего типа.

### 6.8. Технические характеристики наиболее распространенных аппаратов для сварки в инертных газах неплавящимся электродом

Аппарат	Диаметр электродной проволоки, мм	$I_{св}$ , А (ПВ=65%)	$v_{п}$ , м/ч	$v_{св}$ , м/ч	Источник питания	Габаритные размеры аппарата, мм	Масса аппа- рата, кг
---------	---	--------------------------	---------------	----------------	---------------------	------------------------------------	-------------------------

#### Тракторы

АДПГ-500	0,8...2,5	До 500	150...720	15...70	ПСГ-500	570×265×425	22
ТС-42	1,2...3	500	100...1000	12...120		570×310×440	36

#### Самоходные и подвесные аппараты

АДСП-2	1...2,5	400	100...800	10...80	—	560×600×480	63
АГП-2				—		300×600×440	24

Стандартный баллон вместимостью 40 л заливает 25 кг жидкой углекислоты, что составляет 12,67 м<sup>3</sup> СО<sub>2</sub>. Вредными примесями в СО<sub>2</sub> являются азот и влага. Для удаления последней баллон, устанавливаемый на специальную подставку с горизонтальной осью вращения, перед сваркой опрокидывают вентиляцией и через 15...20 мин сливают воду (операцию повторяют дважды). Для более глубокой очистки от влаги служат осушитель, который заполняют силикагелем, алюмогелем или медным купоросом.

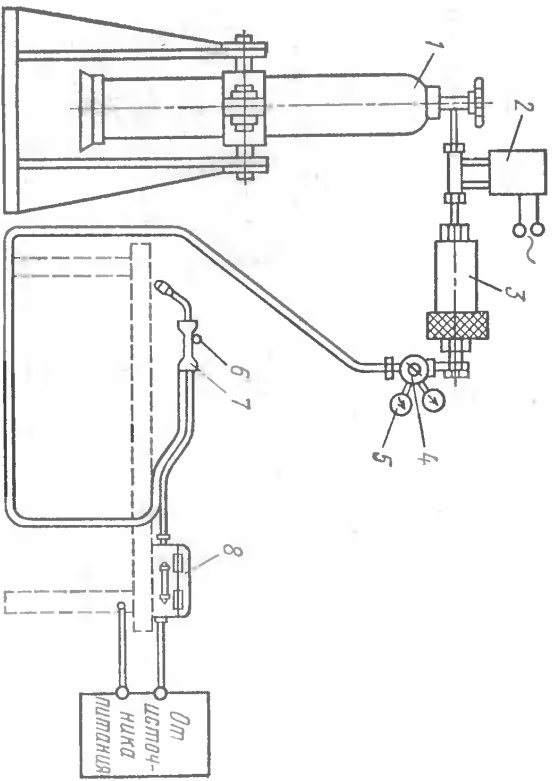


Рис. 6.7. Схема поста механизированной сварки тонкой электродной проволокой в углекислом газе:  
1 — баллон с углекислым газом, 2 — подогреватель газа, 3 — осушитель газа, 4 — кислородный редуктор, 5 — манометр на 0,6 МПа, 6 — кнопка включения, 7 — горелка, 8 — подающий механизм

### 6.9. Технические характеристики наиболее распространенных в инертных газах

Полуавтомат	Диаметр электродной проволоки, мм	I св, А	
		(ПВ=65%)	С <sub>ДТ</sub> М/ч
ПШП-21	0,8...2	До 300	100...1000
ПШП-31	0,4...0,8	» 120	300...1000
ПДА-300	1,6...2	» 300	120...420

сом предварительно прокаленными при 250...300 °С в течение 2...2,5 ч.

**Оборудование для аргонодуговой сварки.** Сварку выполняют как плавящимся электродом на постоянном или переменном токе. Схемы сварки в инертных газах на постоянном или переменном токе представлены на рис. 6.8 и 6.9. В табл. 6.8 и 6.9 приведены технические характеристики аппаратов и полуавтоматов для сварки плавящимся электродом. В случае применения специальных сварочных горелок аппараты можно использовать для сварки неплавящимся электродом.

**Горелки для дуговой сварки.** Выпускают горелки для ручной и механизированной сварки. Горелки для ручной дуговой сварки и неплавящимся электродом (табл. 6.10)

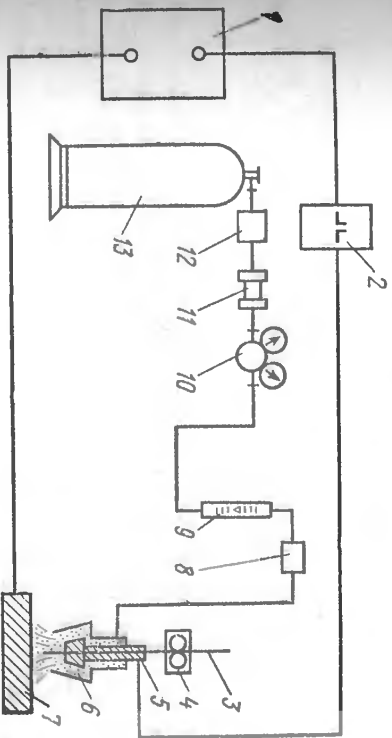


Рис. 6.8. Схема сварки в инертных газах на постоянном токе:  
1 — источник постоянного тока, 2 — аппаратура управления, 3 — электродная проволока, 4 — привод подачи электродной проволоки, 5 — токоведущая втулка, 6 — рогажёр, 7 — свариваемая заготовка, 8 — газовый клапан, 9 — рогажёр, 10 — подогреватель газа, 11 — осушитель газа, 12 — баллон с газом

### Полуавтоматов для механизированной сварки неплавящимся электродом

Источник питания	Механизм подачи	
	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
ИПП-300 ГСП-150 Постоянного тока	650 × 180 × 398	14,5
	295 × 56 × 160	0,8
	625 × 425 × 350	10,4

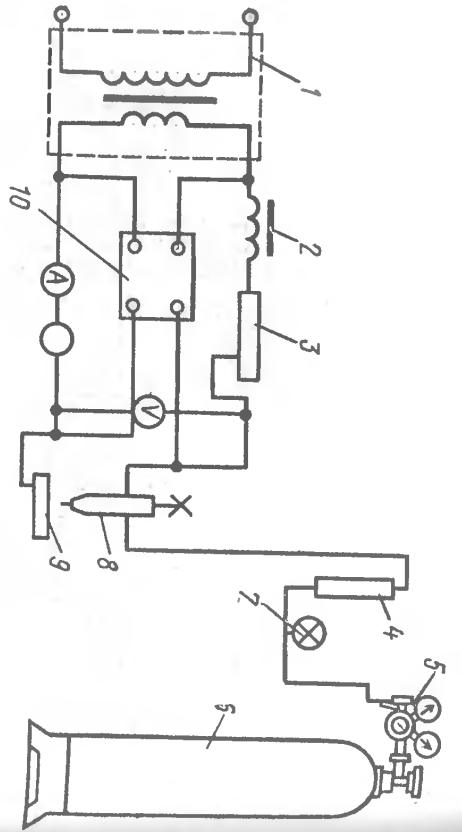


Рис. 6.9. Схема сварки в инертных газах на переменном токе: 1 — сварочный трансформатор, 2 — дроссель, 3 — балластный реостат, 4 — релактор, 5 — редуктор, 6 — баллон с газом, 7 — манометр, 8 — сварочная горелка, 9 — свариваемая заготовка, 10 — осциллограф ОС-1

могут быть молоткового типа с постоянным углом наклона электрода и с совмещенным подводом тока и воды. Ими можно выполнять сварку в любом пространственном положении.

Горелки для механизированной дуговой сварки изготавливают как для несплавленного, так и для сплавленного электрода. Горелки для сварки *плавающимся электродом* (табл. 6.11) обычно выполняют pistolного типа с постоянным углом наклона муфты к рукоятке или с переменным углом наклона путем изгиба держателя. Горелки для сварки *неплавающимся электродом* могут быть с водяным и воздушным охлаждением не только корпуса, но и сопла (рис. 6.10).

Горелки для дуговой сварки плавящимся электродом имеют принципиальные отличия от горелок для сварки неплавящимся электродом. На рис. 6.11 показана горелка с естественным (воздушным) охлаждением, которая наиболее часто используется в практике. Технические характеристики горелок такого типа приведены в табл. 6.12.

Наиболее уязвимой деталью горелки является сопло, которое выполняют точением, штамповкой из меди, бронзы, методами порошковой металлургии и другими способами. Лучшими из них являются керамические и кварцевые сопла. Срок службы сопел составляет 5...10 ч при непрерывной работе.

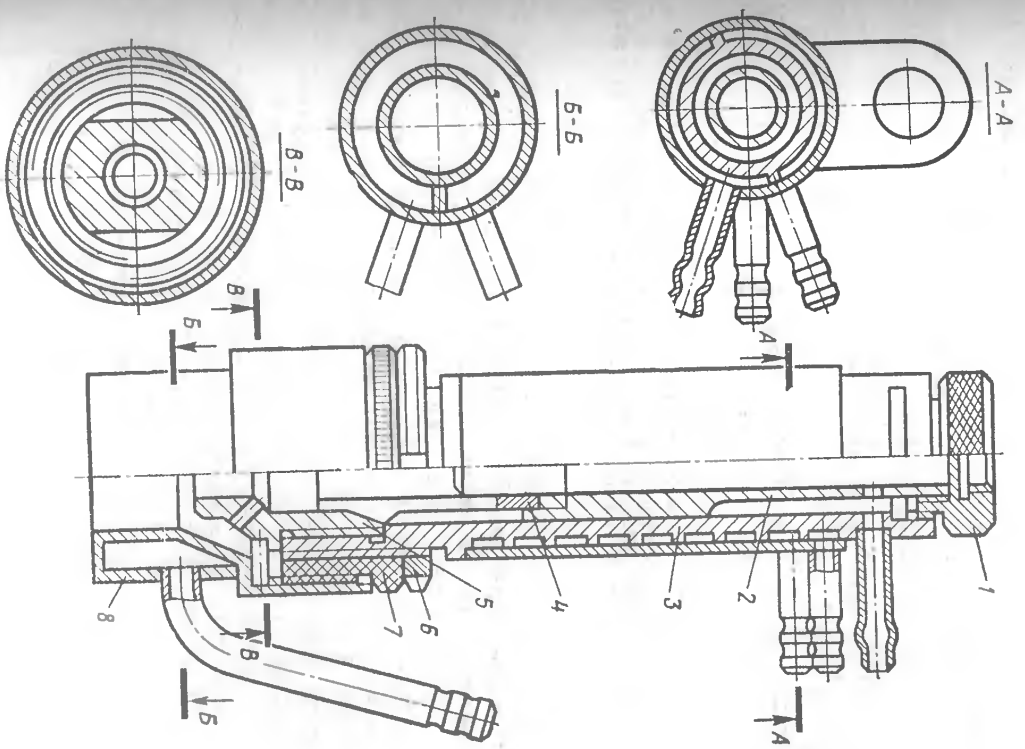


Рис. 6.10. Горелка ИГНА-1000 для механизированной дуговой сварки:  
1 — гайка, 2 — паягодержатель, 3 — корпус, 4 — гайка, 5 — распорный литей, 6 — гайка, 7 — изолятор, 8 — сопло

**6.10. Технические характеристики горелок для ручной дуговой сварки неплавящимся электродом в защитных газах**

Обозначение	Номинальная сила сварочного тока, А	Диаметр электрода, мм	Вид охлаждения	Размеры, мм			Масса (без шлангов), кг
				Длина	Ширина	Высота	
ЭЗР-5	75	0,5; 1; 1,5	Воздушное	160	21	120	1,4
ЭЗР-3-66	150	1,5; 2; 3		Водяное	260	35	110
РГА-150		0,8...3	30			85	0,296
ГНР-160	160	0,8; 1; 2; 3		232	30	30	0,212
ЭЗР-3-58	200	2...4	Воздушное	350	80	150	0,68
ГРСТ-1	На фазе 200	1...4	Водяное	285	95	45	0,65
ГНР-315	315	3; 4; 5		345	35	35	0,305
РГА-400	400	4...6		270	34	105	0,43
ЭЗР-4	500			Воздушное	325	35	190

**6.11. Технические характеристики унифицированных горелок типа ГДПГ для механизированной дуговой сварки плавящимся электродом в защитных газах**

Обозначение	Номинальная сила сварочного тока, А	Диаметр электродной проволоки, мм	Материал сварочной проволоки	Длина шлангов, м	Вид охлаждения	Габаритные размеры, мм			Масса (без шлангов), кг
						Длина	Ширина	Высота	
ГДПГ-101-8	160	0,8...1,2	Сталь	2	Воздушное	254	50	113	0,45
ГДПГ-101-9				1					
ГДПГ-101-10				2					
ГДПГ-102	315	1,2...1,6	Алюминий	2	Водяное	266	90	125	0,7
ГДПГ-301-6		1,2...1,4	Сталь	3					
ГДПГ-301-7		0,8...1,4		1					
ГДПГ-301-8		1,2...1,4		3					
ГДПГ-302	1,6...2	Алюминий	2	3	Водяное	268	90	125	0,7
ГДПГ-501-4	500	1,4...2,1	Сталь						
ГДПГ-603	630	1,6...2,5	Сталь	3	Водяное	268	90	125	0,7

6.12. Технические характеристики серийно выпускаемых горелок типов ГНА и ГПА для механизированной дуговой сварки в защитных газах

Обозначение горелки	Номинальная сила сварочного тока, А	Диаметр электрода, мм	Вид охлаждения	Габаритные размеры, мм		Масса, кг
				Длина	Ширина	

Для неплавящихся электродов

1ГНА-040	40	0,8...2		6,8	0,115
				100	0,156
1ГНА-160-100	160	1,5...4	Воздушное	9,12	0,317
180				0,21	
2ГНА-160-140	180			140	0,236
180				0,236	
1ГНА-160-180	180			140	0,583
180				0,788	
1ГНА-315-180	315	2...6	Водяное	12,16	0,998
140				0,398	
2ГНА-315-140	140			180	0,47
180				0,54	
2ГНА-315-220	220			180	0,54
220				0,54	

176

Продолжение табл. 6.12

Обозначение горелки	Номинальная сила сварочного тока, А	Диаметр электрода, мм	Вид охлаждения	Габаритные размеры, мм		Масса, кг
				Длина	Ширина	
1ГНА-630-1	630	4...10	Корпуса— водяное, сопла— воздушное	16,2	0,978	
220				1,2		
1ГНА-630-11	1000	6...12	Водяное	20,28	1,6	
2				2		
1ГНА-1000-220	1000			140	0,415	
180				0,455		
1ГНА-1000-280	180			140	0,365	
180				0,365		

Для плавящихся электродов

ГПА-160-100	160	0,6...1,6	Воздушное	14; 16	0,415
140				0,415	
ГПА-160-140	140			180	0,455
180				0,455	
ГПА-160-180	180			140	0,47
140				0,47	
ГПА-315-140	315	1,6...3	Водяное	16; 18	0,54
180				0,54	
ГПА-315-180	180			220	0,625
220				0,625	
ГПА-315-220	220			180	0,54
180				0,54	

12—807

177



## 6.13. Технические характеристики промышленных аппаратов для плазменной резки

Тип аппарата	Типоразмер по ГОСТ 12221-79	Наибольшая толщина заготовки (из алюминия), мм	Рабочий газ	Номинальный расход газа, м <sup>3</sup> /ч	Напряжение холостого хода, В	Сила рабочего тока, А	Потребляемая мощность, кВт·А	ПВ, %	Тип плазматрона	Источник тока	Масса, кг
КДП-2*	Плр-50/250	50	Азот или азот + воздух	—	180	250	—	60	РДП-2	—	—
УПР-201УЗ*	Плр-20/250	40	Воздух	80...100		150...250	36	100	—	Тиристорный	400
ПВН-1У2	Плр-20/250 Плм-60/300	20 (60)		2...5	180 (220)	250 (300)	—	6 <sup>3</sup> (100)			—
«Киев-4»	Плр-50/250	60	Воздух	2...3	180	100...300	54	100	Индуктивно-емкостный	700	
АВПР-3	Плм-10/100	10		—	220	100	—			ВГРМ-1	ВД-301
«Киев-2»		0,5...1		300	50...200	60	ВГР-10		500		
АВПР-Киев (АВПР-2)	60	2...3			150...300	90	ВГР-9		Тиристорный	630	
АПР-402У4	Плм-60/300	130			1,5...8	100...500	120		ПВР-1	100	
ОПР-6-3М*	Плм-160/600	220		Азот или смеси азота с водородом	—	340/180	100...700		—	РПМ-6; РПР-6	ИПР-140/ 700

\* Охлаждение воздушное (у остальных — водяное).

## 6.5. Оборудование для плазменной резки

В состав аппарата для плазменной резки входят источник питания, плазматрон, пульт управления и баллон со плазмообразующим газом (рис. 6.12).

Технические характеристики аппаратов для плазменной резки приведены в табл. 6.13

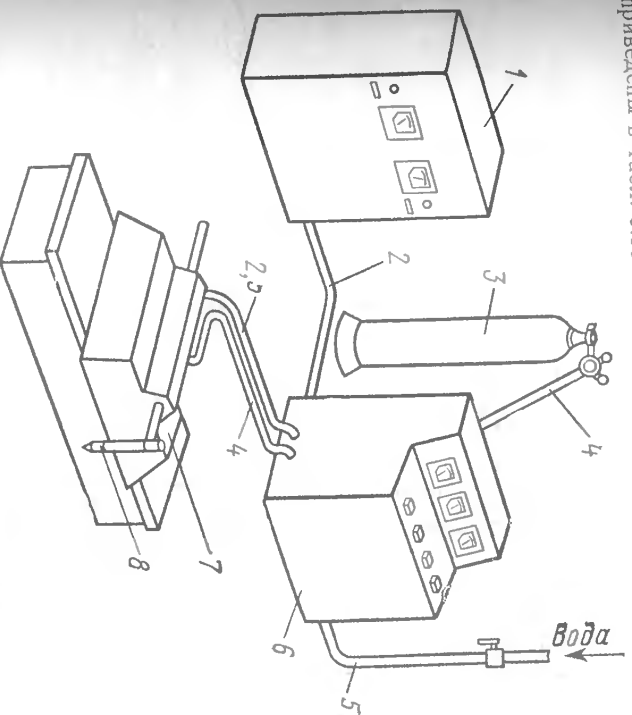


Рис. 6.12. Комплект оборудования для плазменной резки:  
1 — источник питания, 2 — токоподвод, 3 — баллон со сжатым газом, 4 — газовые коммутационные элементы, 5 — магистраль водного охлаждения, 6 — блок и пульт управления процессом резки и транспортирующей машиной, 7 — переносная машина для перемещения плазматрона вдоль линии реза, 8 — плазматрон

## 7. ТЕХНОЛОГИЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ ПОКРЫТЫМ ЭЛЕКТРОДОМ

### 7.1. Подготовка заготовок под сварку

Подготовка заготовок заключается в выполнении ряда вспомогательных технологических операций, таких, как правка, разметка, резка, разлетка кромок.

Правка — технологическая операция по устранению локальных или местных деформаций, выполняемая на правильных вальцах или вручную. Правильные вальцы состоят из рабочих кледей с валиками, между которыми пропускают металл, устраняя неровности и выпучины. Ручную правку выполняют на чугун-

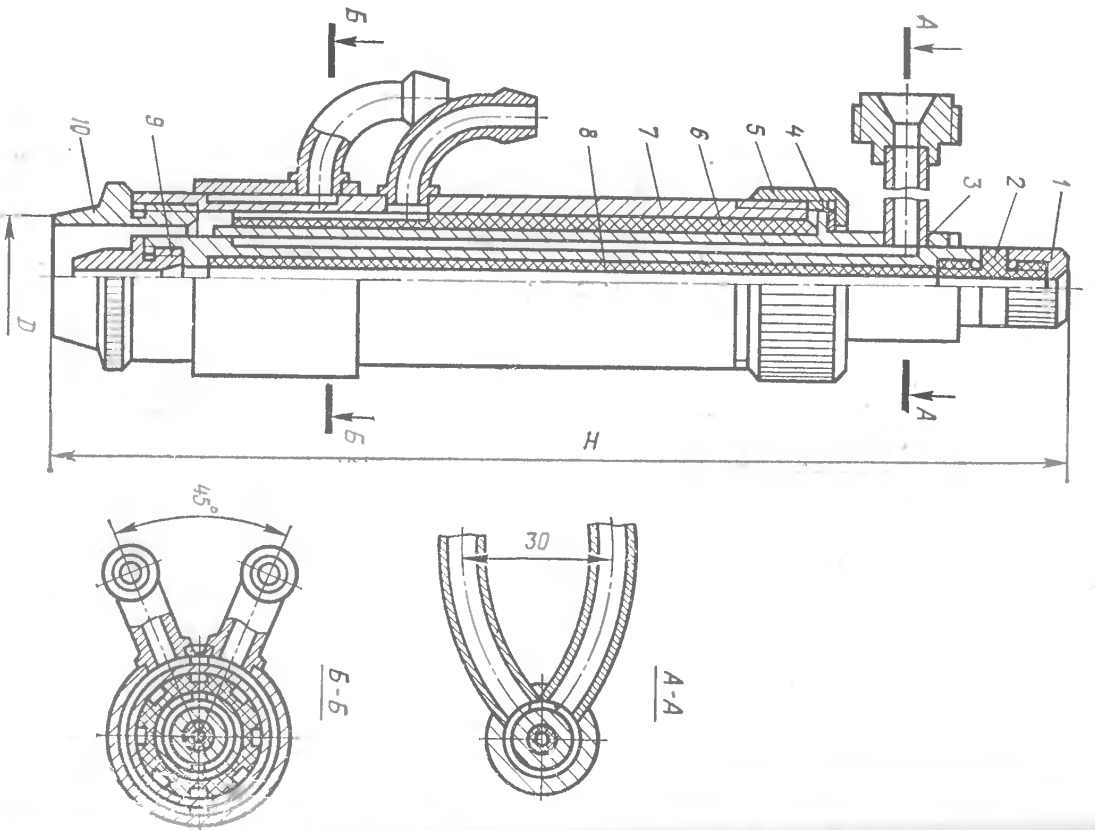


Рис. 6.11. Сварочная горелка ПТА-315 с естественным (воздушным) охлаждением:

1 — приемник, 2 — переходник, 3 — стержень, 4 — шайба, 5 — гайка, 6 — изолятор, 7 — корпус, 8 — трубка, 9 — наконечник, 10 — сопло; H — высота горелки, D — диаметр сопла

ных правильных плитах, наноса по заготовке удары кувалдой или молотком.

Разметка — технологическая операция, при которой на поверхность металла с помощью разметочных инструментов (стальные линейки, угольники, циркули, чертлки, керны и др.) наносят контуры подлежащей вырезке из него заготовки. Рабочую видностью разметки является наметка. При ее выполнении используют шаблоны, по которым очерчивают контур заготовки, а затем кернят.

Разделка кромок — технологическая операция по удалению части металла кромок с приданием им заданной формы для улучшения условий сварки, осуществляемая фрезерованием, плазменной и газовой резкой, а также другими методами. Стальные соединения стальных заготовок толщиной до 6 мм (а иногда и до 8 мм) выполняют без скоса кромок с зазором не более 1 мм. При толщине заготовок до 2 мм зазор не должен превышать 0,5 мм, причем соединения таких заготовок следует выполнять на медной, керамической, асбестовой или остающейся стальной подкладке. Если подкладки применить нельзя, сварку рекомендуется осуществлять в вертикальном положении сверху вниз. Заготовки толщиной 6...8 мм сваривают двусторонним швом.

Для стыкового соединения сваркой заготовок толщиной 8...12 мм выполняют односторонний скос кромок с общим углом раскрытия 50...60°, зазор в стыке составляет 0...2 мм.

Если на подготовленных к сварке кромках имеются следы коррозии, масла или грязи, их удаляют металлическими щетками либо другими средствами.

## 7.2. Сборка заготовок под сварку

Сборка — технологическая операция по обеспечению необходимого взаимного расположения подлежащих сварке заготовок в пространстве закреплением их специальными приспособлениями или прихватками.

Трудоемкость сборочных операций достигает 30% от общей трудоемкости изготовления сварного изделия. Для ее снижения применяют сборочно-сварочные приспособления (табл. 7.1), манипуляторы и сборочные стенды. Точность сборки проверяют шаблонами и шупами (рис. 7.1, а...д).

Сборочные узлы или заготовки соединяют прихватками — короткими швами, поперецное сечение которых составляет до 10% поперецного сечения полного шва, а длина — 20...100 мм в зависимости от размеров свариваемых заготовок. Рекомендуемое расстояние между прихватками — 500...1000 мм. Прихватку выполняют теми же электродами, что и сварку изделия.

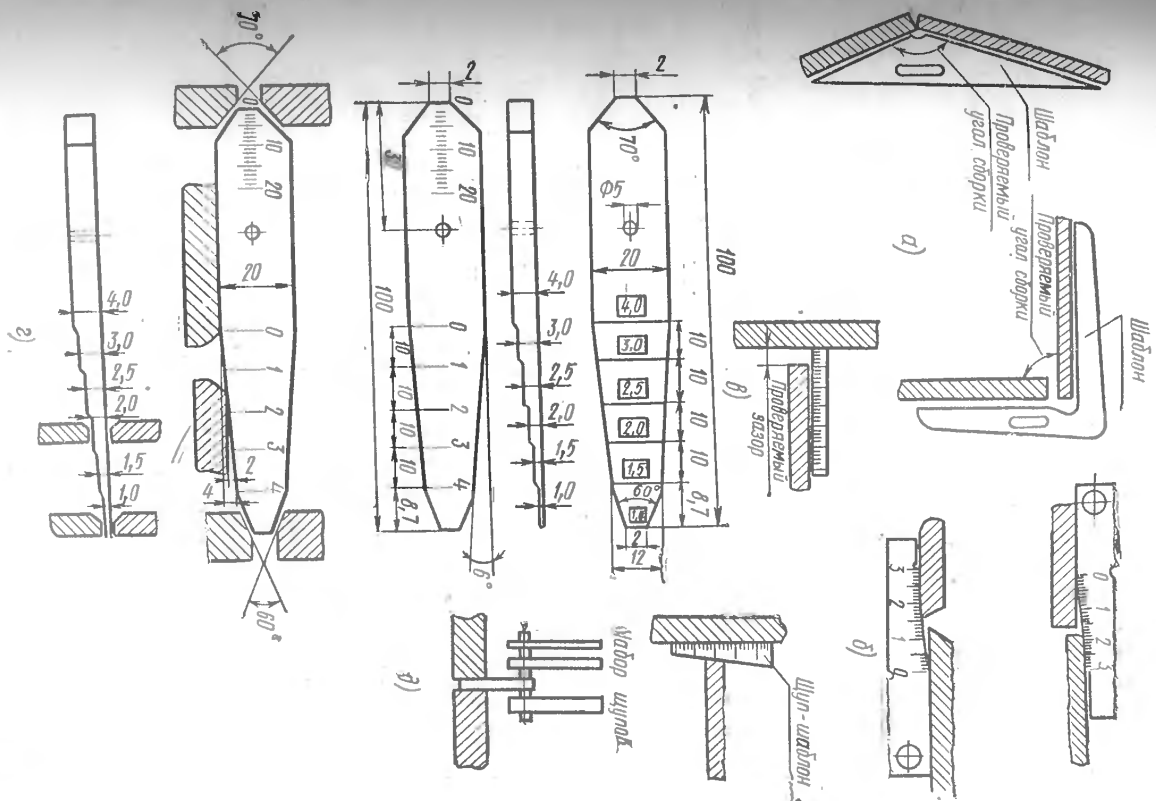
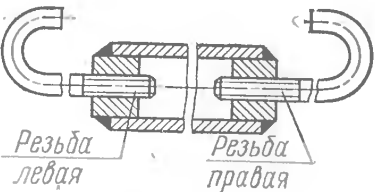
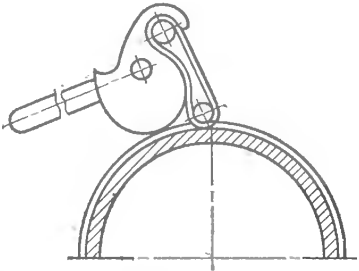
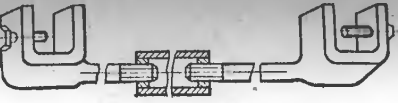
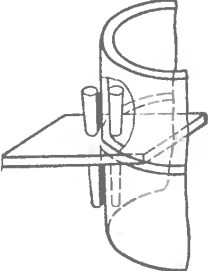
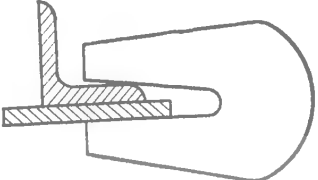
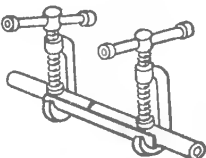
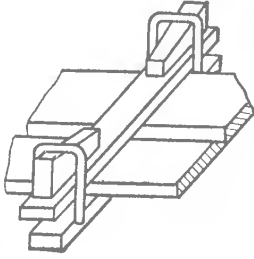
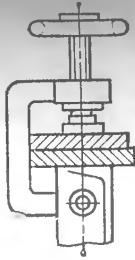
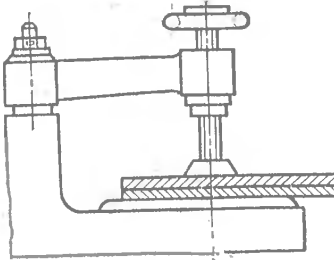
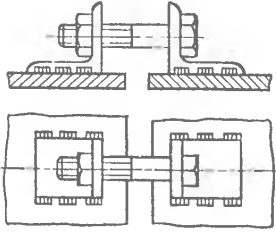
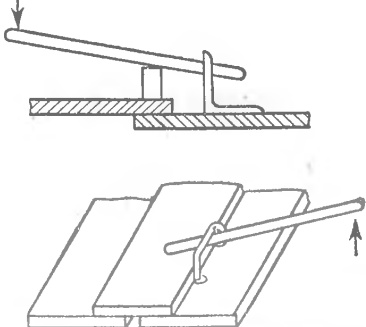
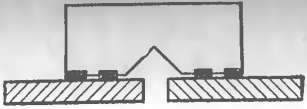
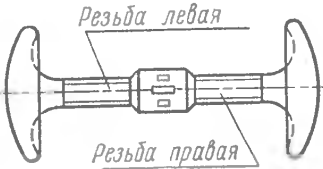
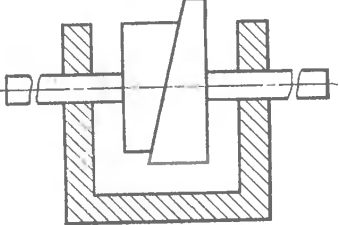


Рис. 7.1. Приспособления для проверки точности сборки под сварку:  
 а — шаблон для контроля угла сборки, б — шаблон для контроля смещения кромок, в — шаблон для контроля зазора, г — универсальный шаблон, д — шупы

## 7.1. Сборочно-сварочные приспособления

Приспособление	Эскиз	Область применения
<p>Винтовые и ручные стяжки для сближения кромок</p>	<p style="text-align: center;"><b>Стяжные</b></p> 	<p>Сборка конструкций и заготовок из листового, полосового и профильного металла</p>
<p>Гибкий хомут с эксцентриковым зажимом</p>		<p>Сборка по продольным швам цилиндров, обечаек, сосудов (натяжное устройство может быть в виде ленты, цепи и троса)</p>
<p>Распорно-стяжное винтовое ручное устройство</p>		<p>Сборка цилиндрических и плоскостенных листовых конструкций, резервуаров, котлов, трубопроводов большого диаметра</p>
<p>Клиновой универсальный зажим с планкой (ручное устройство для закрепления и центровки заготовок)</p>	<p style="text-align: center;"><b>Зажимные</b></p> 	<p>Монтажная сборка листовых конструкций, цилиндрических и конических резервуаров, доменных печей и кауперов</p>
<p>Клиновая ручная скоба из толстого листового металла</p>		<p>Сборка заготовок из листового и профильного металла</p>

Принадлежность	Эскиз	Область применения
Струбцины		Сборка заготовок круглого профиля, труб
Зажимная скоба с клиньями		Сборка листовых конструкций
Винтовая откидная струбцина		Сборка заготовок любых профилей
Винтовой поворотный зажим		Сборка и крепление заготовок в условиях массового производства

Приспособление	Эскиз	Область применения
Прихватные угольники с болтом	<p style="text-align: center;">Прихватные</p> 	Сборка крупных конструкций из листового материала
Прихватная скоба с ломиком		Сборка конструкций в монтажных условиях с применением нахлесточного соединения
Гребенка на прихватках		Монтаж крупных листовых конструкций
Винтовой ручной распор	<p style="text-align: center;">Распорные</p> 	Сборка цилиндрических обечаек, цистерн и котлов
Клиновой распор		Сборка деталей машиностроительных конструкций

## 7.3. Выбор режима сварки

Под режимом сварки понимают совокупность параметров, обеспечивающих устойчивое протекание сварочного процесса и получение сварных швов с заданными физико-механическими свойствами. Различают основные и дополнительные параметры. Основными параметрами являются тип, марка и диаметр электрода, силу, род и полярность тока, а к дополнительным — состав и толщину покрытия электрода, начальную температуру основного металла, положение в пространстве электрода и заготовок в процессе сварки, скорость сварки и величину поперечного колебания торца электрода.

Диаметр покрытого электрода выбирают в зависимости от толщины и химического состава свариваемых заготовок, марки электрода, формы разделки кромок и других факторов. Выбор диаметра электрода в зависимости от толщины свариваемых заготовок (см. ниже) осуществляют на основе индивидуального опыта.

Толщина стальных свариваемых заготовок, мм	Диаметр покрытого электрода, мм	Толщина стальных свариваемых заготовок, мм	Диаметр покрытого электрода, мм
1,5	3	4...5	6...8
1,6	2; 3	3; 4	2; 3; 4; 5
9...12	13...15	16...20	
3; 4; 5	3; 4; 5	3; 4; 5	и более

Электроды Ø2 и 3 мм при сварке заготовок толщиной 4 мм и более применяют при наложении первого слоя (корня шва) в многослойных стыковых и угловых швах. Электроды малого диаметра рекомендуются применять для улучшения проплавления корня шва.

Вертикальные швы выполняют, как правило, электродами диаметром не более 4 мм (иногда — Ø5...6 мм, но только сварщиками высокой квалификации). Для наложения поточных швов также используются электродами диаметром не более 4 мм.

Силу сварочного тока выбирают в зависимости от

диаметра электрода. Для сварки в нижнем положении ее определяют по формуле

$$I_{св} = Kd^a,$$

где  $K$  — коэффициент пропорциональности, зависящий от диаметра и типа электрода,  $d$  мм (см. ниже);  $d_a$  — диаметр электрода, мм.

$d_a$ , мм	1...2	3...4	5...6
$K$ , А/мм	25...30	30...45	45...60

При наложении вертикальных и горизонтальных швов сила сварочного тока должна быть уменьшена по сравнению с принятой для сварки в нижнем положении на 5...10%, а при наложении поточных — на 10...15% для того, чтобы жидкий металл не вытекал из сварочной ванны.

Если сварка выполняется качественными электродами, силу тока следует устанавливать в соответствии с данными, указанными в паспортах или сертификатах на эти электроды.

Правильный выбор силы сварочного тока обеспечивает наибольшую глубину проплавления, отсутствие дефектов шва и необходимость провозводительность. Большая сила тока является причиной появления прожогов основного металла и подрезов — подплавления свариваемых заготовок в местах их перехода к металлу шва. Кроме того, она приводит к перегреву электрода, в результате которого происходит растрескивание и осыпание покрытия, возрастает потеря на разбрызгивание металла, ухудшается форма рование шва.

## 7.4. Техника выполнения сварных швов

Под техникой выполнения сварных швов понимают выбор режимов сварки и приемы манипулирования электродом или горелкой.

**Возбуждение электрической дуги** производится в умя способом — прямым отрывом электрода и его отрывом по кривой. При первом способе (зажигание впритык) электрод перпендикулярно подводит к месту начала сварки и после сравнительно легкого прикосновения к заготовке отводит вверх на 2...5 мм. Вторым способом напоминает зажигание спички (чирканье). При обрыве дуги повторно ее возбуждение осуществляют впереди кратера и на основном металле с возвратом к наплавленному металлу для вывода на поверхность загрязнений, скопившихся в кратере.

**Длина дуги.** От правильно выбранной длины дуги зависит качество сварного шва. Умение поддерживать дугу постоянной длины характеризует квалификацию сварщика.

При увеличении длины дуги возрастает напряжение последней, увеличиваются доля теплоты, затрачиваемой на плавление электрода и основного металла, и ширина сварного шва, уменьшается глубина проплавления и его выпуклости. Для длинной дуги характерны резкий звук, сопровождающийся хлопками, и значительное разбрызгивание расплавленного металла. Кроме того, происходит интенсивное окисление и азотирование металла шва, потери на угар увеличиваются, а шов имеет неровную поверхность. Нормальной считают длину дуги, равную  $(0,5...1,1)d$ , где  $d$  — диаметр электрода.

**Положение и перемещение электрода при сварке.** Наклон электрода зависит от положения сварного шва в пространстве, диаметра электрода, толщины и состава свариваемых заготовок. Направление сварки (рис. 7.2) на горизонтальных

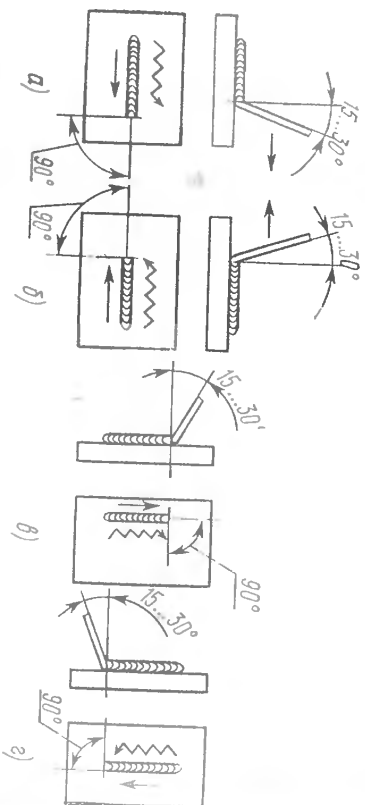


Рис. 7.2. Направления сварки и углы наклона электрода:  
а — слева направо, б — справа налево, в — от себя, г — к себе

тальной поверхности может быть слева направо (а) и справа налево (б), а на вертикальной — от себя (в) и к себе (г).

Независимо от направления сварки при наложении нижних и горизонтальных швов оптимальный угол наклона электрода составляет  $15...30^\circ$  от вертикали в сторону ведения шва. При таком положении электрода металл свариваемых заготовок проплавляется на максимальную глубину, улучшаются условия формирования шва, уменьшается скорость охлаждения сварочной ванны, шов получается плотным и ровным. На практике в зависимости от условий сварки угол наклона электрода может существенно отличаться от указанного.

Выполняя сварку, торцу электрода сообщают движение одновременно в трех направлениях.

Первое движение — поступательное по оси электрода в сторону сварочной ванны со скоростью, равной скорости плавления электрода.

Второе движение — перемещение вдоль направления шва с определенной скоростью. При большой скорости перемещения электрода основной металл не успевает проплавляться, вследствие чего возникает непрочар. Если скорость электрода меньше оптимальной, происходит перетрав или сквозное проплавление металла (прожог).

Сварной шов, образованный в результате первых двух движений торца электрода, называется «ниточным». Его ширина при оптимальной скорости второго движения составляет  $(0,8...1,5)d$ . Ниточным швом заполняют корень основного сварного шва, сваривают тонкие заготовки, выполняют наплавленные работы и подварку подлезов.

Третье движение — поперечные колебания по определенной траектории (рис. 7.3, а...к), совершаемые чаще всего с постоянными частотой и амплитудой, совмещаемые с перемещением электрода вдоль шва и позволяющие получать сварной шов трехбугорной ширины. Ширина шва не должна превышать двух-трех диаметров электрода, так как при большей ширине возможно образование дефектов в сварном шве.

В тех случаях, когда требуется большой прогрев металла по краям шва, например при сварке высоколегированных сталей, при колебательном движении середины пути проходят быстро, задерживая электрод по краям.

**Окончание сварки.** В конце шва нельзя резко обрывать дугу и оставлять на поверхности металла кратер, являющийся концентратором напряжений и зоной с повышенным содержанием вредных примесей. Во избежание образования кратера необходимо прекратить колебательные движения электрода и медленно удлинить дугу до ее обрыва. При сварке заготовок из низкоуглеродистой стали кратер иногда выводят в сторону, на основной металл. Не рекомендуется заваривать кратер, несколько раз обрывая и возбуждая дугу, ввиду образования окисленных и шлаковых загрязнений металла.

**Способы наложения швов различной протяженности.** Способ наложения шва зависит от длины последнего и толщины свариваемых заготовок. В зависимости от длины швы условно подразделяют на короткие (до 300 мм), средние (300...1000 мм) и длинные (свыше 1000 мм). Короткие швы выполняют от начала к концу в одном направлении, средние и длинные — участками длиной 100...350 мм. Длины участков зависят от толщины свариваемых заготовок и подбираются так, чтобы каждый участок мог быть сварен целым числом электродов (двумя, тремя и т. д.). Швы средней длины выполняют участками от середины к концам или обратнотупенчатым способом. Длинные швы накладывают



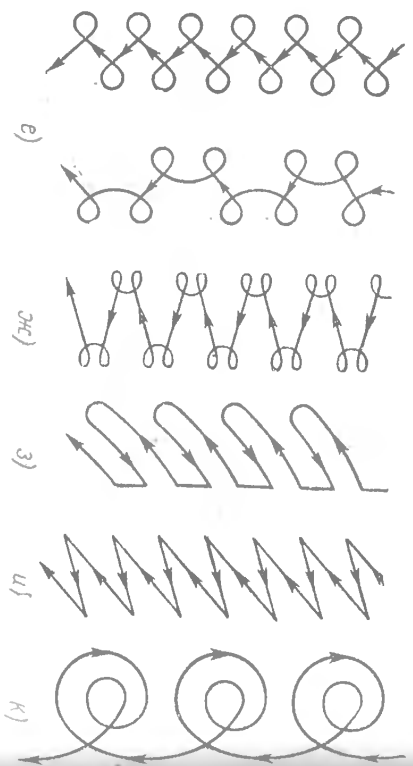


Рис. 7.3. Основные способы поперечных движений торца электрода при слабом (а, б) и усиленном (в...ж) прогреве свариваемых кромок, усиленном прогреве одной кромок (з, и), прогреве корня шва (к).

ванот либо обратноступенчатым способом, либо участками вразброс. Схемы наложения швов различной протяженности приведены на рис. 7.4, а...д.

**Сварку заготовок большой толщины** выполняют за несколько проходов. По способу заполнения по сечению различают однопроходные однослойные (рис. 7.5, а), многослойные (рис. 7.5 б) и многопроходные многослойные (рис. 7.5, в) швы.

Многослойными швами сваривают заготовки толщиной свыше 8 мм. Сварка такими швами (многослойная сварка) имеет следующие преимущества перед однослойной: шов имеет более мелкозернистую структуру вследствие меньшего объема сварочной ванны; повышается пластичность и вязкость металла шва;

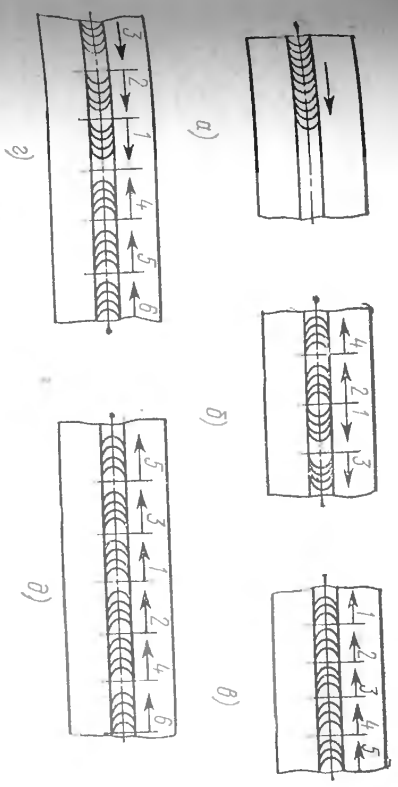


Рис. 7.4. Схемы наложения швов различной длины разными способами:

а — коротких (напроход), б, в — средней длины (соответственно способом от середины к концам шва и обратноступенчатым способом от одного конца шва к другому), г, д — длинных (соответственно одноступенчатым способом от середины к концам шва и обратноступенчатым способом от одного конца шва к другому — вразброс)

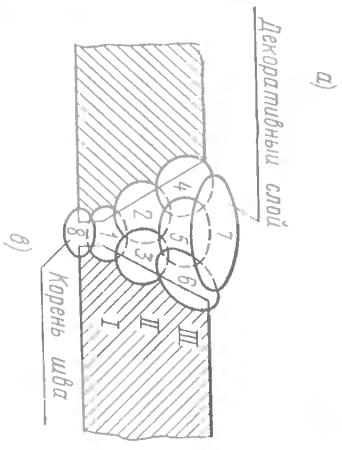
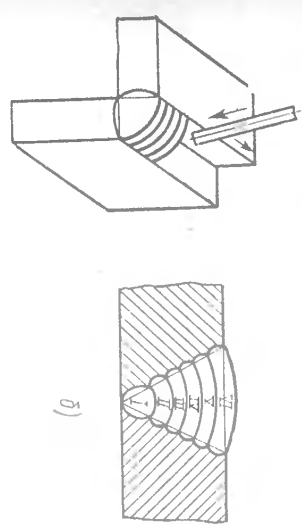


Рис. 7.5. Виды сварных швов в зависимости от способа заполнения по сечению:

а — однопроходный однослойный, б — многослойный, в — многопроходный многослойный; I...VI — обозначения слоев; 1...8 — последовательность наложения слоев

остаточные сварочные напряжения имеют более низкие значения, так как теплога, выделяемая при наложении последующих слоев, способствует релаксации напряжений.

При наложении многослойного шва сначала проваривают его корень электродами Ø2...3 мм, затем сварку продолжают электродами большего диаметра. Перед наложением последующего слоя каждый предыдущий необходимо зачищать от шлака. В том случае, когда требуется выполнить сварку двусторонним швом, наложение каждого шва рекомендуется чередовать на одной и другой стороне, что позволяет уменьшить коробление изделия. Для более равномерного нагрева металла наложение многослойных швов осуществляют различными способами (рис. 7.6): «тор-

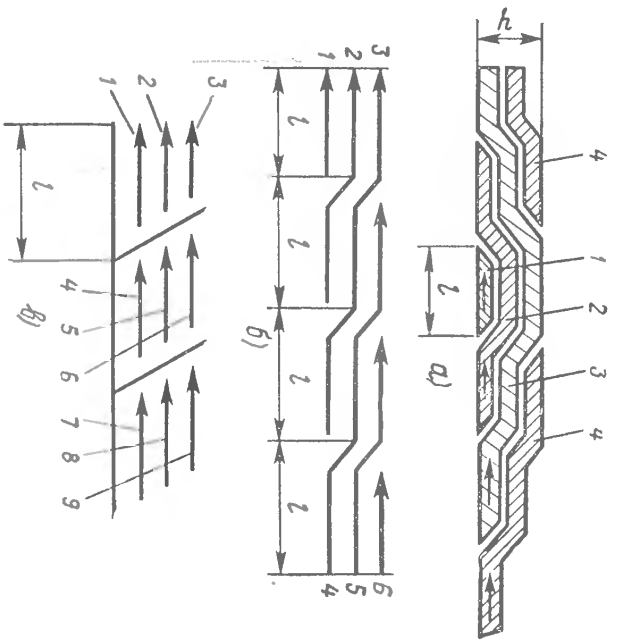


Рис. 7.6. Способы сварки заготовок большой толщины:  
 а — «торкой», б — «каскадом», в — «блоками»; 1..9 — последовательность наложения слоев; l — длина ступени, n — толщина заготовки

кой» (а), «каскадом» (б) или «блоками» (в). Сварку этими способами выполняют ступенями, подбирая длину ступени такой, чтобы температура металла в корне шва была не менее 200 °С в процессе выполнения шва по всей толщине (в этом случае не образуется усадочных трещин). Как правило, длину ступени назначают в пределах 200..400 мм.

Завершающий (декоративный) слой выполняют электродом, отклоненным от вертикали на 5...20° в сторону, противоположную направлению сварки. Число слоев многослойного шва при сварке выбирают по табл. 7.2.

**7.2. Число слоев многослойного шва при выполнении стыковых и угловых соединений**

Толщина заготовок, мм	Стыковые		Угловые	
	Число слоев (не считая подварочного)	Зазор, мм	Катет шва, мм	Число слоев
2	1		2	1
4			6	
6	1...2	1...1,5	8	
8	2...3	1,5...2	10	
10			12	3
12	3...4	2...2,5	14	3...4
14	3...5	2,5...3	16	4...5
16	4...6	3...3,5	18	5...6
18	5...6		20	
20	5...7	3,5...4	22	6...7

**Выполнение стыковых соединений в нижнем положении.** Односторонними стыковыми швами без скоса кромок выполняют сварку при толщине заготовок до 4 мм. Заготовки толщиной 4...10 мм также можно сваривать без скоса кромок, но двусторонним швом. Если толщина заготовок превышает 10 мм, необходима разделка их кромок.

При наложении стыковых швов необходимо обращать особое внимание на равномерность расплавления обеих кромок сваряемых заготовок и правильность выбора силы сварочного тока. Если сила тока недостаточна, стыковой шов не проплавляется на всю глубину, в результате чего возникает непровар. Чрезмерная сила тока вызывает сквозное проплавление металла — прожог.

Для получения бездефектного шва предварительно выполняют подварку его корня ниточным швом с обратной стороны и применяют подкладки. К преимуществам сварки с подкладками относятся улучшенное качество шва и повышенная производительность, так как сварщик выполняет односторонний шов в предельно допустимых режимах.

**Выполнение угловых, тавровых и нахлесточных соединений в нижнем положении.** При выполнении таких соединений сварку осуществляют вертикальным электродом «в лодочку», наклонным

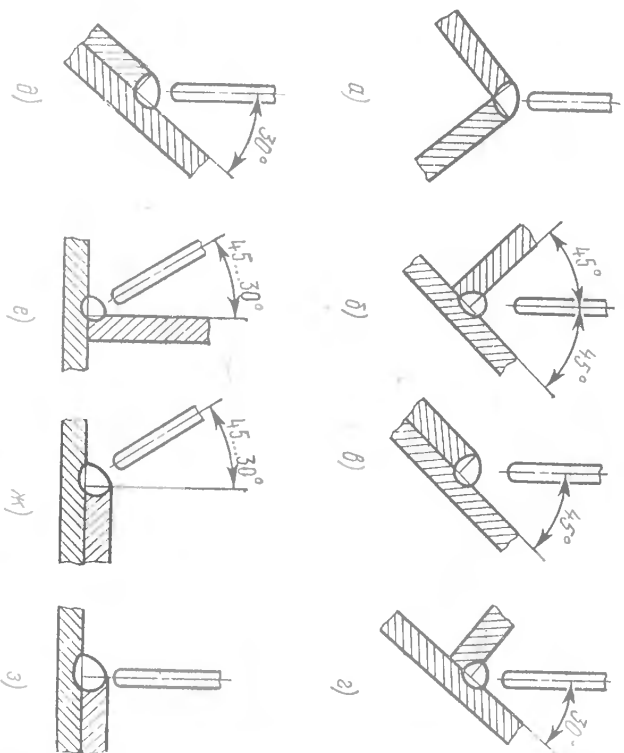


Рис. 7.7. Способы выполнения угловых, тавровых и нахлесточных сварных соединений:

а — углового «в симметричную лодочку», б — таврового «в симметричную лодочку», в — нахлесточного «в симметричную лодочку», г — таврового «в несимметричную лодочку», д — нахлесточного «в несимметричную лодочку», е — таврового наклонным электродом, ж — нахлесточного наклонным электродом, з — нахлесточного с оплавлением кромок

электродом «в угол» или вертикальным электродом с оплавлением кромок (рис. 7.7, а...з).

Сварка вертикальным электродом «в лодочку» обеспечивает благоприятные условия для формирования шва и может быть однослойной и многослойной. Однослойную одностороннюю сварку без скоса кромок применяют для наложения швов с категом до 10 мм. Зазор между сваряемыми заготовками не должен превышать 10% толщины листа.

Сварку наклонным электродом «в угол» выполняют в тех случаях, когда сваряемые заготовки невозможно установить для сварки «в лодочку». При этом способе сварки возможен непровар корня шва и кромок нижнего листа, а также подрез вертикального листа. Непровар корня шва является причиной образования трещин в соединении, поэтому для ответственных изделий выполняют односторонний (при толщине заготовок свыше 12 мм) или двусторонний скос кромок тавра под углом  $(50 \pm 5)^\circ$ . Многослойной сваркой накладывают швы с категом свыше 10 мм.

**Техника сварки, обеспечения наклона** получения качественного соединения «в угол», основана на периодическом изменении угла наклона электрода

в плоскости, перпендикулярной шву (рис. 7.8, а), и перемещении торца электрода по определенной траектории (рис. 7.8, б). Сварку начинают с нижнего листа. Потом торец электрода подводят к углу, немного задерживают для получения хорошего проплавления, после чего передвигают по верхнему листу и без задержки к углу, а затем по нижнему листу и т. д. При многослойной сварке корень шва проваривают электродом  $\varnothing 2...4$  мм ниточным швом. Наложение последующих слоев осуществляют (после очистки шва от шлака) электродом, которому сообщают попеременные колебания.

**Наложение вертикальных швов.** При наложении вертикальных швов жидкий металл сварочной ванны под действием трапециевидных сил стекает вниз. Чтобы удержать его в ванне, вертикальные швы выполняют короткой дугой при силе тока, на

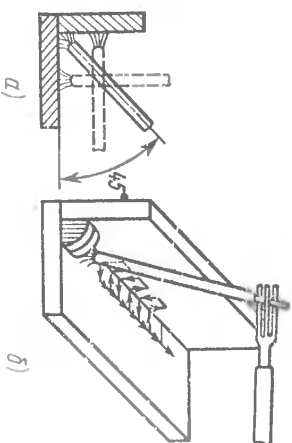


Рис. 7.8. Техника наложения углового шва наклонным электродом:

а — изменение угла наклона электрода, б — траектория перемещения торца электрода (указана стрелками)

10...15 % меньшей, чем при наложении швов в нижнем положении.

Вертикальные швы накладывают двумя способами (рис. 7.9): снизу вверх (а) и сверху вниз (б). Первым способом сваривают заготовке толщиной более 3 мм, а вторым — до 3 мм.

При сварке снизу вверх дугу возбуждают в нижней точке шва. После образования ванны расплавленного металла торец электрода отводит немного вверх и в сторону, давая возможность наплавленному металлу затвердеть. Затвердевший металл образует «полочку», на которую наплавляют последующие слои металла. Рекомендуются движение электрода — вперед или назад с наклоном к горизонту под углом 45...50°, траектория поперечного движения его торца — прямоугольная или криволинейная.

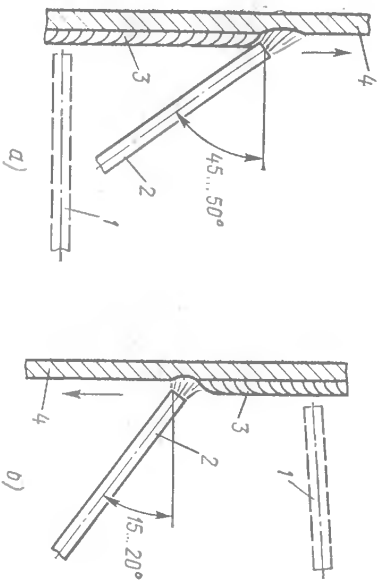


Рис. 7.9. Способы наложения вертикальных швов:

а — снизу вверх, б — сверху вниз; 1 — положение электрода в начале сварки, 2 — положение электрода в процессе сварки, 3 — шов, 4 — основной металл

При сварке сверху вниз дугу возбуждают в верхней точке шва электродом, расположенным перпендикулярно плоскости сварки. После образования ванны расплавленного металла электрод наклоняют вниз под углом 15...20° к линии горизонта. Сварку выполняют короткой дугой с такой скоростью, чтобы жидкий металл не затекал под дугу. При таком способе сварки поперечные движения торцу электрода не сообщают.

**Наложение горизонтальных швов.** Горизонтальные швы накладывают труднее, чем вертикальные. При выполнении стыковых горизонтальных соединений склеивают кромку только у верхнего листа. Дугу возбуждают на горизонтальной кромке нижнего листа, перемещая затем на скошенную кромку верхнего листа.

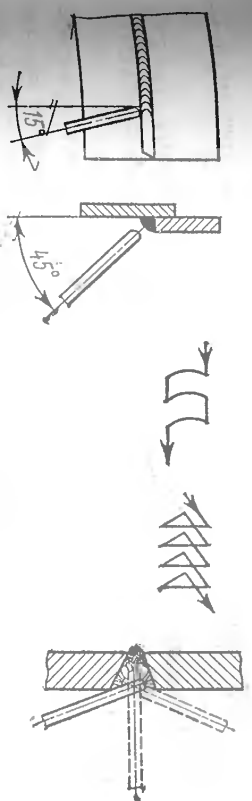


Рис. 7.10. Положения электрода и траектория перемещения его торца при выполнении стыковых горизонтальных соединений

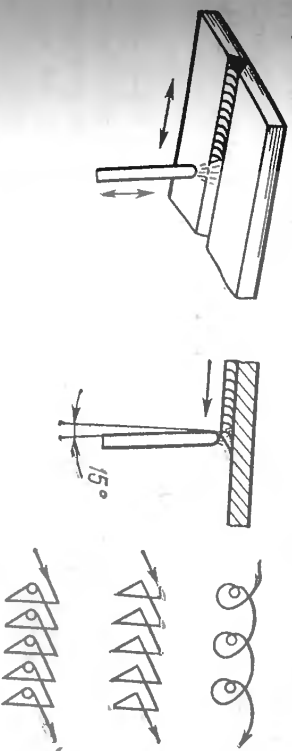


Рис. 7.11. Положения электрода и траектория перемещения его торца при потолочной сварке

Изменения угла наклона электрода в вертикальной плоскости и траектория поперечных колебаний торца электрода должны соответствовать показанным на рис. 7.10.

**Наложение потолочных швов.** Потолочные швы являются наиболее сложными для выполнения. Сварку осуществляют короткой дугой электродом  $\varnothing 3...4$  мм при силе тока, на 15...20 % меньшей, чем при сварке в нижнем положении. Электрод должен иметь небольшой наклон к направлению сварки (рис. 7.11), а амплитуда поперечных колебаний его торца — быть минимальной, чтобы уменьшить объем сварочной ванны. Кроме поперечного и поступательного, сварщик сообщает электроду и осевое возвратно-поступательное движение, удаляя или приближая электрод к сварочной ванне. Заготовки толщиной свыше 8 мм соединяют многопроходной сваркой.

## 8. ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ СПОСОБЫ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ

Сварка электродами с высоким коэффициентом наплавки. Под производительностью наплавки понимают количество электродного металла, наплавленного на заготовку в

единицу времени. Производительность наплавки можно повысить до 18 г/(А·ч) введением в покрытие электрода 30...65% железного порошка. К высокопроизводительным покрытым электродам относятся электроды марок ЭРС-1, АНО-1, АНО-3, АНО-18, АНО-19, ОЭС-3, ОЭС-6 и др. Например, электроды АНО-1, ОЭС-3, АНО-19 Ø 4 мм обеспечивают наплавление металла в количестве 65...70 г/мин, в то время как обычные электроды (АНО-4, ОЭС-4 и др.) — только 23...30 г/мин. Сварку высокопроизводительными электродами можно выполнять только в нижнем и наклонном (до 15°) положениях.

**Сварка электродами больших диаметров.** Применение таких электродов позволяет вести сварочный процесс при большой силе тока (до 600 А) и тем самым увеличить количество металла, наплаваемого в единицу времени. Для сварки используют электроды Ø 8, 10 и 12 мм.

**Сварка гуськом электродов.** Этот способ сварки заключается в одновременной работе двумя и более электродами, изолированными друг от друга. Ток подводится одновременно ко всем электродам. Дуга горит между заготовкой и ближним к ней электродом. Повышение производительности сварки примерно на 30% достигается за счет повышения силы сварочного тока и уменьшения вспомогательного времени на смену электродов.

**Сварка ультракороткой дугой с глубоким проплавлением.** При этом способе (рис. 8.1) используют специальные электроды,

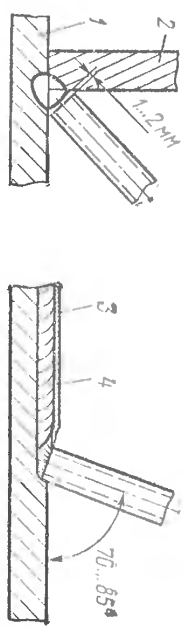


Рис. 8.1. Схема сварки ультракороткой дугой с глубоким проплавлением: 1, 2 — свариваемые заготовки, 3 — шлак, 4 — наплавленный металл

например ЦНИИЛСС-УКД, с покрытием, содержащим тугоплавкие жаропрочные компоненты и способствующим увеличению глубины проплавления. Масса покрытия достигает 60...80% массы стержня.

Электрод опирается на заготовку крошкой покрытия, образовавшейся в результате распада стержня, и перемещается с повышенной скоростью. Угол наклона электрода составляет 70...

85° к поверхности заготовки. Сварка выполняется короткой дугой при повышенной силе тока. Повышение производительности достигается увеличением доли расплавленного основного металла в шве.

Сварка ультракороткой дугой требует тщательной подготовки соединяемых заготовок: поверхность кромок должна быть очищена от ржавчины, зазор между кромками не должен превышать 10% толщины заготовки. Способ применяют в основном при выполнении угловых и тавровых соединений.

**Сварка наклонным электродом.** При этом способе сварки электрод имеет постоянный или изменяющийся угол наклона.

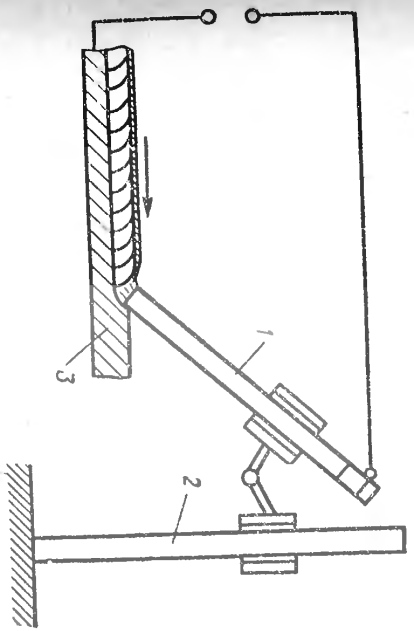


Рис. 8.2. Схема сварки наклонным электродом с постоянным углом наклона: 1 — электрод, 2 — стойка, 3 — свариваемая заготовка

В первом случае сварочный процесс ведут имеющим толстое покрытие электродом с постоянным углом его наклона в пределах 30...45° (рис. 8.2). Во втором случае по мере расходования электрода его нижний торец перемещают в направлении сварки, а верхний опускают вниз. Во время плавления электрода на его торце образуется козырек из материала покрытия, препятствующий короткому замыканию между электродом и заготовкой. Для данного способа сварки используют электроды ОЭС-12, ОЭС-17Н и ОЭС-22Н Ø 6...10 мм.

**Сварка лежащим электродом** — это способ дуговой сварки, при которой неподвижный плавящийся электрод с толстым покрытием укладывают вдоль свариваемых кромок и прижимают к заготовке массивным медным бруском с продольной канавкой (рис. 8.3). С целью возбуждения дуги между торцом электрода

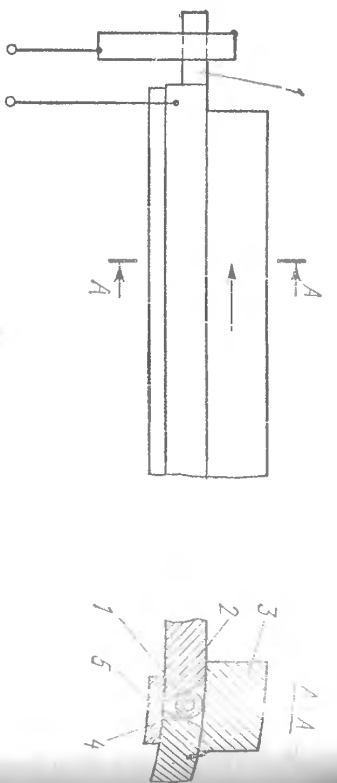


Рис. 8.3. Схема сварки лежащим электродом:

1 — покрытый электрод, 2 — свариваемая заготовка, 3 — массивный медный орус, 4 — свариваемая кромка, 5 — медная или графитовая подкладка; стрелкой показано направление движения сварочной дуги

и заготовкой используют угловые или металлургические стержни. Для данного способа сварки применяют электроды ОЭС-12 и ОЭС-17Н диаметром до 10 мм. Длина электрода должна быть не менее 50 мм превышать длину шва, но составлять не более 1200 мм. Режимы выполнения стыковых швов при сварке заготовок из низкоуглеродистых и низколегированных сталей приведены в табл. 8.1.

Ванную сварку широко применяют при соединении стержней, арматуры железобетонных конструкций, рельсов и др. Сущ-

### 8.1. Режимы выполнения стыковых швов лежащим электродом

Толщина листовых заготовок, мм	Форма подготовленных кромок	Число слоев шва	Диаметр электрода, мм	Сила сварочного тока, А
5	Без скоса	2	5	200...240
6,5			6	260...300
8	Со скосом двух кромок под углом 70°	2	8	340...380
10			8...10	360...400
12		3	6	300...360
14				

ность способа (рис. 8.4) состоит в том, что свариваемые заготовки помещают в стальную, медную или керамическую форму. Зазор между торцами стержней подбирают в зависимости от их диаметра, обычно в пределах 12...23 мм. Основной металл расплавляется главным образом за счет теплоты ванны расплавленного металла.

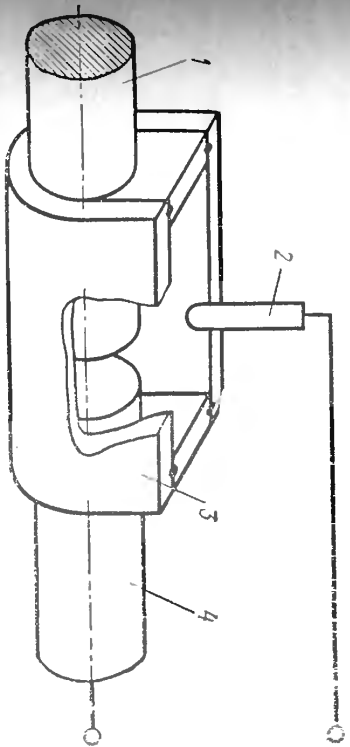


Рис. 8.4. Схема ванной сварки:

1, 4 — свариваемые заготовки, 2 — электрод, 3 — форма

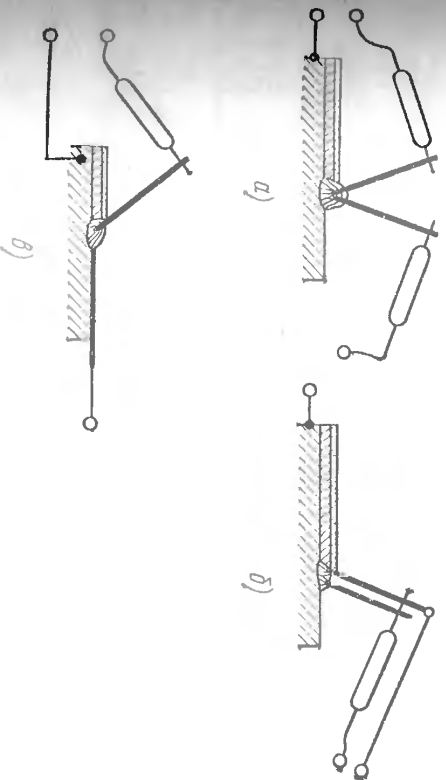


Рис. 8.5. Способы сварки трехфазной дугой: а — двумя держателями, б — параллельными электродами, в — электродом, уложенным на заготовку

Можно выполнять в горизонтальном и вертикальном положениях при большой силе тока одним или несколькими покрытыми электродами марки УОНИ-13/55у или УОНИ-13/85у.

Сварку трехфазной дугой применяют для изготовления конструкций, требующих значительного объема наплавленного металла. В качестве источника питания применяют старинные однофазные трансформаторы. Способы сварки трехфазной дугой приведены на рис. 8.5, а...в.

## 9. ДУГОВАЯ СВАРКА В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ

### 9.1. Общие сведения

Защита расплавленного и нагретого до высокой температуры основного и электродного металла от вредного влияния кислорода, азота и водорода атмосферного воздуха осуществляется защитными газами. В качестве защитных используются активные или инертные газы либо смеси газов. Активные газы (азот, водород, углекислый газ) растворяются в металлах или вступают с ними в химическое взаимодействие. Инертные газы (гелий, аргон) выполняют функции защитного газового слоя и не вступают в химическое взаимодействие с основным или электродным металлом.

Преимуществами сварки в защитных газах являются: высокая производительность (примерно в 2,5 раза выше, чем при ручной дуговой сварке покрытыми электродами); высокоэффективная защита расплавленного металла, особенно

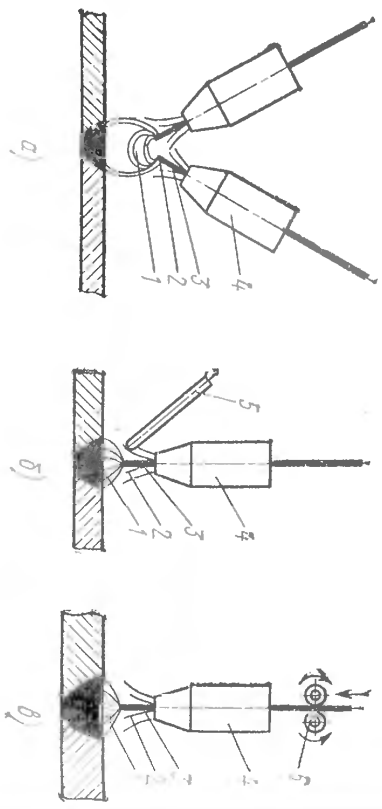


Рис. 9.1. Способы дуговой сварки в защитном газе:

а — дугой колющего действия, б — дугой прямого действия неплавящимся электродом, в — дугой прямого действия плавящимся электродом; 1 — электрические дуги, 2 — защитный газ, 3 — электроды, 4 — сопла горелок, 5 — присадочный пруток, 6 — подающие роликки

при использовании инертных газов; возможность визуального наблюдения за ванной и дугой; широкий диапазон толщин сваряемых заготовок (от десятых долей миллиметра до десятков миллиметров); возможность сварки в различных пространственных положениях; отсутствие необходимости зачищать швы при многослойной сварке; узкая зона термического влияния.

Сварку в защитных газах выполняют тремя способами (рис. 9.1): дугой колющего действия неплавящимся электродом (а), дугой прямого действия плавящимся электродом (б) и дугой прямого действия плавящимся электродом (в).

Для предупреждения пористости в наплавленном металле крошки сваряемых заготовок необходимо тщательно зачищать от ржавчины, грязи, масла и влаги на ширине до 30 мм от места сварки. Рекомендации по разделке кромок в зависимости от толщины заготовок и чисто проходов при выполнении сварки указаны в табл. 9.1.

Классификация дуговой сварки в защитных газах приведена на рис. 9.2.

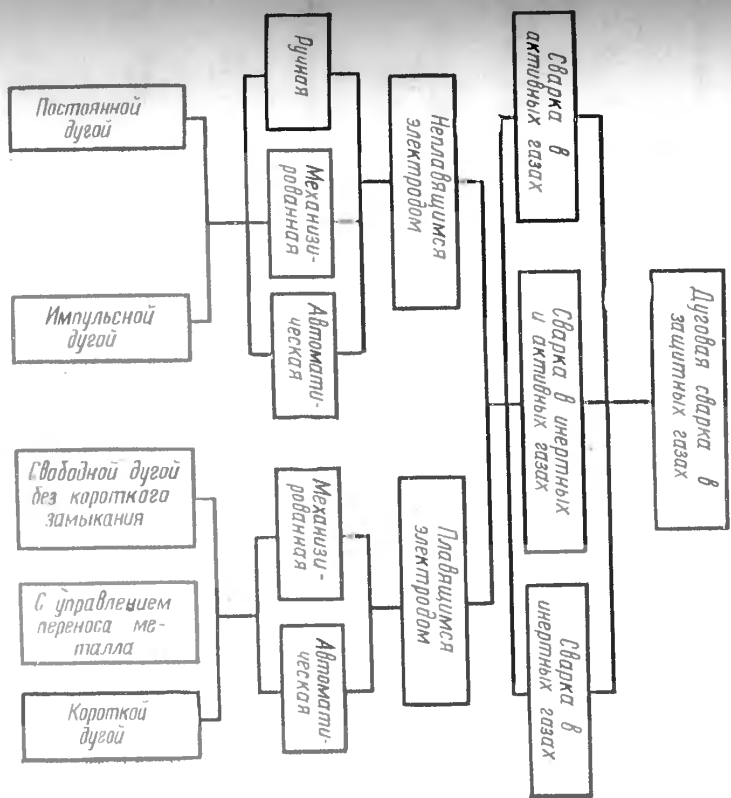
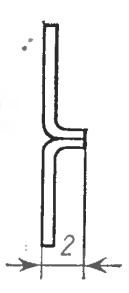


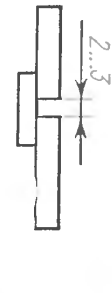
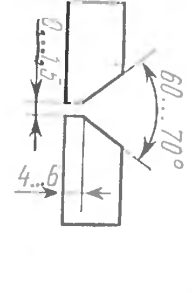
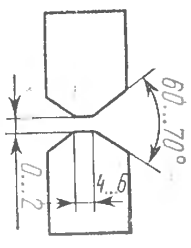
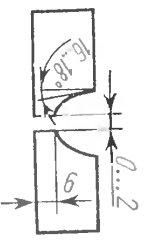
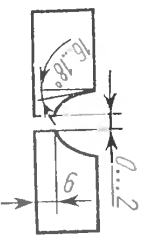
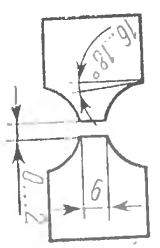
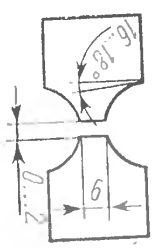


Рис. 9.2. Классификация дуговой сварки в защитных газах

9.1. Разделка кромок и число проходов при сварке стальных заготовок в защитных газах

Толщина загото- вок, мм	Форма поперечного сечения подготовленных кромок	Число проходов
0,6...1		1
1,2...2		1...2
3...5		2
6...8		1...2
8...12		2...3

Продолжение табл. 9.1

Толщина загото- вок, мм	Форма поперечного сечения подготовленных кромок	Число проходов
12...18		2
18		2
20		4
25		10 и более
40 и более		12 и более

Примечание. Сварка выполняется на постоянном токе обратной полярности.

9.2. Дуговая сварка в углекислом газе

Этот способ сварки, выполняемый плавящимся электродом, характеризуется высокой производительностью и низкой стоимостью. С его помощью можно соединять подавляющее большинство сталей, удовлетворительно сваривающихся другими способами дуговой сварки, причем швы могут иметь любое пространственное положение.

Сущность способа заключается в том, что непокрытая электродная проволока  $\varnothing 0,5...3$  мм с повышенным содержанием кремния и марганца (Св-10ГС, Св-08Г2С и др.) подается с по-



9.2. Рекомендуемый диаметр электродной проволоки и расход газа в зависимости от толщины заготовок

Толщина свариваемых заготовок, мм	Диаметр электродной проволоки, мм		Ориентировочный расход газа, л/мин
	Соединения стыковые	Соединения без скоса кромок	
1	0,5	—	6...7
1,5	0,6	0,5...0,6	10...12
		0,6...0,8	
2	0,8	—	14...16
2,5	0,8...1	1,2	16...18
		1,2...1,6	
3	1...1,2	—	18...20
4	1,2...1,6	1,6...2	2...2,5
		1,2	
5	1,2...1,6	—	2...2,5
6	1,6...2	—	2...3
8	1,6...2	—	18...22
10	2...2,5	—	—
12	2...2,5	—	—
14	2...2,5	—	—
16 и более	2...3	—	—

стойной скоростью в зону сварки и одновременно в эту же зону поступает углекислый газ, защищающий нагретый и расплавленный электродный и основной металл от окружающей воздуха. Сварку в углекислом газе выполняют на постоянном токе обратной полярности. Диаметр электродной проволоки выбирают в зависимости от толщины и марки свариваемой стали, типа соединения, положения шва в прострэнстве и других факторов (табл. 9.2).

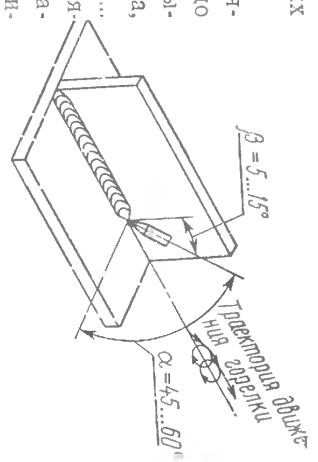


Рис. 9.3. Рекомендуемые углы наклона горелки при выполнении тавровых соединений сваркой в углекислом газе:

$\beta$ ,  $\alpha$  — углы наклона горелки соответственно к вертикальному и горизонтальному дискам

особое внимание следует уделять вылету электрода из мундштука, который подбтрается в зависимости от диаметра электродной проволоки. С увеличением вылета увеличивается разбрызгивание металла, уменьшается устойчивость горения дуги и ухудшается формирование шва. При сварке с малым вылетом контактный токопроводящий наконечник (мундштук) изнашивается сильнее из-за повышенного нагрева. Силу сварочного тока устанавливают в зависимости от выбранного диаметра электродной проволоки. Рекомендуемые значения силы сварочного тока и вылета электродной проволоки приведены ниже.

Диаметр проволоки, мм	Сила сварочного тока, А	Вылет электродной проволоки, мм
0,8	50...100	6...12
1	70...120	7...13
1,2	90...150	8...15
1,6	140...300	13...20
2	200...500	15...25
2,5	300...700	15...30

Чтобы предупредить образование пор в начале шва, перед сваркой необходимо открыть вентиль баллона с углекислым га-

зом, отрегулировать расход последнего и продуть систему в течение 20...30 с. Тонкие заготовки в нижнем положении сваривают при минимальном зазоре между ними ничтожным швом. Углы наклона горелки при выполнении тавровых соединений назначаются в соответствии с рис. 9.3.

Выполняя стыковые соединения, горелку наклоняют в направлении сварки под углом  $5...15^\circ$  к вертикали. Траектории движения горелки, размеры ее колебаний и положение в пространстве при наложении четырехстороннего стыкового шва показаны на рис. 9.4, а...в.

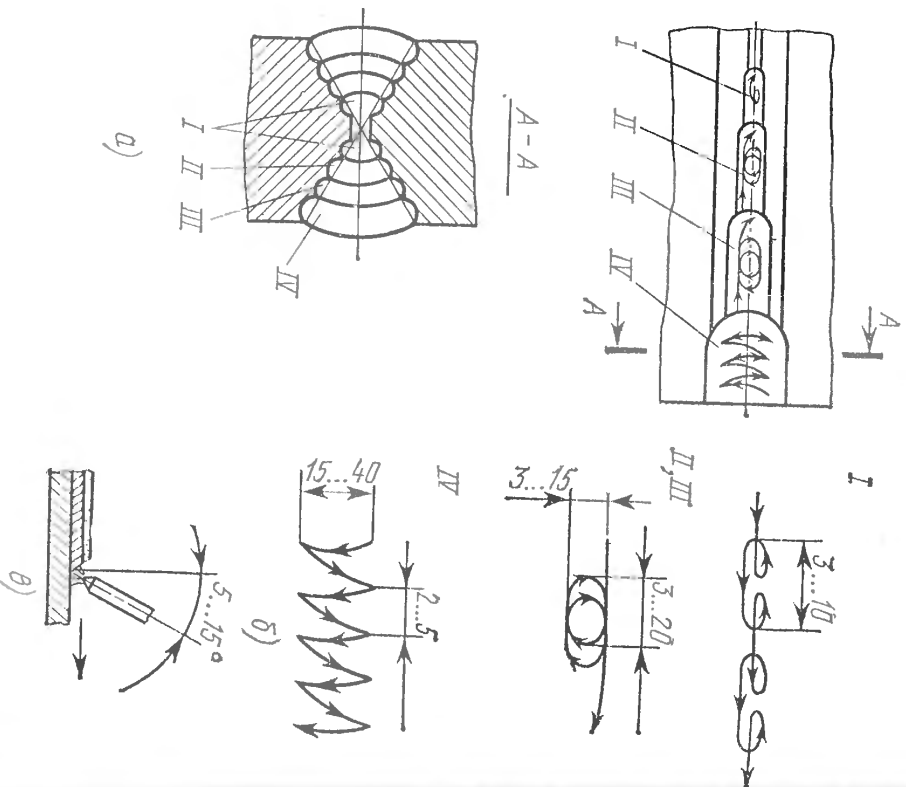


Рис. 9.4 Траектория движения и размеры колебаний горелки при наложении многослойных стыковых швов в пространстве сварки в углекислом газе:

а — траектории движения горелки при наложении слоев I...IV, б — ориентировочные размеры колебаний горелки при наложении слоев I...IV, в — положение горелки в пространстве

Процесс сварки заканчивают в такой последовательности: прекращают движение горелки; заполняют кратер шва металлом; выключают подачу электродной проволоки и сварочный ток; удаляют горелку от места сварки и прекращают подачу газа. Не рекомендуется заканчивать сварку растягиванием дуги.

### 9.3. Аргонодуговая сварка

Из инертных защитных газов для сварки применяют главным образом аргон и его смеси с активными газами. Гелий в отечественной практике используют редко в связи с его высокой стоимостью и дефицитностью.

Аргонодуговой сваркой изготавливают конструкции из коррозионно-стойких и жаропрочных сталей, а также из цветных металлов (титана, никеля, тантала, алюминия, меди, магния и др.) и сплавов на их основе в однородном и разнородном сочетаниях.

Смесь аргона с кислородом применяют для сварки жаропрочных и коррозионно-стойких аустенитных сталей марок 08X18H10T, 15X17AГ14, 06ХХ23Н28М3Д3Т. Содержание кислорода в смеси составляет 1...20%. Смесь аргона (90%) с водородом (10%) используется при сварке неплавящимся электродом тонких заготовок. Высокая скорость сварки в этой смеси обеспечивает минимальное выгорание легированных элементов. Применяют также смеси аргона с азотом, аргона с углекислым газом и др. Различают два вида сварки: неплавящимся вольфрамовым электродом и плавящимся электродом.

Аргонодуговая сварка вольфрамовым электродом осуществляется при механизированной подаче электродной проволоки с применением присадочного прутка или оплавлением отбортованных кромок свариваемых заготовок. Процесс предназначен, главным образом, для соединения заготовок толщиной менее 3...4 мм. Аргонодуговая сварка плавящимся электродом осуществляется при механизированной подаче электродной проволоки и вдувания аргона в зону дуги. Техника и технология аргонодуговой сварки и сварки в углекислом газе аналогичны.

Аргонодуговую сварку выполняют как на постоянном, так и на переменном токе. Заготовки из большинства металлов (легированные стали, медь, титан, никель и др.) сваривают на постоянном токе прямой полярности, что обеспечивает лучшие условия термоэлектронной эмиссии, более высокие стойкость вольфрамового электрода и допустимую силу тока.

Сварку алюминия, бериллия и магния, а также сплавов на их основе, имеющих прочные окисные пленки, выполняют только на переменном токе. Несмотря на недостатки такого питания ду-

### 9.3. Оптимальные значения силы тока при аргонодуговой сварке

Род тока	Диаметр электрода, мм					
	1	2	3	4	5	6
Постоянный: прямой полярности	20...65	65...200	200...300	300...400	350...400	300...480
обратной полярности	До 10	10...30	20...40	40...80	60...100	80...130
Переменный	10...75	40...90	90...150	150...220	220...300	300...400

ти (пониженная устойчивость горения дуги, повышенные нагрев и расход электрода), происходит процесс катодного распыления, и способствующий самоочищению поверхности от оксидов. Силу тока назначают в зависимости от рода тока и диаметра электрода (табл. 9.3).

#### 9.4. Импульсно-дуговая сварка

Сущность импульсно-дуговой сварки заключается в том, что на обеспечивающий горение дежурной дуги постоянный ток силой  $I_{деж}$ , имеющей малое значение, накладывают пульсирующий ток частотой 30...100 имп/с, сила которого  $I_{св}$  в 6..8 раз превышает силу основного тока. Дуга пульсирует с заданным соотношением длительностей импульса и паузы — соответственно  $t_{и}$  и  $t_{п}$ . Сплошной шов получается распылением отдельных точек свариваемых заготовок с определенным перекрытием. Повторное возбуждение импульса и пространственная устойчивость дуги обеспечиваются благодаря горению в промежутках между импульсами и паузами маломощной дежурной дуги, которая во время паузы не оказывает существенного влияния на глубину проплавления. Меняя параметры  $I_{деж}$ ,  $I_{св}$ ,  $t_{и}$  и  $t_{п}$  режима, можно в широких пределах изменять условия плавления и кристаллизации основного и электродного металлов и тем самым влиять на свойства шва.

Протравливающая способность импульсной дуги наиболее эффективно выявляется в процессе сварки заготовок толщинной менее 3 мм. При формировании шва небольшими ваннами, перекрывающими друг друга, после кристаллизации предыдущей ванны силы поверхностного натяжения достаточны, чтобы удерживать расплавленный металл в любом пространственном положении. В связи с этим такие дефекты формирования шва, как провисания и подрезы, практически отсутствуют, уменьшаются деформации и прожоги основного металла.

Производительность импульсно-дуговой сварки в 2,5...3,5 раза выше производительности аргонодуговой сварки неплавящимся электродом. Наиболее целесообразно ее использовать для соединения высококачественных сталей и цветных металлов.

Техника и технология импульсно-дуговой сварки и сварки плавящимся электродом в углекислом газе аналогичны. Режимы сварки при частоте 50 имп/с на тоже обратной полярности при различных пространственных положениях свариваемых заготовок приведены в табл. 9.4.

9.4. Режимы импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом в аргоне

Толщина свариваемых заготовок, мм	Положение свариваемых заготовок в пространстве	Диаметр проволоки, мм	Вылет электродной проволоки, мм	Сила сварочного тока, А		Напряжение дуги, В	Расход аргона, л/мин
				Н	В		
1,5... ...2	Н	1,2	8...12	65...130	18...20	10...12	
				В	60...100		18...19
	П			60...120	18...19		
3	Н	1,2...1,6	10...14	80...140	19...21	12...14	
				В	80...110		18...20
	П			90...130	18...20		
4	Н	1,6	14...17	130...170	19...22	14...16	
				В	120...140		19...20
	П			130...160	19...20		
5...6	Н	1,6...2	16...20	160...210	20...33	14...18	
				В	140...160		19...20
	П			140...190	19...20		
7...8	Н	2	18...22	200...280	20...23	18...20	
				В	150...180		20...21
	П			180...250	19...20		

Примечание. Н — ниже, В — вертикально, П — поперечное.

10. ДУГОВАЯ СВАРКА ПОД ФЛЮСОМ

10.1. Сущность и технологические особенности способа. Подготовка заготовок под сварку

Высокая производительность сварки под флюсом и стабильное качество сварных соединений способствовали ее широкому применению в промышленности при соединении заготовок больших толщин (до 200 мм) из сталей различных классов, титана, сплавов на основе алюминия и меди и других конструктивных металлов. Наиболее часто этот вид сварки используют при изготовлении станин металлообрабатывающего оборудования, мостовых кранов, доменных печей, паровых котлов и др. К недостаткам способа относятся невозможность сварки швов, расположенных в плоскости, отклоненной от горизонтальной плоскости на угол, превышающий 15°.

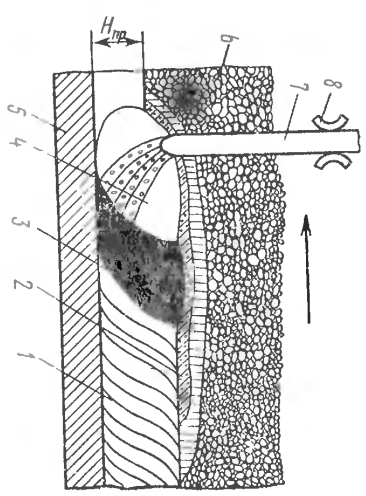


Рис. 10.1. Схема дуговой сварки под флюсом:

1 — сварной шов, 2 — расплавленный флюс, 3 — ванна, 4 — газовый пузырь, 5 — заготовка, 6 — флюс, 7 — электродная проволока, 8 — токопроводящий наконечник; Н пр — глубина провара; стрелкой указано направление движения дуги

Сушность способа заключается в образовании соединения при кристаллизации сварочной ванны под слоем флюса, который зашишает расплавленный металл от кислорода и азота воздуха. Расплавление основного и электродного металлов происходит под действием теплоты дуги, горющей между непокрытой электродной проволокой и свариваемыми заготовками (рис. 10.1). В расплавленном флюсе образуется газовый пузырь, в котором газообразные продукты, выделяющиеся при плавлении металла и флюса, находятся под небольшим избыточным давлением. Давление столба дуги, газов и паров металла, находящегося в пузыре, способствует отсечению жидкого металла из-под дуги, что улучшает проплавление кромок заготовок и уменьшает потери металла на угар и разбрызгивание. Металлургические взаимодействия между расплавленным металлом и жидким шлаком способствуют получению металла шва с заданным химическим составом.

Сварку под флюсом можно осуществлять на переменном и постоянном токах. В свою очередь, в зависимости от полярности постоянного тока дуга может быть прямой и обратной полярности. По способу перемещения дуги относительно заготовок сварка под флюсом подразделяется на механизированную и автоматическую. При механизированной сварке автоматизирован только процесс подачи электродной проволоки в зону сварки, а держатель с установленной на нем воронкой с флюсом перемещают вручную. При автоматической сварке перемещение держателя и поддержание дуги осуществляются специальными механизмами.

Технологические особенности: расстояние от токопроводящего мундштука до сварочной ванны постоянно; вылет электрода не превышает 40...70 мм, что позволяет без перегрева последнего использовать сварочные токи силой до 2000 А; плотность сварочного тока достигает 200...250 А/мм<sup>2</sup> (при ручной дуговой сварке она не превышает 15 А/мм<sup>2</sup>), в результате чего в 2...2,5 раза повышается коэффициент наплавки и одновременно уменьшается доля наплавленного металла в сварном шве благодаря большей глубине проплавления; электродный металл переносится в ванну мелкими каплями, которые не замыкают дугового промежутка и не гасят дугу; наличие расплавленного шлага над сварочной ванной улучшает условия кристаллизации шва.

Преимущества перед ручной дуговой сваркой покрытыми электродами: более высокая (в 5...20 раз) производительность; более высокие физико-механические свойства металла шва; возможность сварки заготовок толщиной до 20 мм односторонним швом без разделки кромок и до 50 мм — двусторонним швом; значительно меньшая стоимость за счет снижения расходов на электроэнергию и присадочный материал.

Подготовку заготовок под сварку с использованием флюса осуществляют более тщательно, чем под ручную дуговую сварку. Резку и скос кромок выполняют механической обработкой или механизированной кислородной резкой. Перед сборкой под сварку края заготовок нужно очистить от ржавчины, масла и других загрязнений на ширине 25...30 мм от места сварки. Сборку осуществляют или в специальных приспособлениях, или с использованием универсальной оснастки. При сборке необходимо обеспечить требуемый и постоянный зазор по всей длине шва. При стыковых соединениях заготовок толщиной до 15 мм зазор должен составлять 1...3 мм, а толщиной 16...20 мм — 2...4 мм. Для угловых соединений зазор не должен превышать 1 мм, для тавровых — 2 мм. Угол разделки кромок заготовок толщиной свыше 20 мм должен составлять (50±5)°.

Для обеспечения хорошего качества начала и конца шва ус- танавливают начальные и выходные планки (рис. 10.2, а), материал и разделка кромок которых такие же, как у свариваемых заготовок. Длина планок составляет 100...120 мм, ширина — 60...100 мм. После сварки планки удаляют. Способы предотвращения вытекания расплавленного металла из сварочной ванны показаны на рис. 10.2, б...е.

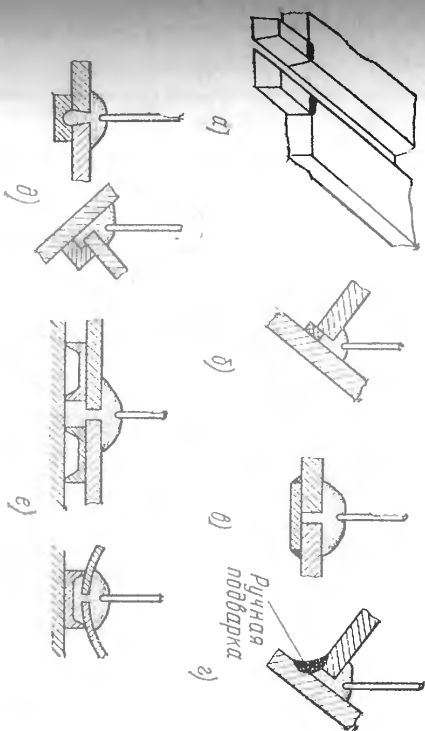


Рис. 10.2. Подготовка заготовок к сварке под флюсом с использованием начальных и выходных планок (а), асбестовой набивки (б), остающейся стальной подкладки (в), предварительной ручной подварки (г), флюсомедной подкладки (д), флюсовой подкладки (е)

## 10.2. Технология и режимы сварки

**Технология сварки.** Перед началом сварки в воронку держателя насыпают флюс и устанавливают держатель на место сварки. Затем открывают заслонку и место сварки покрывают слоем флюса. Нажав кнопку на держателе, включают сварочный ток и после возбуждения дуги перемещают держатель вдоль линии соединения заготовок с требуемой скоростью. Расход флюса, определяемый опытным путем, регулируют заслонкой. В случае прорыва газов через слой флюса количество последнего увеличивают.

**Режимы сварки.** Параметрами режима механизированной сварки под флюсом являются сила сварочного тока, диаметр электродной проволоки, род и полярность тока, скорости подачи электродной проволоки и сварки. Ориентировочные режимы механизированной сварки под флюсом при выполнении стыковых, угловых и тавровых соединений приведены в табл. 10.1...10.7.

10.1. Ориентировочные режимы сварки под флюсом при выполнении стыковых и тавровых соединений на постоянном токе обратной полярности

Толщина свариваемых заготовок, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость подачи проволоки, м/ч	Скорость сварки, м/ч	Допустимый зазор, мм	Тип соединения
3	1,6	170...210	24...26	79...126	30...45	До 1,5	Стыковое
	1,2	130...170		156...191	25...40		
	1,6	170...220		79...126		» 1	Тавровое
4	2	180...300	26...28	79...156	18...26	» 2	Стыковое
		180...320		101...156	24...30	» 1,5	Тавровое
5	2	270...350	26...28	126...156	18...24	» 2	Стыковое
					24...30	» 1,5	Тавровое
6	2	300...400	30...32	156...306	18...24	» 3	Стыковое
		350...450			20...30	» 2	Тавровое

10.2. Ориентировочные режимы сварки под флюсом при выполнении стыковых и тавровых соединений на переменном токе

Толщина свариваемых заготовок, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость подачи проволоки, м/ч	Скорость сварки, м/ч	Допустимый зазор, мм	Тип соединения
3	1,6	180...230	30...32	79...126	30...45	До 1,5	Стыковое
	1,2	—	—	156...191	25...40		
	1,6	180...250	28...30	79...126		» 1	Тавровое
4	2	200...320		28...34	79...156	18...26	» 2
		220...320	101...156		24...30	» 1,5	Тавровое

Продолжение табл. 10.2

Толщина свариваемых заготовок, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость подачи проволоки, м/ч	Скорость сварки, м/ч	Допустимый зазор, мм	Тип соединения	
							Стыковое	Тавровое
5	2	350...400	28...34	126...156	18...24	До 2	Стыковое	
		275...300			24...30		» 1,5	Тавровое
325...450		32...34	156...306	18...24	» 3	Стыковое		
380...480		34...40		20...30		Тавровое		
6		450...470	34...36	306	18...24	» 2	Стыковое	
			380...420	32...38			250	Тавровое
8		500...550	36...40	378			Стыковое	

10.3. Ориентировочные режимы односторонней сварки под флюсом при выполнении стыковых соединений на флюсовой подушке

Толщина заготовок, мм	Зазор, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В		Скорость сварки, м/ч
			Переменный	Постоянный обратной полярности	
10	3...4	700...750	34...36	32...34	30
12	4...5	750...800	36...40	34...36	27
14		850...900			
16	5...6	900...950	38...42	36...38	20
18		950...1000	40...44	36...40	17
20					15

10.4. Ориентировочные режимы двусторонней сварки под флюсом при выполнении стыковых соединений без разделки кромок

Толщина заготовок, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Зазор, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В		Скорость сварки, м/ч
				Переменный	Постоянный обратной полярности	
14	5	3...4	700...750	34...36	32...34	30
16						27
18		4...5	750...800	36...40	34...36	27
20			850...900			
24		5...6	900...950	38...42	36...38	25
28			950...1000			
30		6...7	1100...1200	40...44	—	16
40			10...11			
50					10	

10.5. Ориентировочные режимы двусторонней сварки под флюсом при выполнении стыковых соединений с разделкой кромок

Толщина свариваемых заготовок, мм	Форма подготовленных кромок	Порядковый номер шва	Общий угол скоса кромок, град	Диаметр электродной проволоки, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	
14	Со скосом двух кромок	1	80	5	830...850	36...38	25	
		2	—		600...620		45	
16		1	70		838...850		20	
		2	—		600...620		45	
18		1	60		830...860		20	
		2	—		600...620		45	
22		1	55	6	1050...1150	36...40	18	
		2	—	5	600...620	36...38	45	
24		Со скосом одной кромки	1	40	6	1100	38...40	24
30		С двумя симметричными скосами двух кромок		80		1000...1100	36...40	18
				2		60	900...1000	36...38

10.6. Ориентировочные режимы сварки под флюсом при выполнении тавровых и нахлесточных соединений «в лодочку»

Катет шва, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч		
6	2	450...475	34...36	40		
		475...525				
	3	550...600		30		
	4	575...625				
		5			675...725	
	8				2	475...525
3		600...650				
4		650...700				
10	5	725...775	32...34	25		
		3			600...650	15
		4			725...775	
12	4	725...775	36...38	20		
		5			775...825	18

Примечание. Сварку проволокой Ø 2 мм выполняют под мелким флюсом.



### 10.7. Ориентировочные режимы сварки под флюсом заготовок из алюминия и его сплавов

Толщина заготовок, мм	Диаметр сварочной проволоки, мм	Скорость подачи проволоки, м/ч	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Слой флюса	
						Ширина, мм	Высота, мм
4	1...1,2	634...691	140...160	27...30	24...26	25	7
6	1,2...1,4	538...585	170...180	28...31		26	26
8	1,4...1,6	359...477	190...210	29...32	20...22		
10	1,6...1,8	410...425	220...250	30...34		18...19	27
12	1,8...2	338...364	260...280	34...36	17...18		
14	2...2,2	290...318	300...350	35...38		15...17	32
16	2,5...2,8	250...270	350...370	37...40	14...15		
18	2,8...3	232...240	400...450	38...41		13...14	44
20	3...3,2	220...225	450...470	39...41	40...42		
22	3,2...3,5	214...220	470...480	40...42		12...13	46
25	3,5...4	197...205	500...550				

Примечания: 1. Сварка — на постоянном токе обратной полярности. 2. Сварочная проволока — по ГОСТ 7871—75. 3. Флюс — марки АН-А1.

## 11. ЭЛЕКТРОШЛАКОВАЯ СВАРКА

### 11.1. Технологические особенности способа. Подготовка заготовок под сварку

Схема процесса электрошлаковой сварки и сущность этого способа описаны в гл. 1. Способ широко используется в промышленности для соединения заготовок большой толщины из стали, чугуна, меди, титана и др.

**Технологические особенности.** Электрошлаковой сваркой могут быть соединены за один проход заготовки любой толщины. Выполняют ее вертикально без скоса кромок с зазором 18...30 мм. Для формирования шва и удерживания жидкого металла и шлака от вытекания применяют медные водоохлаждаемые ползунки или остающиеся после сварки пластины. Время существования сварочной ванны достаточно для того, чтобы уменьшить вероятность образования газовых раковин в шве. В связи с отсутствием дугового разряда снижаются потери металла на разбрызгивание и выявляется возможность вести процесс при больших плотностях тока. Свариваемые заготовки прогреваются равномерно по всей толщине, что позволяет предотвратить их угловые перемещения.

К преимуществам электрошлаковой сварки относятся следующие: ее производительность в 5...15 раз выше производительности автоматической сварки под флюсом; выполнение сварки не требует дорогостоящей разделки кромок; незначителен расход флюса (обычно не более 5% от массы наплавленного металла); отсутствуют поры и неметаллические включения в наплавленном металле.

Недостатком электрошлакового процесса является перерев металла околошовной зоны, что приводит к снижению его вязкости и пластичности. Имеют место значительные остаточные напряжения. Для ответственных изделий сразу же после сварки производят нормализацию.

Подготовка заготовок под сварку заключается в обрезке кромок под углом 90°, очистке от ржавчины, масла и других загрязнений на ширине 45...50 мм от места сварки, сборке заготовок с заданным сборочным зазором (см. ниже), который компенсирует перемещение кромок вследствие усушки при кристаллизации металла сварочной ванны.

Толщина свариваемых заготовок, мм	16...30	30...80	80...500	500...1000	1000...2000
Расчетный зазор, мм	18	22	26	30	30

Примечание. Размеры зазоров указаны для сварки прямыми молниеносных стыков.

Для обеспечения постоянства зазора между свариваемыми заготовками приваривают скобы с шагом 500...800 мм. С целью возбуждения электрошлакового процесса и предотвращения вытекания расплавленного металла и шлака к заготовкам приваривают входной карман толщиной, равной толщине заготовки. Заготовка, подготовленная к электрошлаковой сварке, показана на

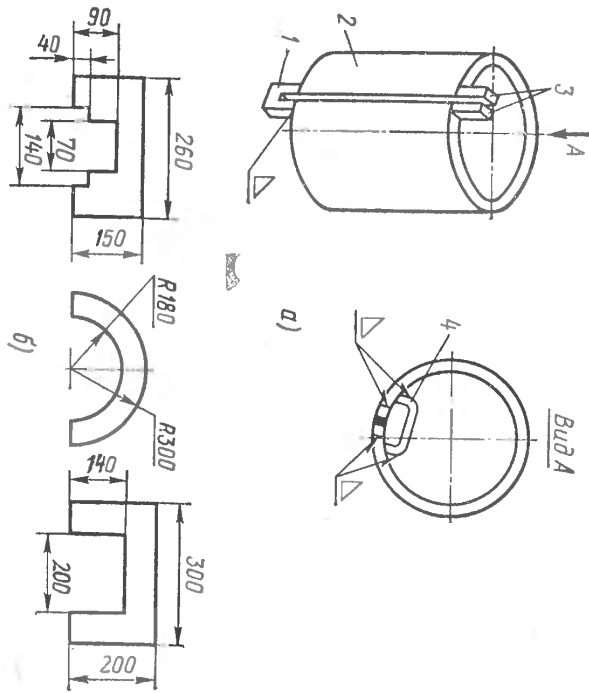


Рис. 11.1. Подготовленная к электрошлаковой сварке заготовка в сборе (а) и виды скоб (б):  
1 — входной карман, 2 — заготовка, 3 — выводные планки, 4 — скоба

рис. 11.1, а, виды скоб — на рис. 11.1, б. Для вывода усложненной раковины используют выводные планки. По окончании сварки скобы, выводные планки и входной карман удаляют.

### 11.2. Технология и режимы сварки

Электрошлаковый процесс устойчиво протекает при плотности тока  $\approx 0.1$  А/мм<sup>2</sup> (при ручной дуговой сварке — при 90...300 А/мм<sup>2</sup>). Форма шва и глубина проплавления основного ме-

### 11.1. Ориентировочные режимы электрошлаковой сварки заготовок из низкоуглеродистых сталей проволочными электродами

Марка флюса	Марка электрода «Якобус»	Диаметр электрода, мм	Скорость поперечного колебания электрода, м/ч	Скорость подачи электрода, м/ч	Выдержка у полузубов, с	Скорость сварки, м/ч	Глубина шлаковой ванны, мм	Толщина свариваемых заготовок, мм	Зазор, мм
АН-8	40...45	2,5	—	172	—	0,9...1	20...25	30	30
								70	26...30
ФН-7	60...80	3	26...32	300	4...6	1,6	50...70	90	24...27
								250	28...32
АН-8	60...70	3	31...36	200...220	5	0,35	45...50	300	30
								450	30...33
								200	36...38

тагда зависят от основных параметров режима электродшлаковой сварки — скорости подачи электродов, силы сварочного тока, толщины свариваемого металла, приходящегося на один электрод, расстояния между электродами. Дополнительными параметрами режима являются зазор между крошками, состав флюса, глубина шлаковой ванны, скорость возврата-последовательного движения электрода, скорость и амплитуда поперечных колебаний электрода, его вылет и др. В табл. 11.1 приведены ориентировочные режимы электродшлаковой сварки заготовок из низкоуглеродистых сталей.

## 12. ПЛАЗМЕННАЯ СВАРКА

Этот способ сварки находит применение при изготовлении изделий из высоколегированных сталей, никелевых сплавов, молибдена и многих других металлов, главным образом в авиационной и электронной промышленности. Сжатую дугу, используемую для сварки, получают в плазматронах прямого или косвенного действия (см. рис. 1.6). Сварку металлов обычно выполняют с помощью первых, принцип действия которых основан на горении дуги между неплавящимся вольфрамовым электродом и свариваемыми заготовками.

Сжатая дуга обладает высокой устойчивостью и широким диапазоном технологических свойств. Стобе дуги и струя плазмы имеют цилиндрическую форму, поэтому изменение дугового промежутка практически не влияет на площадь пятна нагрева, что дает возможность стабилизировать проплавление основного металла. Питание дуги осуществляется от источника тока — переменного или постоянного прямой полярности. Дуга возбуждается с помощью осциллятора. В плазматрон одновременно подаются два независимых потока газов — плазмообразующего и защитного. Плазмообразующим газом служит аргон и др. а защитным — аргон, гелий, углекислый газ или смеси газов. Внешний поток защищает сварочную ванну и зону сварки от воз действия атмосферного воздуха.

Ориентировочные режимы плазменной сварки приведены в табл. 12.1.

12.1. Ориентировочные режимы плазменной сварки при выполнении стыковых соединений на постоянном токе прямой полярности без присадочной проволоки

Металл	Толщина заготовок, мм	Скорость сварки, м/мин	Диаметр сопла, мм	Параметры дуги		Плазмообразующий газ		Защитный газ	
				Сила тока, А	Напряжение, В	Состав	Расход, м <sup>3</sup> /ч	Состав	Расход, м <sup>3</sup> /ч
Коррозионно-стойкая сталь	2,4	0,97	2,4	160	31	92,5 % Ar + 7,5 % H <sub>2</sub>	0,14	92,5 % Ar + 7,5 % H <sub>2</sub>	0,99
	3,2	0,61		145	32		0,28		
	4,8	0,41		240	38		0,34		
	6,4	0,36		305	35		0,5		
	12,7	0,19		185	21	Ar	0,14	Ar	1,4
Титан	3,2	0,51		190	26		0,23		0,85
	4,8	0,38		285	38		0,34		1,27
	12,7	0,254		305	35		0,113		0,85
Низкоуглеродистая сталь	2,4	0,254		305	35	0,057	1,4		
Алюминий*				85	27	75 % He + 25 % Ar	0,113	0,85	

\* Сварку выполняют на постоянном токе обратной полярности.

### 13. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Сварка является основным технологическим процессом изготовления всех видов металлических конструкций. Применение сварных соединений вместо клепаных или болтовых позволяет уменьшить массу (на 20...30%), трудоемкость изготовления (на 20...30%) и стоимость (на 25...40%) металлоконструкций. По сравнению с литыми конструкциями экономия металла может достигать 60%, а общая стоимость конструкции снижается в несколько раз.

Технологический процесс изготовления сварных конструкций состоит из ряда самостоятельных процессов, таких, как изготовление заготовок, сборка, сварка, термическая обработка и др. В данной главе рассмотрены особенности изготовления некоторых групп конструкций ручной и механизированной дуговой сваркой.

#### 13.1. Сварка трубопроводов

Перед сборкой трубы проверяют на соответствие требованиям сертификата и подготавливают под сварку — комплектуют их, правят торцы, обрабатывают и очищают крошки. При сборке отдельных труб под сварку следует обеспечить совмещение их кромок по всему периметру с требуемым зазором и точное центрирование труб по внешней или внутренней поверхности.

Разнотолщинность стенок свариваемых труб должна составлять не более 10% толщины стенки, не превышая 3 мм, угол раскрытия шва — 60...70°, притупление — 2...2,5 мм. Зазор между кромками труб и их допустимое смещение при ручной дуговой сварке указаны ниже.

Толщина стенок, мм . . .	2...4	5...6	7...8	9...14	15 и более
Смещение, мм . . .	1	1,5	2	2,5	3
Зазор, мм . . .	0,5	1	2	2	3

Собранные перед сваркой трубы прихватывают. Для труб диаметром до 300 мм прихватку выполняют равномерно по окружности в четырех местах швами высотой 3...4 мм и длиной 50 мм каждый. При сварке труб диаметром более 300 мм прихватки располагают равномерно по окружности стыка через каждые 250...300 мм.

Трубы длиной 12 м, поступающие на полевые сварочные базы, соединяют в секции, транспортируют на трассу и сваривают «в нитку». Сварку секций выполняют в поворотном положении.

Накладывая первый слой при многослойной сварке, необходимо обеспечить хорошее проплавление корня шва. Для уменьшения образования грат внутри стыка сваривают вертикальные участки кр 1—2 и 3—4 (рис. 13.1) на всех стыкуемых участках секции трубопровода. Затем секцию поворачивают на 90° и сваривают

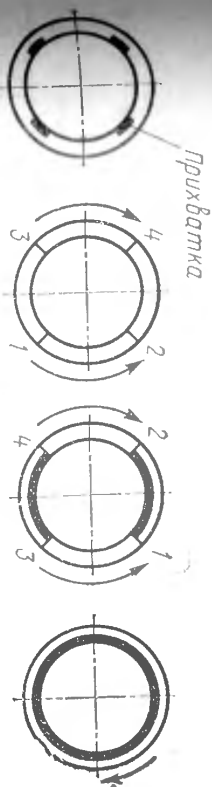


Рис. 13.1. Порядок сварки поворотных стыков трубопроводов

участки 3—1 и 4—2. Последующие слои накладывают при непрерывном вращении трубы или так же, как первый, с перекрытием 20...25 мм относительно начала и конца предыдущего слоя. Вертикальные стыки труб диаметром более 400 мм сваривают обратнотупенчатым способом (рис. 13.2, а, б).

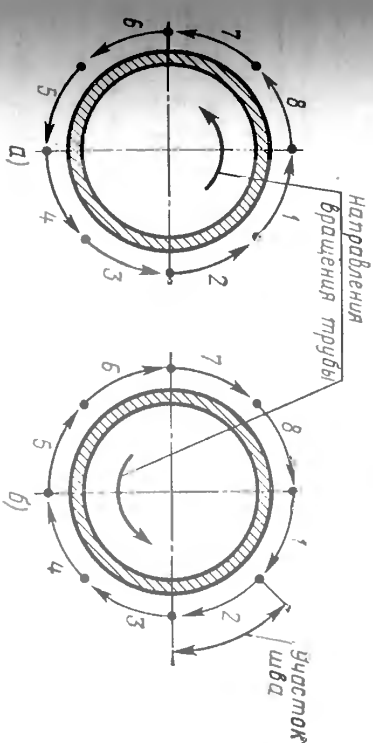


Рис. 13.2. Схема сварки стыков труб большого диаметра: а, б — наложение соответственно первого и второго слоев

Неповоротные стыки труб при ручной дуговой сварке соединяют многослойными швами: при толщине стенки 4...5 мм — трех-, и при толщине 10...12 мм — четырехслойным. Корневой шов выполняют электродом Ø 1,6...3 мм (в зависимости от толщины стенки трубы), сообщая ему возвратно-поступательное движение, с задержкой дуги в сварочной ванне. Силу тока устанавли-

вают в пределах 90...120 А; сварку ведут короткой дугой. После дугоши слои накладывают электродами  $\varnothing$  3..4 мм с перекрестием начала и конца предыдущего слоя на 20...25 мм. Необходимо, чтобы высота второго и последующих слоев не превышала 4 мм, а ширина валика — была равной двум-трем диаметрам электрода. Порядок сварки неповоротных стыков труб показан на рис. 13.3, а...в.

Ориентировочные режимы дуговой сварки стыков труб приведены в табл. 13.1, а сварки в углекислом газе — в табл. 13.2.

### 13.1. Ориентировочные режимы ручной дуговой сварки стыков труб из низкоуглеродистой и низколегированной стали

Толщина стенки, мм	Количество слоев в шве	Покрываемый электрод		Накладываемый слой шва	Диаметр электрода, мм	Сила тока при сварке в нижнем положении, А
		Тип	Марка			
4...6	2	Э-42А	ВСП-1, ОЗС-9, АНО-9, УОНИ-13/45, СМ-11	1-й	3	90...120
				2-й	4	120...180
				1-й	3	100...120
		Э-46А	АНО-8, СМ-11	2-й	4	130...150
				1-й	3	100...120
				2-й	4	120...140
Э-50А	ТМУ-21, АНО-7, УОНИ-13/55	1-й	3	100...120		
		2-й	4	120...140		
		1-й	3	90...120		
10...12	3	Э-42А	То же и ВФС-50	2-й	4	120...180
				1-й	3	90...120
				3-й		100...160

Горизонтальные стыки можно соединять как ручной дуговой сваркой, так и сваркой в защитных газах. Схемы разделения кромок показаны на рис. 13.4, а, б, последовательность наложения слоев — на рис. 13.4, в.

Ручную дуговую сварку горизонтальных стыков выполняют электродами тех же типов, что и вертикальных. Первый слой накладывают в вершине шва движущимся возвратно-поступательно электродом  $\varnothing$  4 мм; сила тока составляет 160...190 А.

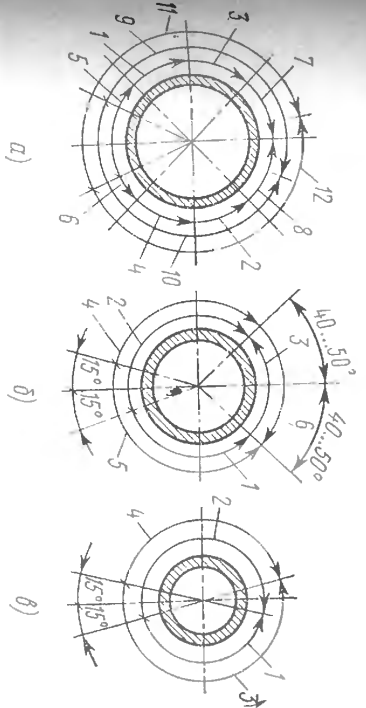


Рис. 13.3. Порядок сварки неповоротных стыков труб: а — больших (свыше 400 мм) диаметров; б — средних (до 400 мм) диаметров; в — малых (до 120 мм) диаметров; 1...12 — последовательность наложения слоев

### 13.2. Ориентировочные режимы механизированной сварки стыков труб плавящимся электродом в углекислом газе

Параметры режима	Диаметр электродной проволоки, мм		
	1	1,2	1,6
Сила сварочного тока, А	80...180	90...220	120...350
Напряжение дуги, В	18...24	18...28	18...32
Вылет электрода, мм	8...14	10...15	14...20
Расстояние от сопла горелки до заготовки, мм	8...18		15...25

Наложение второго слоя осуществляют в том же направлении и при тех же значенных силах тока, что и первого. Третий и последующий слои выполняют электродом  $\varnothing$  5 мм при силе тока 250...300 А. Направление сварки меняют при наложении каждого последующего слоя. Горизонтальные стыки труб диаметром более 200 мм сваривают обратнотупенчатым способом.

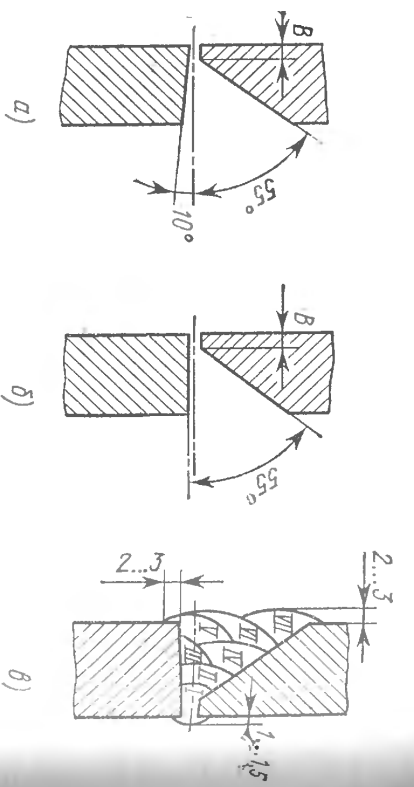


Рис. 13.4. Схемы разделки кромок горизонтальных стыков ответственных (а) и неответственных (б) трубопроводов и последовательность (1... VII) наложения слоев (в)

### 13.2. Сварка балочных и решетчатых конструкций

Балочные конструкции используют при строительстве для изготовления металлических каркасов гражданских и промышленных зданий. Наибольшее применение получили двутавровые блоки с поясными швами, изготавливаемые ручной дуговой или автоматической и механизированной сваркой под флюсом и в защитном газе.

В условиях массового или серийного производства сборку балок под сварку осуществляют в кондукторах. Сварку крупногабаритных балок выполняют под флюсом автоматами, а малогабаритных — в защитных газах полуавтоматами.

На рис. 13.5, а показана схема применяемой в условиях единичного производства бескондукторной сборки балок по разметке. Сборку начинают с разметки верхней полки 4 и приварки к ней технологических планок 2. Стенку 6 устанавливают по угольнику и плотно прижимают к технологическим планкам, а затем с двух сторон прихватывают к полке. Длина прихваток составляет 60...80 мм, шаг — 500...600 мм. Приватку нижней полки и стенки выполняют аналогично.

Балки соединяют ручной дуговой сваркой покрытыми электродами или механизированной сваркой под флюсом. Для выполнения швов «в лодочку» применяют козлы. При ручной сварке швы накладывают обратнотупенчатым способом, а при механизированной — непрерывно на всю длину. Последовательность наложения швов указана на рис. 13.5, б.

К решетчатым конструкциям относятся фермы

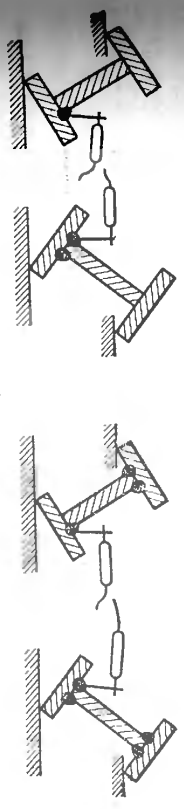
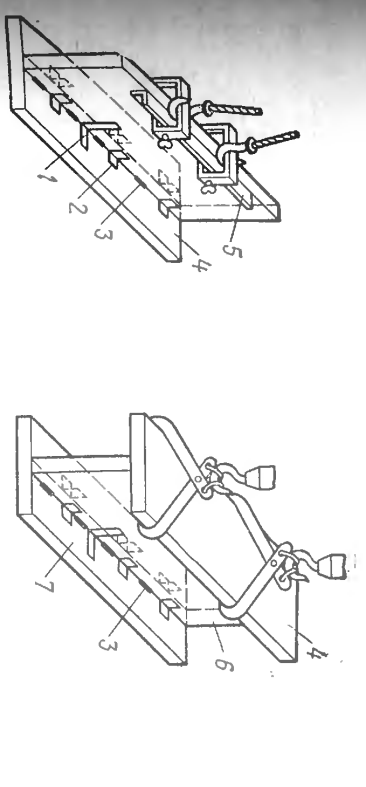


Рис. 13.5. Схема сборки балок по разметке (а) и последовательность наложения швов (б):  
1 — угольник, 2 — технологические планки, 3 — прихватка, 4, 7 — верхняя и нижняя полки, 5 — подкос, 6 — стенка

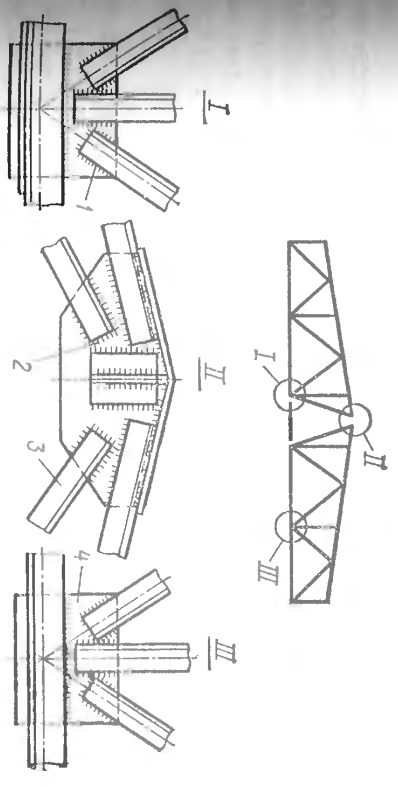


Рис. 13.6. Узлы (I... III) стропильной фермы:  
1, 2 — фланговые и лобовые швы, 3 — стержень из уголка, 4 — «косынка»

(рис. 13.6), стойки, матчи, башни, крановые конструкции и т. д. Их изготовляют в основном из проката, а также из гнутых профилей открытого и замкнутого сечений. Соединения таких конструкций выпотыняют короткими швами, имеющими различное пространственное положение.

#### 14. НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ ПРИ СВАРКЕ

##### 14.1. Общие сведения. Причины возникновения сварочных напряжений и деформаций

При приложении к какому-либо телу механической нагрузки происходит изменение его формы и размеров — деформация. В твердых телах различают *упругую* (исчезающую после устранения вызвавшего ее воздействия) и *пластическую* (остающуюся после удаления нагрузки) деформации.

Под воздействием нагрузки и в зависимости от ее характера внутри материала возникают напряжения сжатия или растяжения. Напряжения — это величина, выраженная отношением силы к площади, на которую эта сила воздействует. В соответствии с характером напряжений могут происходить деформации удлинения и укорочения.

Возможно возникновение напряжений внутри материала и без приложения внешне усилия, если по тем или иным причинам этот материал испытывает неравномерное термическое воздействие. Напряжения возникают прежде всего вследствие того, что материалы обладают свойством изменять свои размеры пропорционально изменению температуры.

Если внутренние напряжения в отдельных зонах превосходят называемый предел текучести уровень, когда начинаются пластические деформации, то после устранения причины, вызвавшей эти изменения, и из-за неравномерности пластических деформаций в объеме тела останутся напряжения, но изменится характер их распределения. В одних зонах всегда будут напряжения растяжения, в других — сжатия. Уравновешивая друг друга, эти остаточные напряжения приводят к возникновению остаточных деформаций.

Любая сварка связана с неравномерным термомеханическим воздействием на материал (интенсивный нагрев пограничной зоны, приложение внешних усилий к заготовкам). В процессе сварки все время меняются условия термомеханического воздействия на материал в отдельных зонах, поэтому характер распределения деформаций и напряжений во время сварки также будет меняться (сварочные деформации и напряжения). Эти на-

пряжения могут привести к разрушению материала (горячие трещины) там, где под воздействием термического цикла сварки ослаблена его прочность.

При сварке слои материала, расположенные ближе к шву, будут стремиться удлиняться больше, чем отдаленные от него. Но более холодные слои сдерживают это перемещение, что приводит к сжатию сильнее нагретого слоя — он пластически деформируется (укорачивается). При охлаждении этот же слой будет стремиться укоротиться на ту же величину, на которую должен был удлиняться при нагреве в том случае, если бы это произошло свободно. Однако соседние слои, так же, как и в предыдущем случае, препятствуют осуществлению этих перемещений в полной мере, поэтому охлажденный слой оказывается растянутым, а соседние — сжатыми. Это явление и является одной из главных причин появления остаточных напряжений и деформаций. Под воздействием остаточных напряжений могут происходить локальные разрушения в зоне соединений (холодные трещины) или даже общее разрушение сварной конструкции сразу же после охлаждения либо спустя какое-то время.

Другой причиной появления остаточных напряжений и деформаций могут быть сопровождающиеся изменением объема изменения в структуре материала. Поскольку они неравномерны по объему свариваемой заготовки, так как происходит под воздействием термического цикла сварки, это приводит к появлению остаточных напряжений.

С ростом температуры снижается предел текучести материала (рис. 14.1), что облегчает осуществление пластических деформаций в нагретых зонах.

Возникновение напряжений приводит к изменению формы изделия. Если эти изменения велики и недопустимы, то их уменьшают термическим, механическим или термомеханическим способом. Процесс сварки организуют так, чтобы использовать закономерности появления напряжений и с помощью специальных технологических приемов снизить или устранить деформации.

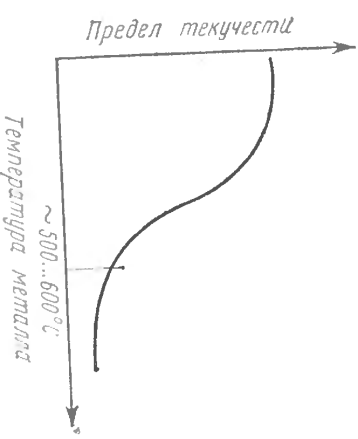


Рис. 14.1. Характер изменения предела текучести стали в зависимости от температуры

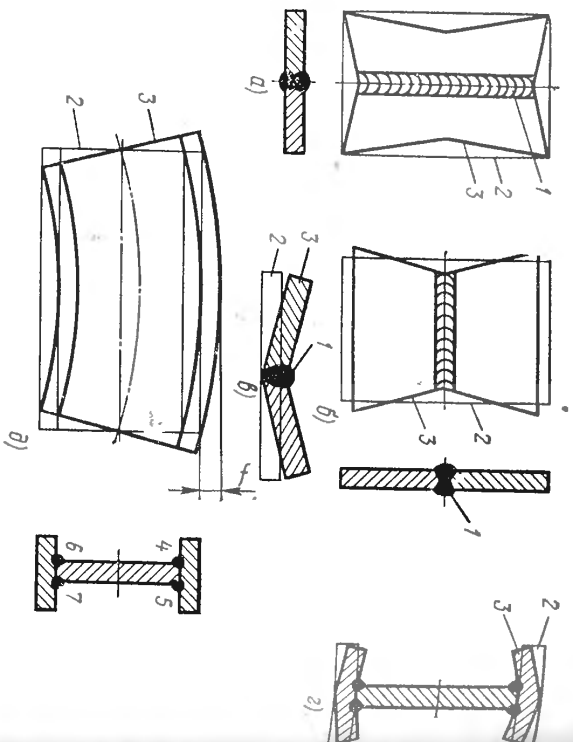


Рис. 14.2. Виды сварочных деформаций: а, б — линейные, в, г — угловые, (г — «рибовидность» бажки, в — «серповидность» бажки); 1 — сварной шов, 2, 3 — формы изделия до и после сварки, 4...7 — последовательность наложения швов; 8 — стрелка прогиба

На рис. 14.2, а...д показаны виды сварочных деформаций некоторых конструкций.

### 14.2. Способы уменьшения сварочных напряжений и пластических деформаций в металле

Для уменьшения сварочных напряжений и деформаций принимают различные конструкторские и технологические способы. **Предварительный и сопутствующий подогрев при сварке.** При местном подогреве нагревают участок шириной не менее 40...50 мм с каждой стороны от края шва. Подогрев, осуществляемый газовым пламенем, косвенной электрической дугой и другими способами, снижает предел текучести металла околошовной зоны и уменьшает остаточные напряжения. Температуры (°С) предварительного подогрева различных металлов указаны ниже.

Сталь	400... 600
Чугун	500... 800
Алюминий	200... 270
Бронза	300... 400

**Выполнение соединений обратноступенчатыми швами.** Этот способ заключается в том, что весь шов разбивают на отдельные ступени и наложение каждой ступени осуществляют в направлении, обратном общему направлению сварки (рис. 14.3, а, б). Сложно

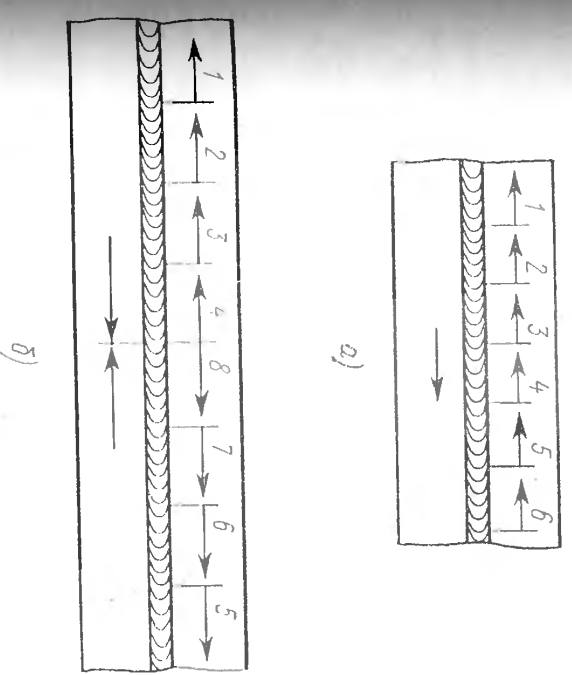


Рис. 14.3. Последовательность (1...8) наложения не-больших (а) и длинных (б) швов при обратноступенчатом способе сварки

обеспечивает более равномерный нагрев металла шва по длине, а следовательно, и меньшие сварочные напряжения и деформации. Длину ступени назначают в широких пределах (100...400 мм) и тем меньшей, чем тоньше металл.

**Правильная последовательность наложения швов.** При изготовлении сварных конструкций из листового материала (рис. 14.4, а, б) происходит перемещение незакрепленных частей заготовок, являющееся причиной образования больших и неравномерных зазоров. Секционная сварка отдельных частей допускает их свободную линейную деформацию, которая не влияет на сборку этих частей в готовое изделие.

**Принудительное охлаждение** в процессе сварки осуществляют с целью уменьшения зоны нагрева путем интенсивного отвода теплоты. Для охлаждения используют воду, в которую помещают свариваемые заготовки, оставляя на воздухе только участки, подлежащие сварке. Более рационально применять массивные



подкладки и прижимы из меди и сплавов на ее основе, обладающие высокой теплопроводностью.

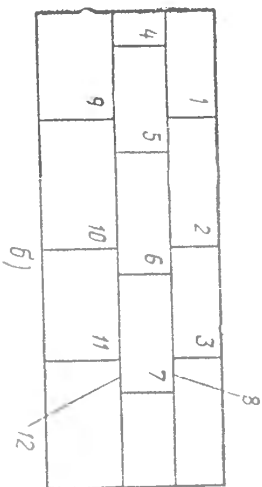
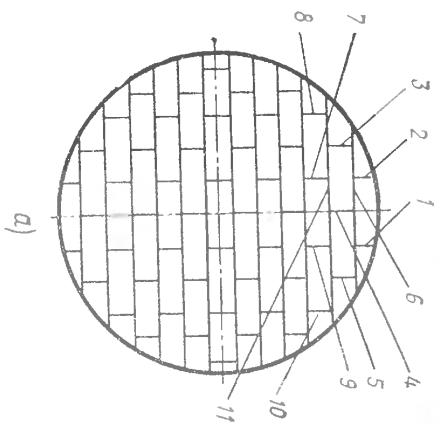


Рис. 14.4. Последовательность (1... 12) наложения швов при сварке дна резервуара (а) и листового настила (б)

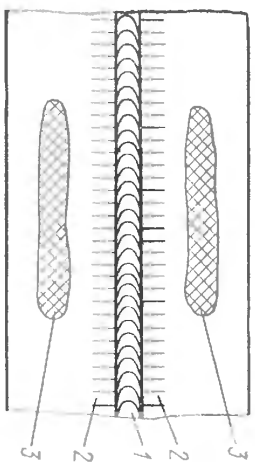


Рис. 14.5. Расположение зон нагрева: 1 — сварной шов, 2 — зоны растяжения, 3 — зоны нагрева

Такая обработка ведет к локальной пластической деформации в растянутых слоях металла (деформации удлинения), способствуя тем самым снижению общего уровня напряжений и деформаций. Прокровку можно выполнить молотком массой 0,5...1,5 кг по горячему металлу (сразу же после сварки) или после его остывания.

#### Прокровка стали в температурном интервале 200...450 °С не рекомендуется из-за возможности образования трещин.

Наиболее широко проковку швов применяют при ручной сварке покрытыми электродами. Рекомендуется выполнять швы длиной 150...200 мм и проковывать их сразу же после сварки. При многослойной сварке корневой и декоративный швы таковой обработке не подвергают. Промежуточные слои проковывают сразу же после их наложения.

**Неравномерный нагрев** широко используют для перераспределения остаточных напряжений. Нагрев металла обдувается пластические деформации и ведет к снижению уровня напряжений (рис. 14.5). Рекомендуется

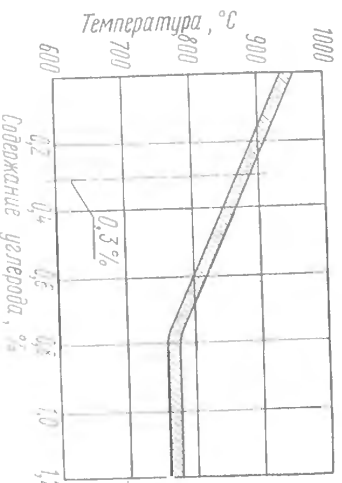
для нагрева различных металлов температуры указаны в начале данного параграфа.

**Жесткое закрепление заготовок.** Заготовки, подлежащие сварке, закрепляют на фундаменте, плите или в приспособлении с помощью струбцины, прижимов и др. Жесткое закрепление заготовки препятствует перемещению ее элементов в процессе нагрева и охлаждения, что приводит к более интенсивным деформациям в металле и, как следствие, к меньшим остаточным деформациям. После сварки и полного охлаждения изделия зажимные приспособления удаляют.

### 14.3. Термическая обработка изделий, изготовленных сваркой

Термической обработке подвергают ответственные сварные конструкции, к которым предъявляются требования сохранения неизменных формы и размеров после механической обработки в процессе эксплуатации, а также конструкции из высокоуглеродистых и легированных сталей для повышения пластичности и вязкости сварных швов.

В процессе нагрева предел текучести низкоуглеродистой стали (см. рис. 14.1) заметно снижается и при 600 °С близок к нулю — практически при этой температуре металл не оказывает сопротивления пластическим деформациям и сварочные остатки не напряжены полностью.



Как показывает опыт, для стабилизации размеров неответственных конструкций из низкоуглеродистых сталей достаточно произвести их в высокотемпературный отпуск при 600...670 °С. Время отпуска начинают из расчета 1 мин на 1 мм наибольшего сечения. В котором имеется сварной шов, но не менее 30 мин; охлаждение — медленное на воздухе.

Рис. 14.6. Температурный интервал нагрева углеродистой стали, требуемый для ее полного отжига (полный отжиг или нормализация стали с содержанием углерода 0,3% происходит в интервале 870...890 °С)

Конструкции ответственного назначения из углеродистых сталей подвергают полному отжигу, который не только снижает внутренние напряжения, но и повышает пластичность шва и околошовной зоны. Отжиг заключается в нагреве стали до температуры, соответствующей заданному температурному интервалу (рис. 14.6), выдержки из расчета 1 мин на 1 мм сечения, но не менее 30 мин; охлаждение — вместе с печью до 300 °С, а затем на воздухе.

Нормализация является разновидностью полного отжига. Температурный интервал нагрева сталей с содержанием углерода до 0,8 % назначается в соответствии с указанным на рис. 14.6. Время выдержки — такое же, как и при полном отжиге; охлаждение — на воздухе. В результате такого охлаждения металл приобретает мелкозернистое строение. По сравнению с полным отжигом нормализация обеспечивает получение более прочного, но менее пластичного шва.

#### 14.4. Способы исправления деформированных сварных конструкций

Сварочные деформации устраняют механической или термической правкой.

Механическая правка заключается в создании локальных пластических деформаций в элементах конструкции. Для правки применяют прессы, домкраты, правильные валцы, ручной слесарный или кузначный инструмент и др.

Термическая правка достигается за счет создания пластических деформаций в зонах сжатия. Нагрев осуществляют газовой горелкой или электрической дугой. Стальные изделия ре-

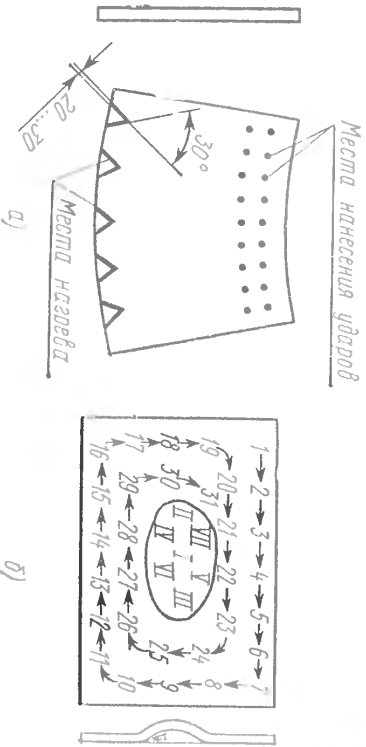


Рис. 14.7. Схемы правки плоской заготовки с серповидным прогибом (а) и выпучиной (б): 1...31 — места нанесения ударов; I...VII — зоны нагрева

комендуется нагревать до 300...650 °С, в отдельных случаях температуру нагрева доводят до 800...900 °С. При правке деформированную поверхность всегда нагревают со стороны выпуклой части (горба). Ширина зоны нагрева за один проход не должна превышать двух толщин исправляемого листа. Термическая правка может быть дополнена механической.

Рассмотрим процесс правки плоской заготовки, имеющей линейную деформацию (рис. 14.7, а). При механической правке заготовку устанавливают на плиту и ударами через гладилку подвергают пластическому деформированию ее сжатый участок до тех пор, пока заготовка не примет требуемую форму. Термическая правка этой заготовки сводится к местному нагреву нескольких участков на противоположной стороне шва.

Механическая правка плоской заготовки с выпучиной (рис. 14.7, б) заключается в последовательном нанесении ударов молотком, начиная с краев при постепенном перемещении к месту расположения выпучины. Термическую правку этой заготовки осуществляют со стороны выпучины нагревом кольцевых зон  $\varnothing 30...60$  мм в последовательности, показанной на рисунке.

Компактные и пыльные изделия (валы, оси, колонны и др.) можно править механической правкой либо местным нагревом (рис. 14.8, а...е).

При термической правке в месте нагрева могут происходить структурные превращения, разупрочняющие металл. В связи с этим ответственные изделия править таким способом не рекомендуется.

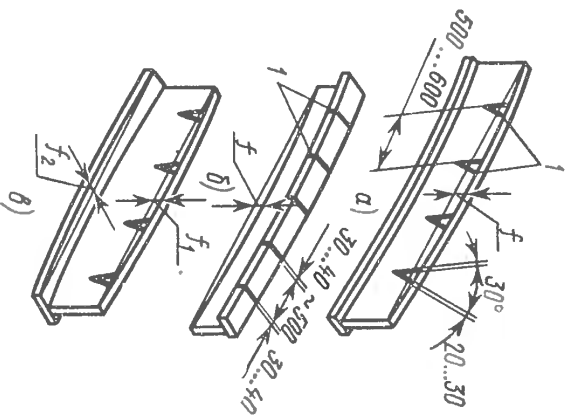


Рис. 14.8. Схемы термической правки балок таврового сечения нагревом верхней части вертикальной стенки (а), нагревом пояса (б) и нагревом вертикальной стенки и пояса (в):

1 — места деформации балок;  $f_1, f_2$  — стрелы прогиба деформированных балок

## 15. СВАРКА ЗАГОТОВОК ИЗ УГЛЕРОДИСТЫХ И ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

### 15.1. Общие сведения

В зависимости от химического состава различают стали углеродистые и легированные. Углеродистые стали разделяют на три группы в зависимости от содержания углерода (%): *низкоуглеродистые* (до 0,25); *среднеуглеродистые* (0,26...0,45); *высокоуглеродистые* (свыше 0,45). Легированные стали называют стали, в которые специально вводят легирующие элементы — хром, никель, бор, титан, ванадий и др. Легированные стали также подразделяют на три группы: *низколегированные* (до 2,5 % легирующих элементов); *легированные* (2,5...10 % легирующих элементов); *высоколегированные* (железа — более 45 %, суммарное содержание легирующих элементов — не менее 10 % при содержании одного из элементов не менее 8 %).

Свариваемость углеродистых сталей зависит от содержания в них углерода. Оценку свариваемости легированных сталей производят по эквиваленту углерода:

$$C_{эв} = C + Mn/6 + Cr/5 + V/5 + Mo/4 + Ni/15 + Cu/13 + P/2.$$

где С, Мп, Сг, V, Мо, Ni, Сu, Р — содержания соответственно углерода, марганца, хрома, ванадия, молибдена, никеля, меди и фосфора в сотых долях процента; цифры в знаменателях — коэффициенты, полученные экспериментально.

Свариваемость стали ухудшается при  $C_{эв} > 0,3\%$ , так как создаются условия для образования закалочных структур и трещин в зоне термического влияния. Чтобы уменьшить вероятность возникновения таких структур и разрушения конструкций после сварки, применяют предварительный подогрев заготовок и высококотемпературный отпуск.

### 15.2. Сварка заготовок из низкоуглеродистых сталей

Ручную дуговую сварку покрытым электродом выполняют на максимальном допустимых режимах электродами типов Э42...Э46 различных марок (табл. 15.1). При выполнении угловых соединений заготовок толщиной свыше 30 мм и наложении первого слоя при многослойной стыковой сварке рекомендуется предварительный подогрев до 110...150 °С.

Механизированную сварку под флюсом выполняют сварочными проволоками СВ-0,8, СВ-08А или СВ-08ГА в сочетании с флюсами марок АН-348А и ОСЦ-45, используя как

15.1. Ориентировочные режимы дуговой сварки заготовок из низкоуглеродистых сталей покрытыми электродами

Марка электрода	Коэффициент наплавки, г/(А·ч)	Расход электродов на 1 кг наплавленного металла, кг	Диаметр электрода, мм	Температура прокаливания электрода, °С	Сила сварочного тока, А			Род тока
					Положение заготовок в пространстве			
					Нижнее	Вертикальное	Потолочное	
УОНИ-13/45	8,5	1,6	2	350...370	45...65	60...80	30...45	П
			3		80...100	100...130	70...90	
			4		130...160	140...160	120...140	
			5		170...200		150...170	
СМ-11	9,5	1,45	4	300...350	160...220	140...180	140...180	Пеп
			5		200...250	160...200		
ОММ-5	7,2	1,8	2	150	60...70	50...60	60...70	П
			3		100...130	80...110	90...120	
			4		160...190	130...150	140...160	

Продолжение табл. 15.1

Марка электрода	Коэффициент наплавки, г/(А·ч)	Расход электродов на 1 кг наплавленного металла, кг	Диаметр электрода, мм	Температура прокаливания электрода, °С	Сила сварочного тока, А			Род тока
					Положение заготовок в пространстве			
					Нижнее	Вертикальное	Потолочное	
ОММ-5	7,2	1,8	5	150	200...220	150...160	—	II
СМ-5			4		160...190	130...160	140...170	
			5		200...220	150...170	—	
ЦМ-7	10,6		4	200	160...190	130...150	140...160	Пер
			5		210...250	140...160	—	
			6		260...320	—		
ОМА-2	10	1,5	2	100	25...45	20...45	20...45	II
			2,5		40...60	35...60	40...60	Пер
			3		50...80	40...80	50...80	

Примечание. II — постоянный ток, Пер — переменный ток.

### 15.2. Ориентировочные режимы выполнения механизированной сварки под флюсом стыковых соединений на флюсовой подушке

Толщина заготовок, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	Скорость сварки, м/ч
4	220...240	32...34	101	18...24
5	275...300		156	
8	450...470	34...36	306	
12	500...550	36...40	378	

Примечание. Сварку выполняют на переменном токе электродной проволокой Ø 2 мм без разделки кромок.

переменный, так и постоянный ток. Для сварки заготовок толщиной менее 3 мм и наложения угловых швов с катетом до 4 мм рекомендуется применять постоянный ток обратной полярности. Ориентировочные режимы выполнения стыковых и угловых соединений приведены в табл. 15.2 и 15.3.

### 15.3. Ориентировочные режимы выполнения механизированной сварки под флюсом нахлесточных и тавровых соединений «в лодочку»

Толщина заготовок, мм	Катет шва, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	Скорость сварки, м/ч
4	4	220...240	32...34	101	24...30
5	5	275...300		156	
8	8	380...420	32...38	250	18...24

Примечание. Сварку выполняют электродной проволокой Ø 2 мм.

Механизированную сварку в углекислом газе осуществляют сварочными проволоками Св-08ГС, Св-08Г2С и Св-12Г. Ориентировочные режимы выполнения стыковых и угловых соединений приведены в табл. 15.4 и 15.5.

**15.4. Ориентировочные режимы выполнения механизированной сваркой в углекислом газе стыковых соединений**

Толщина заготовки, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Количество проходов	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	Вылет электрода, мм	Расход газа, л/мин
0,8...1,1	0,5...0,8	1	50...60	18	180...220	7...9	5...6
1,2...2	0,8		60...100	18...20	160...180		8...10
	1		100...150				
	1,2		130...160	19...21			
2...4	1		1...2	150...200	20...21,5	180...200	12...14
	1,2						
4...5	1,6	160...280		27...29	140...160	20...24	17...18
	2	160...300					
6...8	1,6	280...300		28...30	150...180		
	2						
8...12	1,6	2...3	380...400	30...32	180...200		
	2	2					

**15.5. Ориентировочные режимы выполнения механизированной сваркой в углекислом газе угловых соединений**

Катег шва, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Количество проходов	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	Вылет электрода, мм	Расход газа, л/мин
2	0,6	1	60	18	150...200	7...9	5...6
	0,8		75	18...20	160...200		6...8
3	1		100...130		19...21	220...300	8...10
	1,2		100...150	19...21	150...220	10...12	
	1,6		220...240	24...29	180...190	18...20	12...16
4	1	100...130	18...20	220...300	8...10	8...10	
	1,2	120...180	19...22	200...240	9...13	12...16	
		200...220	27...29		16...18		
5...6	1,6	260...300	28...30	290...300	18...20	16...18	
		300...340		180...190	20...22	17...19	
7...9	2	1...2	300...360	30...32	190...230	20...24	18...20
9...11		2					
11...14		3					

### 15.3. Сварка заготовок из среднеуглеродистых сталей

Сварка сталей данной группы представляет определенные трудности ввиду образования при охлаждении малопластичных закалочных структур, являющихся причиной возникновения краевых трещин в зоне термического влияния. Снизить вероятность образования закалочных структур можно предварительным и сопутствующим подогревом заготовок, применением электродов с пониженным содержанием углерода, подбором режимов сварки, обеспечивающих минимальное проглавление нового металла, медленным охлаждением нагретого металла.

Ручную дуговую сварку выполняют электродами типов Э42А, Э50А, Э60А с фтористо-кальциевым покрытием. Режимы сварки с применением некоторых марок электродов приведены в табл. 15.6 (с. 253).

Механизированную сварку под флюсом выполняют сварочной проволокой Св-08ГД, Св-10ГД, Св-10ГД2 с использованием флюсов АН-348А и ОСЦ-45.

Механизированную сварку в углекислом газе осуществляют сварочной проволокой Св-08Г2С. При выборе режимов выполнения стыковых и угловых соединений можно руководствоваться данными, приведенными в табл. 15.4 и 15.5.

### 15.4. Сварка заготовок из низколегированных сталей

Низколегированные стали подразделяют на низкоуглеродистые (содержание углерода — до 0,25 %), геллустойчивые и среднеуглеродистые (содержание углерода — 0,26...0,45 %).

Сварка заготовок из низколегированных низкоуглеродистых сталей. Низколегированные низкоуглеродистые стали 09Г8, 09Г2С, 10ХСНД, 15ХСНД, 14ХГС, 14Г2, 14Г2АФ, 16Г2АФ и другие практически не закаляются при всех способах сварки. Предварительный подогрев до 100...150 °С или отпуск при 600...650 °С применяют при сварке заготовок толщиной свыше 30 мм.

Ручную дуговую сварку выполняют электродами типов Э42А, Э46А и Э50А с фтористо-кальциевым покрытием. При назначении режимов сварки можно руководствоваться данными табл. 15.1. Для предотвращения образования пор в металле шва сварку необходимо осуществлять короткой дугой по специально зачищенной поверхности прокаленными электродами.

Механизированную сварку под флюсом в углекислом газе выполняют теми же материалами и в тех

### 15.6. Ориентировочные режимы дуговой сварки заготовок из среднеуглеродистых сталей покрытыми электродами

Марка покрытого электрода	Коэффициент наплавки, %/(А·ч)	Расход электродов на 1 кг наплавленного металла, кг	Диаметр электрода, мм	Температура прокаливания электрода, °С	Сила сварочного тока, А			Род тока
					Положение заготовок в пространстве			
					Нижнее	Вертикальное	Потолочное	
УП-2/45	10	1,6	4	300...350	140...160	140...160	140...160	П, Пер
			5		150...250	160...210	—	
ОЗС-2	8,5	1,6	3	250...300	80...100	60...80	60...80	П
			4		130...150	120...140	120...140	
УОНИ-13/55	9	1,7	5	350	170...200	150...170	—	П
			6		80...100	60...80	70...90	
			4		130...160	100...130	120...140	
			5		170...200	140...160	150...170	
К-5А	9	1,7	4	350	140...200	110...160	120...180	П, Пер
			5		220...280	—	—	
УОНИ-13/65	9	1,7	6	400	310...380	—	—	П
			3		80...100	60...80	60...80	
			4		130...150	90...110	100...120	
			5		170...200	—	—	
			6		210...240	—	—	

Примечание. П — постоянный ток, Пер — переменный ток.

же режимах, что и сварку углеродистых сталей (см. табл. 152, ...155).

**Сварка заготовок из низколегированных теплоустойчивых сталей.** Заготовки толщиной до 6 мм из низколегированных теплоустойчивых сталей 12ХМ, 15ХМ, 20ХМЛ, 12ХМФ, 20ХМФ, 30ХМ, 25ХМФ, 12ХМФ и других сваривают без предварительного подогрева. При большей толщине заготовок сварку выполняют с их предварительным подогревом до 200...400 °С многослойными швами.

При ручной дуговой сварке покрытиями электродов тип и марку электрода выбирают в зависимости от марки свариваемой стали и условий работы сварной конструкции. Например, сварку сталей 15ХМ, 20ХМ, 30ХМ выполняют покрытиями электродами типа Э-ХМ марки УОНИ-13/45ХМ, сталей 12ХМФ, 25ХМФ — электродами типа Э-ХМФ марки ЦЛ-20А. Сварку ведут короткой дугой по тщательно очищенной поверхности. Заварка стыков должна выполняться без перерывов. В случае вынужденного перерыва сварочного процесса необходимо обеспечить равномерное и медленное охлаждение свариваемых заготовок, а перед возобновлением сварки обеспечить их нагрев до 200...400 °С.

Сварку выполняют в режимах, рекомендованных для сварки заготовок из низколегированных низкоуглеродистых сталей.

Механизированную сварку в углекислом газе заготовок из сталей 15ХМ, 20ХМЛ выполняют электродной проволокой Св-08ХГ2СМА. После сварки рекомендуется выскоий отпуск в следующих режимах: для сварных изделий из стали 15ХМ — посадка в печь при 200 °С, нагрев до 600...660 °С со скоростью 40...50 град/ч, выдержка 3 ч, охлаждение до 200 °С со скоростью 40...50 град/ч, выдержка на воздухе, для сварных изделий из стали 20ХМЛ — посадка в печь при 300 °С, нагрев до 620 °С со скоростью 40...50 град/ч, выдержка 3...5 ч, охлаждение на воздухе.

Заготовки из сталей 12ХМФ и 25ХМФ сваривают проволокой Св-08ХГСМФ. Высокий отпуск изготовленных сварных изделий рекомендуется выполнять в следующем режиме: посадка в печь при 300 °С, нагрев до 640...680 °С со скоростью 40...50 град/ч, выдержка 4 ч, охлаждение до 200 °С со скоростью 40...50 град/ч, охлаждение на воздухе.

Режимы выполнения сварки аналогичны рекомендованным для сварки заготовок из низколегированных низкоуглеродистых сталей.

**Сварка заготовок из низколегированных среднеуглеродистых сталей.** В низколегированных среднеуглеродистых сталях 20ХГСА,

2ХГСА, 30ХГСА, 35ХГСА, 30ХГСА, 30ХН2МА, 20Х2МА, 35ХМ и других углерод и легирующие элементы значительно затормаживают распад аустенита при охлаждении, повышая тем самым вероятность образования мартенситных структур и трещин в зоне термического влияния.

Ручную дуговую сварку заготовок из низколегированных среднеуглеродистых сталей выполняют с предварительным подогревом до 150...350 °С электродами, близкими по химическому составу свариваемым сталям (например, УОНИ-13/85, ЦК-18-63, ЦЛ-19-63 и др.), на постоянном токе обратной полярности дугой минимально возможной длины. Не допускается обрывать дугу в пределах одного стыка. После сварки рекомендуется закалка и отпуск. Если послеварочная термическая обработка затруднена, сварку производят аустенитными покрытиями электродами типов ЭА-3М6, ЭА-1Т6, ЭА-2Т6, обеспечивающими получение шва с высокими пластическими свойствами без кристаллизационных трещин. Режимы сварки аналогичны указанным в табл. 152...155.

Механизированную сварку под флюсом АН-10, АН-22 или АН-42 выполняют либо электродной проволокой, близкой по химическому составу свариваемым сталям, но о более высоким содержанием хрома, кремния и марганца, либо аустенитной проволокой.

Режимы сварки аналогичны указанным в табл. 152...155.

### 15.5. Сварка заготовок из легированных сталей

Согласно ГОСТ 4543—71, промышленность выпускает свыше 80 марок сталей, подразделяемых на 11 групп. Даже в пределах одной группы стали существенно различаются по свариваемости, поэтому далее будут даны только общие рекомендации по сварке заготовок из этих сталей.

**Подготовка заготовок под сварку.** Заготовки из легированных сталей следует готовить под сварку более тщательно, чем из углеродистых. Правку, валковку, штамповку и другие операции формообразования рекомендуется выполнять после отжига. Подготовку свариваемых кромок необходимо осуществлять на металлорежущих станках, что обеспечивает точность сборки и не вызывает структурных изменений в зоне реза. Поверхность металла в зоне сварки нужно тщательно очищать от окислов, ржавчины, влаги и других загрязнений. При сборке заготовок под сварку следует обеспечивать их надежное закрепление друг относительно друга. Зазоры между заготовками должны соответствовать

требуемым. Смещение кромок не должно превышать 10...15 % толщины свариваемых заготовок. Зазоры между кромками должны быть минимальными и постоянными по всей длине стыка. Для повышения пластичности сварного шва содержание легированных элементов в присадочной проволоке следует ограничивать до следующих пределов (%): С — 0,15; Si — 0,5; Mn — 1,5; Cr — 1,5; Ni — 2,5; V — 0,5; Mg — 1; Nb — 0,5. Необходимо использовать покрытия и флюсы основного типа, а также инертные газы. Для уменьшения сварочных напряжений, являющихся одной из причин образования трещин, при конструировании следует избегать жестких узлов, скоплений и пересечений швов.

**Сварка.** Предварительный и сопутствующий подогревы позволяют замедлить скорость охлаждения и предотвратить образование закалочных структур. Чем выше содержание в стали углерода и легированных элементов, тем выше должна быть температура подогрева. Сварку следует производить на постоянном токе обратной полярности короткой дугой без перерывов. Не допускается выполнение сварочных работ на ветру или сквозняке, а также при низких температурах окружающего воздуха. Для уменьшения закалки следует вести в несколько проходов. При многослойной сварке отдельные накладки должны иметь одинаковое сечение, что позволяет использовать теплоотводу, выделяемому при наложении последующих слоев, для равномерного отпуска закаленного предыдущего слоя. При наложении слоев разного сечения около шва остаются прослойки закаленной стали, в которых могут возникнуть закалочные трещины. Последней слой, называемый отжигающим, необходимо накладывать при температуре шва  $\approx 300^\circ\text{C}$ , причем так, чтобы он не касался основного металла. Шов должен иметь правильную и одинаковую форму по всей длине стыка, так как перепады сечений являются концентраторами напряжений и причиной появления трещин. Подрезы и непровары сварных швов недопустимы.

**Обработка изделий после сварки.** Для предотвращения возникновения холодных трещин не позднее чем через 15 мин после окончания сварки производится высокотемпературный отпуск, стабилизирующий структуру и снимающий остаточные напряжения. Механическая обработка сварных швов позволяет избавиться от концентраторов напряжений.

## 15.6. Сварка заготовок из высоколегированных сталей

В зависимости от основных свойств высоколегированные стали и сплавы подразделяют на три группы: коррозионно-стойкие (нержавеющие), стойкие против агрессивных жидкостей и газов

(20Х13, 08Х13, 30Х13, Х18Н9, Х18Н9Т и др.); жаростойкие (окислительно-стойкие), обладающие стойкостью против химического разрушения поверхности в газовых средах при температурах 550...1300 °С и работающие в ненагруженном или слабонагруженном состоянии (40Х9С2, 30Х13Н72, 15Х25Т, 20Х23Н13 и др.); жаропрочные, обладающие повышенными механическими свойствами при высоких температурах (до 1150 °С) в течение определенного времени (11Х11Н2В2МФ, 15Х11МФ, 12Х8ВФ и др.).

По структуре в нормализованном состоянии различают высоколегированные стали следующих классов: мартенситного (15Х5, 15Х5ВФ, 20Х13, 30Х13, 09Х16Н4Б, 11Х11Н2В2МФ и др.); мартенситно-ферритного (15Х3СЮ, 15Х12ВНМФ, 18Х12МБФР, 12Х13 и др.); ферритного (08Х13, 10Х13СЮ, 12Х17, 15Х25Т и др.); аустенитно-ферритного (20Х13Н4Т9, 09Х15Н8Ю, 09Х17Н7Ю, аустенитного (03Х17Н14М2, 03Х16Н15М3Б, 08Х10Н20Т2, и др.); аустенитного (03Х17Н14М2, 03Х16Н15М3Б, 12Х18Н9, 12Х18Н9Т, 08Х16Н13М2Б, 09Н16Х14Б, 09Н19Х14В2БР, 12Х18Н9, 12Х18Н9Т и др.).

Технологические особенности сварки высоколегированных сталей связаны с их физическими свойствами. Большинство высоколегированных сталей и сплавов при повышенных температурах имеют коэффициент теплопроводности, в 1,5...2 раза меньший, чем низкоуглеродистые. Пониженная теплопроводность приводит к концентрации теплоты в зоне сварки и увеличению проплавления металла. Высокий коэффициент линейного расширения является причиной сильного коробления. Высоколегированные стали и сплавы более склонны к образованию горячих и холодных трещин, чем низкоуглеродистые.

**Ручная дуговая сварка покрытыми электродами.** Сварку следует выполнять электродами  $\varnothing 1,6...2$  мм при минимальной погонной энергии на постоянном токе обратной полярности короткой дугой без поперечных колебаний. Силу тока принимают равной (15...35)  $d_a$ .

Коррозионно-стойкие стали, не содержащие титана или ниобия либо легированные молибденом, вольфрамом, ванадием, при длительном нагревании в интервале температур 550...875 °С теряют антикоррозионные свойства вследствие образования карбидных соединений  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ ,  $\text{Cr}_7\text{C}_3$  (сигматизация), являющихся очагами коррозии. При нагревании сварного изделия выше 850 °С карбиды хрома растворяются в аустените, а при быстром охлаждении не выпадают в отдельную фазу (стабилизация). Применение стабилизации как вида термической обработки следует ограничивать, так как, хотя антикоррозионные свойства восстанавливаются, происходит снижение пластичности и вязкости стали.



15.7. Ориентировочные режимы ручной дуговой сварки заготовок из коррозионно-стойких сталей покрытыми электродами на постоянном токе обратной полярности

Марки свариваемых сталей	Марка электрода	Коэффициент наплавки, г/(А·ч)	Расход электрода на 1 кг наплавленного металла, кг	Диаметр электрода, мм	Сила сварочного тока, А			Примечания
					Пространственное положение заготовок			
					Нижнее	Вертикальное	Потолочное	
08X18H10, 08X18H10T, 12X18H10T, 04X18H10	ОЗЛ-14	11		3	50...70	40...60		Высокая стойкость шва к межкристаллитной коррозии
				4	120...140	80...120	90...120	
12X8H9, 12X18H9T, 04X18H10, 08X18H10T	ОЗЛ-8	13	1,6	3	60...80	50...70		Температура эксплуатации изделия — до 350 °С; высокая стойкость шва к межкристаллитной коррозии
				4	110...130	70...110		
08X18H10T, 12X18H9T, 08X18H12T, 08X18H12Tb, 12X21H15T	ЦЛ-11	12,5	1,8	3	70...90	60...80		Повышенная коррозионная стойкость шва при 450...600 °С в агрессивных средах
				4	110...130	80...110		

X18H12T	ЦТ-15-1	12	1,6	3	80...110	70...90		Применяют для паложения корневых швов соединений, эксплуатирующихся при 600...650 °С под высоким давлением
				4	120...140	90...110		
08X8H0T, 12X18H19T	ЗИО-3		1,55	3	80...100	70...90		Высокая стойкость шва к межкристаллитной коррозии при эксплуатации до 560 °С
				4	110...130	100...120		
08X13, 12X13, 20X13, 12X17	УОНИ-13/НЖ (10×13)	12,5	1,6	3	90...120	70...100	—	Для работы соединения в слабоагрессивных и слабоокислительных средах; предварительный подогрев — до 200...400 °С, отпуск — при 720...750 °С в течение 1 ч
				4	160...170	130...170		
				5	200...250	—		

15.8 Ориентировочные режимы ручной дуговой сварки заготовок из жаростойких сталей покрытыми электродами на постоянном токе обратной полярности

Марки свариваемых сталей	Марка электрода	Коэффициент наплавления, Г/(А·ч)	Расход электродов на 1 кг наплавленного металла, кг	Диаметр электрода, мм	Сила сварочного тока, А			Примечания
					Пространственное положение заготовок			
					Нижнее	Вертикальное	Потолочное	
15X25T, 15X28, 20X23H13, 20X23H18, 36X18H25C2	ОЗЛ-6	11,5	1,6	2	30...50	25...40		Эксплуатация соединения — при отсутствии циклических нагрузок, в средах без сернистого газа
				2,5	40...70	35...60		
				3	60...80	55...75		
				4	120...140	90...120		
20X23H18, 15X25T, 15X28	ЦЛ-25	10,5	1,8	3	80...100	70...90		Температура эксплуатации — 850...1150 °С; ширина слоя при многослойной сварке — не более 3d <sub>э</sub> ; заварку кратеров осуществляют короткими замыканиями
				4	110...140	90...120		

15X25T, 15X28, 20X23H13, 20X23H18	ОЗЛ-4	12	1,43	2	30...50	25...40		Температура эксплуатации — 900...1100 °С
				2,5	40...70	35...60		
				3	60...80	55...75		
				4	110...130	90...120		
20X23H18, 20X23H13	ОЗЛ-9А	13,5	1,5	3	70...90	50...80		Эксплуатация — в окислительных и науглероживающих средах при 900...1050 °С; низкая стойкость шва к межкристаллитной коррозии
				4	110...130	90...110		
20X20H14C2, 12X25H16Г7АР, 20X25H20C2	ОЗЛ-5	12,5	1,46	3	60...80	55...75		Температура эксплуатации — 900...1100 °С; швы устойчивы против горячих трещин
				4	110...130	90...120		
				5	140...160	—		
20X20H14C2	ЦТ-17	10,5	1,9	3	60...80	70...90		Температура эксплуатации — 900...1100 °С
				4	110...130	110...125	95...115	

15.9. Ориентировочные режимы ручной дуговой сварки заготовок из жаропрочных сталей и сплавов покрытыми электродами на постоянном токе обратной полярности

Марки свариваемых сталей	Марка электрода	Коэффициент наплавки, г/(А·ч)	Расход электрода на 1 кг наплавленного металла, кг	Диаметр электрода, мм	Сила сварочного тока, А			Примечания
					Пространственное положение заготовок			
					Нижнее	Вертикальное	Потолочное	
09X16H14B2BP, X16H16B2BP	ЦТ-16-1	11	1,49	3	80...100	70...90		Температура эксплуатации — до 700 °С
				4	110...140	90...125		
	ЦТ-16	10,5		3	80...100	—		
				4	110...140			
45X14H14B2M	ЦТ-1	13	1,59	3	80...100	70...100		Температура эксплуатации — до 650 °С; высокая устойчивость шва против горячих трещин
				4	130...150	115...135		
08X16H13M2B, 12X18H12T	ЦТ-7	12	1,86	3	80...110	—		Температура эксплуатации — 620 °С; после сварки выполняюг стабилизацию отжиг при 750...800 °С в течение 10 ч
				4	100...140			

15.10. Примерный выбор электродной проволоки для сварки под флюсом высоколегированных сталей некоторых марок

Марки свариваемых сталей	Марки электродной проволоки	Примечания
08X18H10, 12X18H9, 12X18H9T, 12X18H10T	Св-01X16H9, Св-04X19H9, Св-06X19H9T	Пониженная стойкость к межкристаллитной коррозии
	Св-07X19H10B, Св-05X20H9ФБС	Высокая стойкость к межкристаллитной коррозии
08X18H12B, 12X18H9T, 08X18H12T	Св-07X19H10B, Св-05X20H9ФБС	Высокая коррозионная стойкость после закалки при 1050...1100 °С с охлаждением в воде или на воздухе
12X13, 20X13, 30X13	Св-06X14, Св-12X13, Св-08X14ГНТ	Для заготовок толщиной свыше 10 мм рекомендуются предварительный и сопутствующий подогревы до 250...300 °С; послесварочный отпуск — при 680...700 °С в течение 2...3 ч; охлаждение — на воздухе
15X25T	Св-13X25T	Эксплуатация — в газовой среде, содержащей сернистые соединения
	Св-13X25H18	Сварные соединения обладают повышенной пластичностью

15.11. Примерный выбор электродной проволоки для сварки в углекислом газе высоколегированных сталей некоторых марок

Марки свариваемых сталей	Марки электродной проволоки	Примечания
12X13, 20X13	Св-08X14ГПТ, Св-12X13	Послесварочный отпуск — при 700 °С в течение 1 ч; охлаждение — на воздухе
12X17, 08X17Т	Св-13X25Н18, Св-07X25Н13, Св-06X25Н12ТЮ	Окалиностойкость — до 850 °С
15X25Т		Окалиностойкость — до 1100 °С
08X18610, 12X18Н9, 12X18Н10Т, 08X18Н10Т	Св-08X20Н9Г7Т, Св-06X19Н9Т, Св-07X18Н9ТЮ	Невысокая стойкость к межкристаллитной коррозии; эксплуатация — в слабоокислительных средах
	Св-05X20Н9ФБС	Высокая стойкость к межкристаллитной коррозии

5.12. Ориентировочные режимы механизированной сварки заготовок из высоколегированных сталей в углекислом газе

Толщина заготовки, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В	Вылет электрода, мм	Расход газа, л/мин	Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	Особенности сварки
0,5...0,8	0,5	30...50	16...18	5	6	180...200	На медной подкладке и на весу
				6		150...180	
1	0,8	35...55		6			
1,5	1,6	100...170	18...20	8...9	6...8	180...200	На медной подкладке
2	1	120...130	18...19	6...7	6...7	140...160	На медной подкладке и на весу
	1,6	130...140	22	10...15		160...180	
3	2	180...200	25...28	20...25	12...17	130...150	—

Для восстановления пластичности, вязкости и энтальпийных свойств рекомендуется применять закалку с последующим отпуском. Режимы термической обработки для конкретной марки стали регламентируются ГОСТ 5632—72.

При сварке коррозионно-стойких сталей нельзя допускать перегрева и многократного нагрева сварного соединения. Шов, обращенный к агрессивной среде, нужно накладывать в последнюю очередь. Не следует допускать, чтобы брызги электродного металла или металла сварочной ванны попадали на основную розин и причиной образования и развития межкристаллитных трещин. Поверхность швов должна быть гладкой мелкошершавчатой — такие швы обладают более высокой общей коррозионной стойкостью по сравнению со швами, имеющими грубую неровную поверхность. Шлаковую корку с поверхности шва необходимо тщательно удалять.

Ориентировочные режимы сварки и рекомендации по выбору покрытых электродов для конкретных марок сталей приведены в табл. 15.7.

Жаростойкие и жаропрочные стали. Ориентировочные режимы сварки и рекомендации по выбору покрытых электродов для конкретных марок сталей приведены в табл. 15.8 и 15.9.

**Сварка под флюсом.** Этим способом соединяют заготовки толщиной 3...50 мм. Сварку выполняют на постоянном токе обратной полярности электродной проволокой Ø 2...3 мм (табл. 15.10). Заготовки толщиной до 8 мм сваривают без скоса кромок с зазором не более 1 мм. Вылет электрода составляет не более 25 мм. Для сварки применяют плавленые флюсы АНФ-5, АНФ-6, АНФ-14, АНФ-16, АНФ-17, АН-18, АН-26, К-8, ФЦЛ-2 и др. Сила тока на 10...20 % меньше, чем при сварке низкоуглеродистых конструкторных сталей.

**Сварка в углекислом газе.** Чтобы предохранить поверхность заготовок от брызг электродного металла, их покрывают водным раствором мела или каолина. При выборе сварочных электродных проволок (табл. 15.11) учитывают выгорание титана, марганца и кремния. Ориентировочные режимы сварки указаны в табл. 15.12.

## 16. СВАРКА И НАПЛАВКА ЧУГУНА

### 16.1. Общие сведения

Чугуном называют сплав железа с углеродом, содержащий 2.14...6.66 % послегнетого. Наибольшее применение получили чугуны, в котором содержится 2.6...3.6 % углерода, 1...4.5 % кремния,

0.2...2 % марганца, до 0.15 % серы и 0.5...3 % фосфора. Чугуны различают кремнием, марганцем, магнием, итрием, хромом, алюминиём, никелем, медью, молибденом и титаном.

В зависимости от состояния углерода различают чугуны серые, белые и полужелтые. Наибольшее распространение получили серые чугуны, в которых большая часть углерода находится в свободном состоянии в виде графитовых включений. В зависимости от формы последних и степени легирования серые чугуны подразделяют на серые с пластинчатым графитом (серые), ковкие, высокопрочные, антифрикционные и легированные со специальными свойствами.

Чугуны относятся к группе материалов, обладающих плохой технологической свариваемостью. Это обусловлено несколькими причинами. В связи с повышенной жидкотекучестью чугуна затруднено удерживание расплавленного металла шва от вытекания. Склонность чугуна при высоких скоростях охлаждения закаливаться с образованием хрупких закалочных структур приводит к образованию холодных трещин. Кроме того, при быстром охлаждении происходит отбеливание сварного соединения и на границе сварного шва и основного металла образуется тонкая прослойка из белого чугуна. Поскольку эта прослойка непластична, даже при незначительных деформациях по ней происходит разрушение шва.

Чугуны сваривают при выполнении ремонтных работ и исправлении дефектов в отливках. В зависимости от температуры подогрева сварку чугуна разделяют на горячую (подогрев до 600...800 °С), подогорную (подогрев до 300...400 °С) и холодную (без подогрева).

### 16.2. Горячая сварка и наплавка чугуна

Технология горячей сварки включает следующие операции: подготовку изделий под сварку; предварительный подогрев; сварку; медленное охлаждение изделия.

Подготовка под сварку состоит из вырубки дефектных участков с одновременной разделкой кромок. Для предотвращения расплавленного металла от вытекания и придания шву нужного очертания вокруг свариваемого участка создают форму из кварцевого песка, замешанного на жидком стекле, или форму из графитовых пластин.

Предварительный подогрев осуществляют в электрических или газовых печах, в специальных нагревательных козлах, горелкой или косвенной дугой угольными электродами. Медкие детали предварительно подогревают до 300...400 °С, дета-

ди с толщиной стенок более 30 мм — до 700...800 °С. Применять более высокий нагрев не рекомендуется, так как при этом резко снижается прочность чугуна.

Дугую сварку чугуна выполняют угловыми или покрытыми электродами без перерывов до конца заварки дефекта, что обеспечивает наиболее полное удаление газов и неметаллических включений из металла шва.

При сварке *уголовыми электродами* силу тока выбирают в зависимости от диаметра электрода (см. ниже).

Диаметр электрода, мм	8...10	10...12	12...16	16...18
Сила тока, А	280...350	300...400	350...500	350...600

В качестве присадочного материала применяют стержни марок А и Б. Для защиты и раскисления ванны используют бурю или смесь бурь (50 %) и соды (50 %). Сварку выполняют на постоянном токе прямой полярности или на переменном токе.

При сварке *покрытыми электродами* силу тока также выбирают в соответствии с диаметром электрода.

Диаметр электрода, мм	8	10	12	16
Сила тока, А	600...700	750...800	1000...1200	1500...1800

Покрытые электроды для сварки чугуна и их основное назначение указаны в табл. 16.1.

После завершения сварки рекомендуется выполнить операцию охлаждения — металл в зоне термического влияния засыпать слоем мелкого порошка древесного угля, а затем все изделие со всех сторон закрыть асбестовыми листами и засыпать сухим песком. Охлаждение должно быть медленным, его время может достигать 3...5 сут.

При сварке чувствительных деталей наэкоуглеродистыми стальными электродами типов ОММ-5, МР-3, К-5 и УОНИ-13 с защитными-дегазирующими покрытиями либо чувствительными электродами МЧ-1 или ЭМЧ температуру подогрева назначают в пределах 300...400 °С.

Хорошие результаты дает способ сварки и наладки чугуна чувствительным электродом Ø 7...8 мм по слою гранулированной шихты, состоящей из чувствительной стружки (30 %), ферросилиция (20 %), алюминия (30 %) и силикокальция (12 %). Шихту замешивают на жирном стекле, прокалывают при 300 °С и размалывают на крошку размером 1...3 мм. Перед сваркой накладывают слой шихты толщиной 4...6 мм (при наладке толщина слоя шихты достигает 8...10 мм, ширина — 75...80 мм). Сварку ведут на постоянном или переменном токе.

16.1. Покрытые электроды для сварки чугуна

Марка электрода	Электродные стержни	Наплавленный металл	Род тока	Основное назначение
ОМЧ МВТУ	Чугунный стержень марки А	Серый чугун, соответствующий основному металлу	Переменный и постоянный любой полярности	Дуговая сварка чугунных изделий с подогревом
ВЧ-3 УЗТМ-74	Пруток из серого чугуна			
МЧ-1	Чугунный стержень марки Б		Постоянный обратной полярности	Сварка отливок из серого чугуна с подогревом
ЭМЧ	Чугунный пруток (ГОСТ 2671—70)	Серый чугун с отбеленной прослойкой	Переменный и постоянный любой полярности	Сварка чугунных изделий с подогревом и без него
СЧС	Сварочная проволока Св-08 (ГОСТ 2246—70)	Сталь с отбеленной зоной сплавления	Переменный	Дуговая сварка стальными электродами без подогрева
ОЗЧ-1	Стержень из меди с железным порошком	Вязкий, прочный сплав (Fe+Cu), имеющий красный оттенок	Постоянный обратной полярности	Сварка герметичных изделий и заварка участков на скользящих поверхностях, требующих механической обработки, без подогрева

## 16.3. Сварка чугуна без подогрева

Холодную сварку чугуна выполняют различными электродами — стальными, чугунными, комбинированными, медными, медно-никелевыми, из никелевого аустенитного чугуна.

Сварку стальными электродами с применением шпиглек применяют при ремонте тяжелых и громоздких чугунных деталей. В восстанавливаемой детали выполняют разделку под углом  $90^\circ$ , нарезают отверстия и вворачивают шпильки. Высота возвышения шпильки над поверхностью должна составлять  $0,5...1$  диаметра шпильки (но не более  $5...6$  мм), а глубина ее посадки —  $1...2$  диаметра. В процессе сварки сначала обваривают шпильки колышевыми швами, затем участки между обваренными шпильками заполняют электродным металлом, обычно применяя электроды  $\varnothing 3...4$  мм. Сварку ведут при пониженной силе тока (для электродов  $\varnothing 3$  мм —  $90...100$  А), что позволяет уменьшить отбегивание чугуна.

При ремонте неотвечественных чугунных изделий небольших размеров шпильки не применяют.

Сварку чугунными и покрытыми электродами применяют для исправления дефектов чугунного литья. Прутки изготовляют из чугуна марок А и Б или из никелевого аустенитного. Этими электродами можно производить сварку только в нижнем положении.

**Сварка медно-железными электродами** обеспечивает достаточные пластичность и плотность шва; ее широко применяют для заварки трещин в блоках цилиндров. Наиболее широко используют электроды — ОЗЧ-1 и МНЧ-1. Электрод состоит из медного стержня и основного покрытия, в состав которого входит 50 % железного порошка. При сварке используют постоянный ток обратной полярности; сила тока для электрода  $\varnothing 3$  мм составляет  $90...120$  А,  $\varnothing 4$  мм —  $120...140$  А,  $\varnothing 5$  мм —  $160...190$  А. Сварку ведут участками длиной  $30...50$  мм с тщательной проковкой каждого слоя.

Кроме электродов ОЗЧ-1 и МНЧ-1, используют медных прокладочных электродами, применяют и самодельные электроды: медный стержень  $\varnothing 3...6$  мм с оплеткой из жести или проволоки, покрытой меловой обмазкой; медный стержень в железной трубке со сталь-биндизирующим покрытием; пучок из медных и стальных электродов.

Сварку медно-никелевыми и покрытыми электродами применяют для устранения дефектов чугуна литья. Никель и медь не растворяют углерод и не образуют структур с повышенной твердостью после нагрева и быстрого

охлаждения. Однако недостатком медно-никелевых сплавов является большая объемная усадка, способствующая образованию горячих трещин. В связи с этим их применение может быть рекомендовано только для исправления дефектов объемом до  $10...12$  см<sup>3</sup>.

При сварке медно-никелевыми электродами необходимо выполнять следующие требования: глубина расплавленного основного металла должна составлять не более  $0,5...2$  мм; длина шва не должна превышать  $40...60$  мм; толщина накладываемого слоя должна быть минимальной; следует тщательно проковывать швы по горячему металлу.

Силу тока выбирают в пределах, рекомендованных для сварки медно-железными электродами.

## 17. СВАРКА ЗАГОТОВОК ИЗ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

### 17.1. Сварка заготовок из меди и сплавов на ее основе

Медь обладает высокими электропроводностью, теплоемкостью, теплопроводностью, пластичностью и коррозионной стойкостью. При нагреве до  $600...800^\circ\text{C}$  пластичность и прочность меди резко снижаются. Расплавленная медь интенсивно растворяет газы, особенно кислород и водород. Оксид меди  $\text{Cu}_2\text{O}$ , выпадая по границам зерен, способствует образованию горячих трещин, охрупчиванию и снижению коррозионной стойкости. Взаимодействуя с водородом, легко проникающим в сплавы ( $\text{Cu}_2\text{O} + \text{H}_2 \rightarrow \text{Cu}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ), он образует водяные пары, являющиеся причиной «водородной болезни». Сущность последней состоит в том, что водяные пары в затвердевшем металле создают высокое давление и вызывают появление водяных трещин.

Медь можно сваривать всеми основными способами. Из всех видов сварки плавлением наиболее распространено является дуговая сварка (угловым электродом, плавящимся электродом, под флюсом и в защитных газах), однако она вызывает определенные трудности в связи с тем, что медь обладает высокой теплопроводностью, в 6 раз превышающей теплопроводность низкоуглеродистой стали. Вследствие этого сварку меди следует выполнять с предварительным и сопутствующим подогревами и с повышенной погонной энергией. Свойства и свариваемость меди зависят от ее чистоты (с уменьшением содержания вредных примесей свариваемость улучшается). Соединение заготовок выполняют с минимальным зазором из-за высокой жидкотекучести ме-

ди. Заготовки толщиной менее 6 мм сваривают без предварительного подогрева и проковывают в холодном состоянии; при сварке заготовок толщиной свыше 6 мм используют предварительный подогрев до 150...250 °С. После сварки изделия нагревают до 200...400 °С и проковывают. Ковку выполняют молотком со сферическим бойком с двух сторон сварного соединения, нанося удары сначала по зонам сглавления, затем — по средней части и в конце — по зоне термического влияния. Во избежание образования трещин от наклепа повторять удары по одному месту не рекомендуется. Для придания металлу шва вязкости и пластичности осуществляют нагрев изделия до 550...600 °С с последующим быстрым охлаждением в воде.

Ручную дуговую сварку медных заготовок угловыми и графитовыми электродами выполняют на постоянном токе прямой полярности. В качестве присадочного материала используют пруток из меди М1 или М2, а также медные прутки с присадкой фосфора, являющегося активным раскислителем (площадь поперечного сечения прутков — 20...25 мм<sup>2</sup>). Длина дуги должна составлять 35...40 мм. Сварку ведут под флюсом из буры или смеси из буры (95 %) и металлического порошкообразного магния (5 %) на графитовой или асбестовой подкладке. Присадочный пруток и крошки свариваемых заготовок перед нанесением флюса зачищают металлической щеткой или промывают 10 %-ным раствором каустической соды. Ориентировочные режимы стыковой сварки угловыми и графитовыми электродами на асбестовой подкладке указаны в табл. 17.1.

### 17.1. Ориентировочные режимы ручной дуговой сварки медных заготовок угловыми и графитовыми электродами

Толщина заготовок, мм	Диаметр электрода, мм		Диаметр присадочного прутка, мм	Сила сварочного тока, А
	углового	графитового		
1...2	12	4	1,5...2	150...200
2...5	15	4	2...3	200...300
5...10	18	5	5...7	300...450
10...15	25	20	7...8	450...600
15...20	—	25	8...10	600...700

Ручную дуговую сварку медных заготовок покрытыми электродами осуществляют на постоянном токе обратной полярности с использованием электродов марок «Комсомолец-100», ЭТ, АНУ-1 и АНП-2 в нижнем положении. Стыковые соединения заготовок толщиной до 4 мм выполняют

без разделки кромок; если толщина заготовок составляет 5...12 мм, применяют одностороннюю разделку кромок с углом раскрытия 60...70°; при большей толщине кромок подвергают двусторонней разделке. Сварку выполняют короткой дугой с вращающе-поступательными движениями электрода без поперечных колебаний. Удлинение дуги ухудшает формирование шва, увеличивает разбрызгивание металла и снижает механические свойства сварных соединений. Ориентировочные режимы сварки приведены в табл. 17.2.

### 17.2. Ориентировочные режимы ручной односторонней сварки медных заготовок покрытыми электродами

Толщина заготовок, мм	Диаметр электрода, мм	Сила сварочного тока, А
2	2...3	100...120
3	3...4	120...160
4	4...5	160...200
5	5...6	240...300
6	5...7	260...340
7...8	6...7	380...400
9...10	6...8	400...420

Механизированную сварку медных заготовок в защитных газах (аргоне и азоте) выполняют неплавающимся вольфрамовым или плавающимся электродом. В качестве материала для присадочного прутка или плавления электрода применяют проволоку из бронзы марок БрЛ10,8; БрКМц3-1; БрОЦ4-3, а также из меди М1 и М2. Ориентировочные режимы аргонодуговой сварки приведены в табл. 17.3.

Ручную дуговую сварку латунных заготовок угловыми электродами выполняют в тех же режимах, что и медных. В качестве присадочного металла применяют прутки из латуны ЛК62-0,5; ЛМЦ40-4,5; ЛК80-3; ЛМЦ58-2; ЛМЦЖ55-3-1 или из бронзы БрМц8-0,7-0,7.

Ручную дуговую сварку латунных заготовок покрытыми электродами выполняют на постоянном токе прямой полярности. Электродные стержни выбирают из ранее перечисленных, применяемых в качестве присадочных прутков. На электродные стержни наносят покрытие следующего состава: марганцевая руда (30 %); титановый концентрат (30 %); ферромарганец (15 %); мел (20 %); сернистый калий (6 %). Указанные материалы измельчают, перемешивают и разводят на жидком стекле, затем наносят на электрод толщиной 0,2...0,3 мм. После просушки на воздухе в течение 4...5 ч электроды прокали-



**17.3. Ориентировочные режимы аргонодуговой сварки медных заготовок вольфрамовым электродом**

Толщина заготовки, мм	Диаметр электрода, мм	Диаметр присадочной проволоки, мм	Сила сварочного тока, А	Расход аргона на 1 мин
1,6	2,4	2,4	80...110	2,8...3,3
3,2	3,2	3,2	200	3,5...5
4,8		4...4,8	250...300	3,8...5,6
6,4			300	
10	4,8	4,8	350	
12				
16	6,4		400	8

Примечание. Полярность тока (дуги) — прямая.

вают 1,5...2 ч при 180...200 °С. Затем наносят второй слой покрытия (борный шлак, разведенный на жидком стекле) толщиной 0,8...1,1 мм, который сушат в таком же режиме, как и первый слой. Силу сварочного тока назначают в зависимости от диаметра электрода (см. ниже).

Диаметр электрода, мм: 5 6 8  
 Сила тока, А: 250...280 280...320 350...400  
 Ручную дуговую сварку бронзовых заготовок выполняют в тех же режимах и теми же технологическими приемами, что и сварку заготовок из меди и латуни. При сварке бронзы применяют присадочный металл в виде литых стержней Ø 6...8 мм, имеющих, как правило, состав основного металла.

**17.2. Сварка заготовок из алюминия и сплавов на его основе**

Высокая электро- и теплопроводность, малая плотность, высокая коррозионная стойкость, низкий порог хладноломкости и сравнительно невысокая себестоимость алюминия обеспечили возможность его широкого применения в качестве конструкционного материала.

Температура плавления алюминия составляет 658 °С, плотность — 2,7 г/см³,  $\sigma_B = 80...100$  МПа. По сравнению с низкоуглеродистой сталью алюминий имеет в 3 раза большую теплопроводность и в 2 раза более высокий коэффициент линейного расширения. Вследствие того, что алюминий обладает большим химическим средством с кислородом, его поверхность всегда покрыта плотной оксидной пленкой (Al₂O₃), температура плавления которой составляет 2050 °С. Алюминий и сплавы на его основе широко применяют в авиационной промышленности для изготовления проводников тока. В химическом аппаростроении, строительстве для изготовления оконных и дверных перелатов и т.д.

Основными способами дуговой сварки алюминия и сплавов на его основе являются аргонодуговая сварка, а также сварка под флюсом и покрытыми электродами. Основные трудности сварки связаны со следующими: на поверхности расплавленного металла постоянно появляется тугоплавкая пленка оксида алюминия Al₂O₃, препятствующая образованию единой жидкой ванны; алюминий не изменяет своего цвета при нагревании, что крайне затрудняет контроль над температурным режимом сварки; высокая теплопроводность алюминия и сплавов на его основе требует применения источников питания с высокой концентрации энергии.

**Подготовка под сварку.** Свариваемые поверхности и присадочный металл не более чем за 2...4 ч до сварки обезжиривают и удаляют оксидную пленку химическим травлением в растворе следующего состава: 45...55 г едкого натрия и 40...50 г фтористого натрия на 1 л воды. После травления последовательно вытравливают натрий в проточной воде (0,5...1 мин), нейтрализацию в 25...30 %-ном растворе азотной кислоты (1...2 мин), промывают в проточной воде, промывают в горячей воде и сушку.

Заготовки толщиной до 20 мм сваривают без предварительного подогрева. Заготовки толщиной свыше 20 мм подогревают до 300...400 °С, а отливки из силумина — до 250...300 °С. Сварку заготовок толщиной менее 5 мм выполняют без разделки кромок. Аргонодуговую сварку можно осуществлять как неплавящимся, так и плавящимся электродом.

Сварка неплавящимся электродом, выполняемая на переменном токе, хотя по производительности иступает сварке под флюсом и плавящимся электродом, является лучшим способом благодаря высокой устойчивости горения дуги, что обеспечивает высокое качество соединения. Зажигание дуги производится от осциллятора. Ориентировочные режимы сварки приведены в табл. 17.4.

17.4. Ориентировочные режимы автоматической аргодуговой сварки неплавящимся электродом заготовок из алюминия и сплавов на его основе

Толщина заготовки, мм	Форма подготовленных кромок	Сила сварочного тока, А	Минимальная скорость сварки, м/ч	Диаметр вольфрамового электрода, мм	Расход газа, л/мин	Диаметр присадочной проволоки, мм	Скорость подачи присадочной проволоки, м/ч
1	Без скоса	40...70	25...50	2	5...6	—	—
1,5		50...80	20...45	3	6...7		
2		80...120	20...40	4	7...8		
3		150...200	15...30		8...9		
0,8	С отбортовкой	30...60	15...60	2	4...5	—	—
1		40...70	15...50		5...6		
1,2		50...90	20...50	3	5,5...6,5		
1,5		60...110			6...7		
2	Без скоса	115...140	18	3	7...8	1,5	—
3		160...210	13		8...9		
6		Со скосом двух кромок	240...260		8,5		

17.5. Ориентировочные режимы механизированной аргодуговой стыковой сварки плавящимся электродом заготовок из алюминия и сплавов на его основе

Толщина заготовки, мм	Форма подготовленных кромок	Диаметр присадочной проволоки, мм	Сила сварочного тока, А	Скорость сварки, м/ч	Скорость электрода, м/ч	Расход аргона, л/мин	Количество слоев шва
1,6	Без скоса кромок и без зазора	0,5...0,75	70...75	30	1200...1800	15...17	1
2			75...105				
3			120...145				
4		1,5	150...160	36	290...300		
5	Без скоса кромок с зазором 1,5 мм	1,5...2	160...190	28	300...320	15...18	2
8	180...200		22	320...350			
20	Со скосом двух кромок (угол раскрытия — 60°)	2	270...280	36	340...360	15...18	2...4
			240...300	18	240...270		

Аргондуговую сварку плавлением электродом выполняют на постоянном токе обратной полярности на весу или на подкладке (в зависимости от толщины заготовок). Ориентировочные режимы сварки приведены в табл. 17.5.

**Сварку под флюсом** выполняют на постоянном токе обратной полярности сварочной проволокой Св-А97 или Св-Амп Ø 2,3 мм. Для сварки применяют флюсы АН-А1, АН-Н4, АФК-А1 и МАТИ-1. Толщина слоя флюса составляет 15...30 мм. Ориентировочные режимы сварки приведены в табл. 17.6.

**17.6. Ориентировочные режимы автоматической дуговой стыковой сварки под флюсом заготовок из алюминия и сплавов на его основе**

Толщина заготовки, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Зазор между кройками, мм
12	1,8	280...300	36...38	16	0...1
16	2,5	350...400	38...40		0...1,5
18	2,85	400...430	39...41		0...2
25	4,0	550...600	40...42		

**Ручную дуговую сварку покрытыми электродами** ОЗ-А-1, ОЗ-А-2 и АФ-4аКР выполняют на постоянном токе обратной полярности. Этот способ используют главным образом для изготовления малонагруженных конструкций из технического алюминия, сплавов с присадками магния и марганца. Сварку рекомендуют выполнять непрерывно в пределах одного электрода (так как образующаяся на конце электрода и кратера оксидная пленка препятствует повторному зажиганию дуги) короткими дугами без поперечных колебаний при силе тока 25...32 А на диаметр электрода.

**Обработка сварных швов после сварки.** По окончании сварки шов немедленно промывают горячей водой и очищают стальным шесткой от остатков шлака. Сварные соединения заготовок из алюминия и сплавов для получения мелкозернистой структуры

подвергают отжигу при 300...370 °С в течение 1,5...2 ч с последующим медленным охлаждением. Сварные соединения заготовок из деформируемых термически упрочняемых сплавов рекристаллизуются закаливаться с температурой 500...510 °С с охлаждением в воде и последующим естественным или искусственным старением.

**18. ДУГОВАЯ НАПЛАВКА**

**18.1. Общие сведения**

Наплавкой называют процесс нанесения методами сварки слоя металла на поверхность изделия с целью восстановления его изношенных поверхностей или получения поверхностей с заданными служебными свойствами, например износостойких, жаростойких, жаропрочных и др. Наплавку применяют как в ремонтном производстве, так и при изготовлении новых изделий. Производительность наплавки (кг/ч) различными способами указана ниже.

Ручная дуговая покрытыми электродами	0,8...3
Автоматическая под флюсом:	
лентой	2...15
одним электродом	5...30
Механизированная:	
в защитных газах	1,5...8
порошковой проволокой	2...9
порошковой лентой	10...20
Плазменная	2...12
Вибродуговая	1,2...3
Электрошлаковая:	
проволочными электродами	20...60
электродами большого сечения	до 150

**18.2. Технология дуговой наплавки**

Технологические особенности наплавки. Наплавлять можно металл или сплав по составу, структуре и свойствам в основном металлом, или значительно отличающийся от него. В последнем случае на основной металл часто предварительно наплавляют промежуточные слои. При выполнении наплавки необходимо организовывать термезивание наплавляемого металла с основными для обеспечения заданного химического состава наплавляемого слоя и предупреждения появления трещин. Протяженность зоны термического влияния при наплавке должна быть минималь-

ной — это позволяет предотвратить возникновение значительных сварочных напряжений и деформаций.

**Подготовка поверхности под наплавку.** Перед наплавкой поверхность тщательно очищают от масла, краски, окатины и других загрязнений. Поверхностные дефекты, в том числе и ранее наклепанный слой, удаляют механическим путем или резакком для поверхностной кислородной резки. С целью снижения сварочных напряжений необходимо добиваться равномерной толщины наплавленного слоя. Поверхность, имеющую неравномерную выработку с большими колебаниями по высоте, выравнивают механическим путем на металлорежущем оборудовании.

При подготовке под наплавку поверхностей с локальными износами следует избегать плавных переходов наплаваемого металла к основному (рис. 18.1).

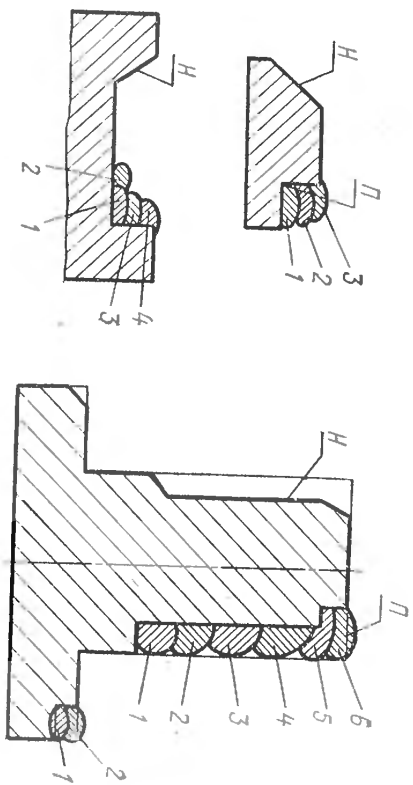
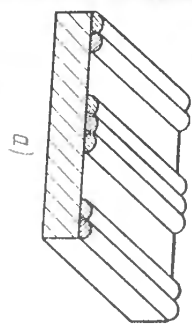


Рис. 18.1. Правильная (П) и неправильная (Н) подготовка поверхностей под наплавку:  
1...6 — последовательность наложения валиков

**Наплавку плоских и фасонных поверхностей** выполняют отдельными валиками (рис. 18.2, а...з) или челночным способом (рис. 18.2, д). При наплавке отдельными валиками каждый из них накладывают на всю длину на расстоянии друг от друга, равном  $\frac{1}{8}$  ширины валика. После очистки наложенных валиков от шлака заполняют промежутки между ними (см. рис. 18.2, б, д). Применяют и другие способы наплавки валиками, например, как показано на рис. 18.2, а, — с перекрытием  $\frac{1}{3}$  ширины валика после очистки предыдущего валика от шлака.

Челночный способ используют для наплавки поверхностей шириной 40...80 мм. Особенность способа заключается в



3	17	11	2
13	9	5	7
24	15	20	23
22	19	15	21
8	6	10	14
1	12	18	4

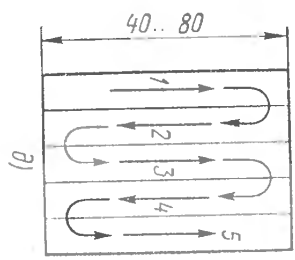
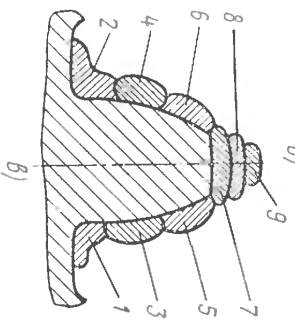


Рис. 18.2. Схемы наплавки плоских и фасонных поверхностей:  
а, б — отдельными валиками соответственно меньших и больших плоских поверхностей, в, з — отдельными валиками соответственно зуба и впадин шестерни, д — челночным способом; 1...24 — последовательность наложения валиков

том, что шлак на предыдущем валике не успевает затвердеть, а следовательно, отпадает необходимость в удалении шлака с предыдущего валика.

**Наплавку тел вращения** выполняют одним из трех способов — по образующим, по окружностям и по винтовой линии.

Наплавку по образующим (рис. 18.3, а) ведут отдельными валиками так же, как и плоских поверхностей в нижнем положении, периодически поворачивая наплаваемый изделие.

Наплавку по окружностям (рис. 18.3, б) выполняют тоже отдельными валиками. Последующий валик накладывают после очистки от шлака предыдущего с перекрытием  $\approx \frac{1}{3}$  ширины валика.

Наплавку по винтовой линии (рис. 18.3, в) осуществляют

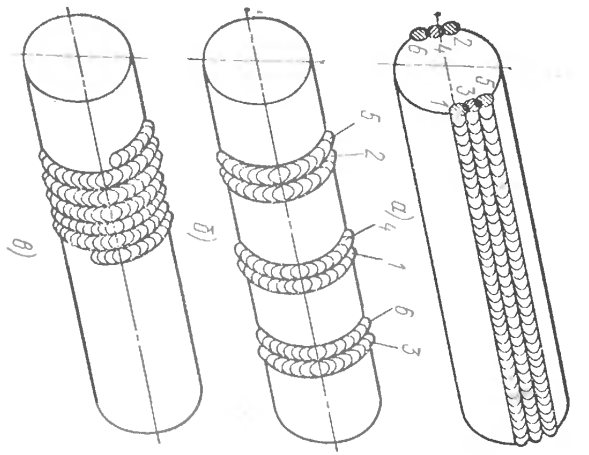


Рис. 18.3. Схемы наплавки тел вращения:

а — по образующим, б — по окружностям, в — по винтовой линии; 1...6 — последовательность наложения валков

ления; преварительный изгиб изделия в направлении, обратном ожидаемому изгибу; высокотемпературный отпуск после наплавки с нагревом до 650...680 °С.

### 18.3. Способы наплавки

Ручную дуговую наплавку применяют для восстановления изношенных поверхностей, устранения брака литых полуготовых изделий со специальными свойствами.

Для выполнения наплавки используют покрытия плавящиеся, угольные и графитовые электроды. Наиболее широкое применение имеют электроды УОНИ-13/50, -13/60, -13/80 с фтористо-кальциевым покрытием. Наплавку выполняют в постоянном токе обратной полярности. При соблюдении режимов наплавки, указанных в паспорте на электроды, достигаются достаточные плотность и мелкозернистость наплавленного металла и исключается появление трещин.

В качестве присадочного материала при применении неспла-

стыляют непрерывно, а очистка предыдущего валика от шлака может производиться подпружиненными резцами.

**Предотвращение возникновения напряжений.** В процессе наплавки в изделии появляются значительные внутренние напряжения, которые приводят к его короблению, а иногда и к разрушению. К мерам, принимаемым для предотвращения возникновения напряжений или снятия их с целью уменьшения деформации изделия, относятся следующие: преварительный подогрев до 200...400 °С; ведение наплавки с поперечным изгибом изделия в воду без суровивания наплаиваемой поверхности; ведение процесса при жестком закреплении изделия в приспособлении наплавки с поперечным изгибом изделия в воду без суровивания наплаиваемой поверхности; ведение процесса при жестком закреплении изделия в приспособ-

### 18.1. Ориентировочные режимы ручной дуговой наплавки порошкообразными смесями

Наплавляемый сплав	Толщина изделия, мм	Диаметр электрода, мм	Длина дуги, мм	Сила сварочного тока, А	
				постоянного	переменного
Вокар	До 10	8...10	3...5	140...160	160...180
	» 10	12...18		160...200	180...240
Сталлит	3...5	8...10	4...8	80...100	90...120
	6...15	10...12		120...140	140...160
	» 15	16...20		160...180	180...230
Воридная смесь (ВХ)	До 10	10...12	4...6	160...190	190...210
	» 10	12...15		170...190	220...250

Вяжущая электродов используют порошковые смеси: сталинит (8..10 % С; 13..17 % Мп; до 3 % Si; 16..20 % Cr; остальное — Fe); вокар (9..10 % С; до 3 % Si; до 2 % Fe; остальное — W); боридную смесь (0,12 % С; 35 % Cr; 7,65 % В; остальное — Fe). На очищенную поверхность насыпают тонкий (0,2..0,3 мм) слой флюса, затем слой порошка толщиной 3..5 мм и шириной 20..60 мм. Дугу возбуждают на основном металле, а затем ее переносят на слой порошка. Наплавку выполняют на постоянном токе прямой полярности или на переменном. Ориентировочные режимы наплавки приведены в табл. 18.1.

Автоматическую наплавку под флюсом выполняют обычной или порошковой проволокой. Флюс насыпают толщиной 50..60 мм. Ориентировочные режимы наплавки приведены в табл. 18.2.

**18.2. Ориентировочные режимы автоматической наплавки под флюсом**

Электродный материал	Диаметр электрода, размеры ленты, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость наплавки, м/ч
Проволока: сплошная	2	300...400	28...34	15...60
	3	300...600	30...36	
	4	400...800	34...40	
	5	500...1000	36...45	
	порошко- вая	2	150...250	
	2,5	180...300	28...34	20...50
	3	200...400	30...38	
	3,6	240...450	30...38	
Сплошная электродная лента	60×0,5	500...800	24...28	10...20
	100×0,5	820...1000	30...34	

Автоматическую наплавку в защитных газах применяют в тех случаях, когда невозможно или затруднительно наплавка под флюсом. Для защиты зоны горения дуги и жид-

кого металла используют углекислый газ, аргон или их смеси, инертла с добавлением кислорода. Марки электродных и порошковых проволок, применяемых для наплавки, были приведены в гл. 4.

Плазменную наплавку выполняют с использованием гранулированных порошковых материалов или проволоки из высоколегированных сталей. Плазменная наплавка имеет широкие технологические возможности: толщину наплавленного за один проход слоя можно изменять от 0,25 до 9,5 мм, а ширину — от 1,2 до 45 мм.

Вибродуговая наплавка заключается в том, что между электродом и наплавляемой поверхностью периодически возбуждается и гаснет дуга. В момент короткого замыкания расплавленный металл проволоки приваривается к поверхности. Для уменьшения нагрева изделие охлаждают водной эмульсией (50..60 г кальцинированной соли и 10..15 г технического мыла на 1 л воды). Наплавку выполняют в следующем режиме: напряжение источника тока — 14..24 В; диаметр электродной проволоки — 1,6..2,5 мм; сила сварочного тока — 100..250 А; частота колебаний электрода — 25..100 Гц.

В процессе наплавки изделие вращается а электроная проволока перемещается по образующей и одновременно совершает возвратно-поступательное движение. Вибродуговой наплавкой восстанавливают поверхности стальных и чугунных изделий. За один проход наплавляется слой толщиной до 3 мм.

Электродная наплавка подвергают плоские и цилиндрические поверхности. Она может быть рекомендована для изделий, поверхностные слои которых должны быть равномерны по толщине и иметь заданный химический состав.

**19. ДУГОВАЯ РЕЗКА**

Дуговая резка основана на использовании теплоты электрической дуги для расплавления металла по линии реза. Удаление расплавленного металла осуществляется под действием гравитационных сил и направленного движения газов.

Наибольшее применение получили следующие способы дуговой резки: ручная дуговая резка плавающим и неплавящимся электродами; воздушно-дуговая резка; кислородно-дуговая резка; резка сжатой дугой (плазменная).

## 19.1. Ручная дуговая резка покрытым плавающимся электродом

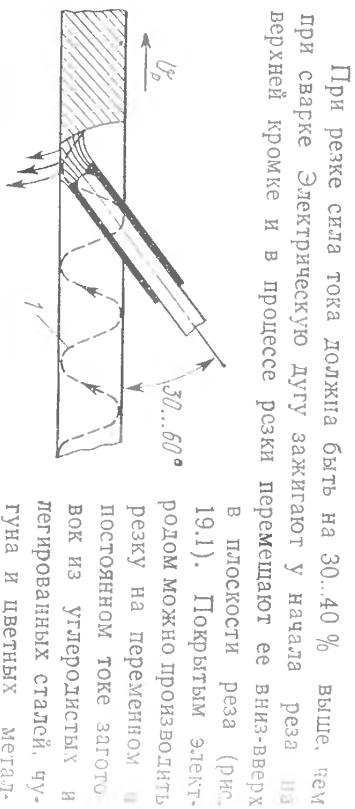


Рис. 19.1. Траектория (1) движения торца электрода при ручной резке:  $v_p$  — скорость резки

### 19.1. Ориентировочные режимы ручной дуговой резки покрытыми электродами

Разрезаемый материал	Толщина заготовки, мм	Диаметр электрода, мм	Режим резки	
			Сила тока, А	Скорость, м/ч
Низкоуглеродистая сталь	6	2,5	140	12,36
				7,2
	12	3	190	8,1
				3,78
	25	6	15	20,4
				9,3
12	4	220	4,5	
			12,9	
25	5	325	6,9	
			12,9	

Продолжение табл. 19.1

Разрезаемый материал	Толщина заготовки, мм	Диаметр электрода, мм	Режим резки	
			Сила тока, А	Скорость, м/ч
Коррозионно-стойкая сталь	6	2,5	130	12
				4,38
	12	3	195	3
				18,72
	25	6	18,9	8,7
				4,5
12	4	220	10,2	
			5,4	
25	6	18,9	18,9	
			11,4	
12	5	300	6,72	
			6,72	

## 19.2. Ручная дуговая резка угловым неплавящимся электродом

Резку, как правило, выполняют на постоянном токе прямой полярности. Ориентировочные режимы резки стальных заготовок приведены в табл. 19.2.

Резка угловыми и графитовыми электродами, как и резка покрытыми электродами, характеризуется низкой производительностью и невысоким качеством реза.

## 19.3. Ручная воздушно-дуговая резка

При воздушно-дуговой резке металл расширяется дугой не плавящегося углового или графитового электрода и удаляется струей сжатого воздуха. Резку выполняют на постоянном токе обратной полярности или переменном токе. Применяют ее для поверхностной обработки металла, а также для выполнения раздельных операций — пробивки отверстий, разделки кромок и трещин. Процесс ведут специальными резаками, рассчитанными на длительную работу.

Ориентировочные режимы раздельной и поверхностной воздушно-дуговой резки стали приведены в табл. 19.3 и 19.4.

**19.2. Ориентировочные режимы ручной дуговой резки сталейных заготовок угловыми (графитовыми) электродами**

Толщина заготовки, мм	Диаметр электрода, мм	Режим резки	
		Сила тока, А	Скорость, м/ч
6	10	400	21
10			18
16			10,5
25	15	600	4,8
50			2,7
75			1,8
100	20	800	1
200			0,45
300			0,24

**19.3. Ориентировочные режимы разделительной ручной воздушно-дуговой резки стали**

Толщина металла, мм	Диаметр электрода, мм	Сила тока, А	Скорость резки, м/ч	
			низкоуглеродистой стали	высокоуглеродистой стали
5	6	270...300	60...62	63...65
10	8	360...400	26...28	30...32
12	10	450...500	20...22	22...24
			540...1000	22...24
25	12	540...600	8...10	10...12

**19.4. Ориентировочные режимы поверхностной ручной воздушно-дуговой резки стали**

Толщина металла, мм	Диаметр электрода, мм	Сила тока, А	Ширина разделки корня заготовки, мм	Глубина разделки корня заготовки, мм
5...8	4	180	6...7	3...4
6...8	6	280	7,5...9	4...5
8...10	8	370	8,5...11	
10...11	10	450	11,5...13	5...6

Схемы воздушно-дуговых строгания и резки приведены на рис. 19.2 и 19.3.

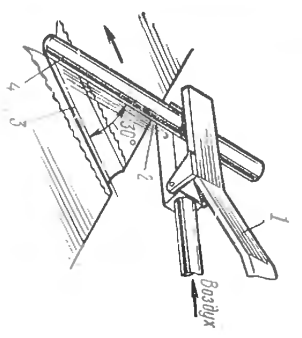


Рис. 19.2. Схема ручной воздушно-дуговой строгания:

1 — резак, 2 — воздушно-дуговая струя, 3 — вырезаемая канавка, 4 — электрод; стрелкой показано направление строгания

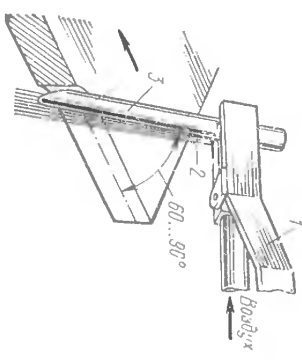


Рис. 19.3. Схема ручной воздушно-дуговой разделительной резки:

1 — резак, 2 — воздушно-дуговая струя, 3 — электрод; стрелкой показано направление резки

**19.4. Ручная кислородно-дуговая резка**

При данном способе металл расплавляется электрической дугой, а затем сторае и частично выдувается подаваемой через полый электрод или отдельный мундштук струей кислорода. Ориентировочные режимы резки покрытым электродом приведены в табл. 19.5.



**19.5. Ориентировочные режимы ручной кислородно-дуговой резки покрытым стальным электродом**

Толщина металла, мм	Диаметр электрода, мм	Сила тока, А	Скорость резки, м/мин	Расход кислорода, л/пор. м
10	4	160	520	100
		170	460	130
15	4	180	430	160
		200	400	200
20	5	220	360	250
		230	300	290
25	5	240	280	330
		250	250	370
30	5	260	200	400
		260	200	400

**19.5. Ручная и машинная плазменная резка**

Этот способ резки основан на расплавлении металла в зоне реза и выдувании его потоком сжатой дуги. В качестве плазмобразующих газов используют азот, водород, аргоноводородные, аргоноазотные и азотно-водородные смеси.

Основными преимуществами плазменной резки, обеспечивающими ее широкое применение в промышленности, являются высокая производительность и хорошее качество реза. Для резки используют плазменные горелки прямого или косвенного действия, аналогичные сварочным. Ориентировочные режимы плазменной резки низкоуглеродистой стали и алюминия приведены в табл. 19.6.

**19.6. Ориентировочные режимы машинной плазменной резки листового металла аппаратом ПЛМ-60/300**

Толщина металла, мм	Диаметр сопла, мм	Сила тока, А	Напряжение дуги, В	Расход сжатого воздуха, л/мин	Скорость резки, м/мин	Средняя ширина реза, мм
Низкоуглеродистая сталь						
6...15	3	300	160...180	40...60	5...2,5	3
40...60					0,8...0,3	5
Алюминий и сплавы на его основе						
5...15	2	120...200	170...180	70	2...1	3,5
30...50	3	280...300	170...190	40...50	1,2...0,6	5,5
Медь						
10	3	300	160...180	40...60	3	—
60	3,5				0,4	

## 20. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

### 20.1. Общие сведения

Под качеством продукции понимают совокупность свойств и меру полезности продукции, удовлетворяющие определенным общественным и личным потребностям в соответствии с ее назначением. Применительно к сварным соединениям показателями качества служат такие свойства, как прочность, отсутствие дефектов, число их исправлений и др.

Основные факторы, влияющие на качество сварных соединений, можно разделить на две группы: конструктивно-эксплуатационные (конструкция соединения, качество основного металла, условия эксплуатации и др.); технологические (качество сварочных материалов, оборудование, подготовка и сборка, выбор параметров режима сварки, квалификация оператора).

Различают три этапа контроля качества: предварительный контроль; текущий контроль; контроль в готовом изделии.

В процессе предварительного контроля проверяют качество исходных материалов, заготовок, подлежащих сварке, сварочных материалов, сборки под сварку, сварочного оборудования и приспособлений.

В процессе текущего контроля проверяют внешний вид шва, его геометрические размеры, проводят измерения изделия, осуществляют наблюдение за выполнением технологического процесса.

Для контроля качества сварного соединения в готовом изделии существуют следующие методы: наружный осмотр и проверка размеров швов; механические испытания швов; гидравлические испытания сварных сосудов и трубопроводов на прочность и непроницаемость; радиационный; акустический; магнитный; электромагнитный и др.

### 20.2. Дефекты сварных соединений

Дефектами сварных соединений называют отклонения от установленных норм и требований, приводящие к снижению прочности, эксплуатационной надежности и точности, а также к ухудшению внешнего вида изделия. В зависимости от характера возникновения дефекты в сварных соединениях разделяют на внешние, внутренние, сквозные и др. (рис. 20.1, табл. 20.1 на с. 294...299).

Трещины являются наиболее опасными дефектами, резко снижающими статическую и циклическую прочность изделий. Тре-

щины, образовавшиеся в процессе сварки, называют *горячими*, а после охлаждения металла — *холодными*.

Подрезом называют местное уменьшение толщины основного металла у границы шва. Этот дефект приводит к уменьше-

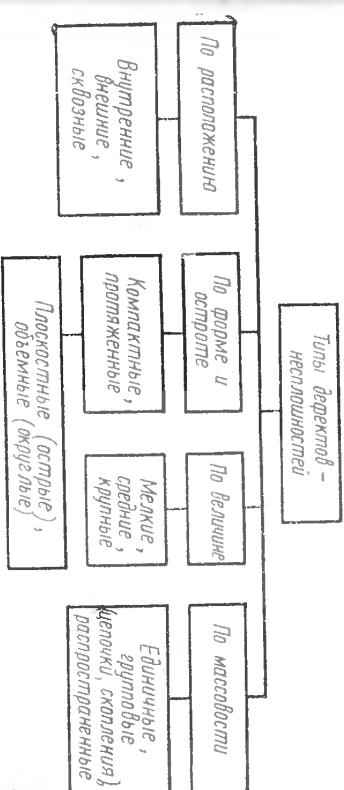


Рис. 20.1. Типы сварочных дефектов — несплошностей

нию сечения изделия в околошовной зоне и резкой концентрации напряжений при одноосном или сложном нагруженном состоянии.

Кратером называют углубление, образующееся после обрыва дуги в конце шва. При усталостном нагружении кратер может быть источником образования и развития трещин.

Прожегом называют полость в шве, образовавшуюся в результате вытекания сварочной ванны.

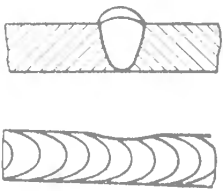
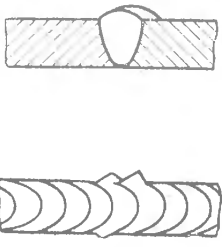
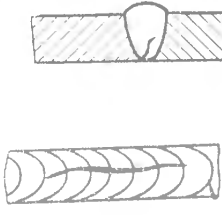
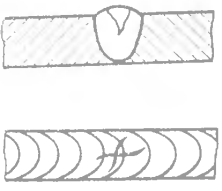
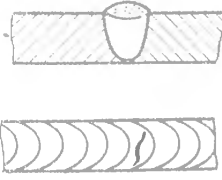
Пористостью металла называют газовые полости, образовавшиеся в результате вслеживания перенасыщения газами.

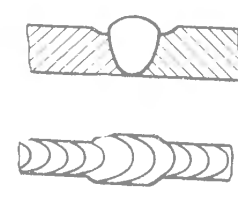
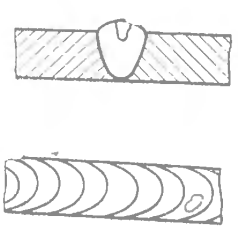

Непроваром называют несплавление либо между основным и наплавленным металлом, либо между отдельными ваннами.

### 20.3. Методы контроля качества сварных соединений

Внешний осмотр и проверка размеров шва (ГОСТ 3242—79) являются наиболее распространенными, дешевыми и оперативными методами неразрушающего контроля. Осмотром выявляют наличие трещин, подрезов, прожогов, непроваров кромок, а при односторонней сварке — корня шва. Перед внешним осмотром сварные швы должны быть тщательно очищены от шлака и, если необходимо, протравлены. Осмотру подвергают все без исклю-

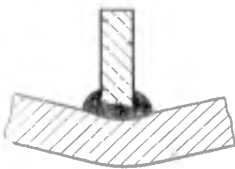
## 20.1. Дефекты сварных соединений

Название дефекта	Эскиз	Причины возникновения дефекта	Основные методы контроля	Способ устранения дефекта
<b>Внешние дефекты</b>				
Отклонения размеров от требуемых		Неравномерный зазор между кромками свариваемых заготовок; неравномерное передвижение электрода или горелки и присадочного прутка вдоль шва	Внешний осмотр; измерение шаблоном и обычным инструментом	Зачистить и подварить шов, излишки металла срубить
Грубая шероховатость шва и наплывы		Несоблюдение установленного режима сварки; низкое качество электродов; неумение манипулировать электродом или горелкой	Внешний осмотр	Срубить или вырезать наплыв, проверить, нет ли в этом месте непровара; заново заварить шов
Наружные трещины: продольная		Напряжения, возникающие в металле вследствие его неравномерного нагрева, охлаждения, усадки; способность сталей (высокоуглеродистых и легированных) подвергаться закалке при охлаждении после сварки; повышенное содержание вредных примесей (серы, фосфора)	Внешний осмотр; магнитографическая и ультразвуковая дефектоскопия; металлографические исследования	Вырубить шов и заварить вновь
разветвленная				
поперечная				

Название дефекта	Эскиз	Причины возникновения дефекта	Основные методы контроля	Способ устранения дефекта
Подрезы		Чрезмерно большая сила тока при сварке; выполнение сварки длинной дугой	Внешний осмотр	Исправить тонким швом; при необходимости выполнить последующую зачистку для создания плавного перехода к основному металлу
Усадочная раковина		Низкая квалификация сварщика или небрежное выполнение сварки		Тщательно зачистить кратер шва; вырубить до основного металла и заварить вновь
Прожоги		Большая сила сварочного тока при малой скорости сварки; большой зазор; не-		Расчистить дефектное место и подварить

достаточное притупление кромок

Деформация сварных конструкций



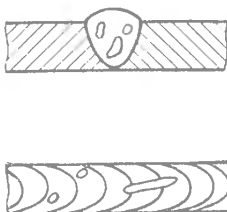
Неправильная последовательность сварки

Внешний осмотр и обмер конструкций

Выполнить механическую или тепловую правку

#### Внутренние дефекты

Пористость металла



Несоответствие химического состава металла электродного стержня или присадочного прутка требуемому; влажное покрытие, окалина и ржавчина на кромках свариваемого металла

Испытание водой (под давлением) или сжатым воздухом; рентгенодефектоскопия; гамма-дефектоскопия

Пористые участки вырубить до основного металла и заварить вновь

Название дефекта	Эскиз	Причины возникновения дефекта	Основные методы контроля	Способ устранения дефекта
Шлаковые включения поверхностное окисление		Неудовлетворительная очистка кромок; неумение манипулировать электродом; выполнение сварки длинной дугой	Магнитографическая дефектоскопия; рентгенодефектоскопия; гамма-дефектоскопия	Вырубить дефектный участок и заварить вновь
Цепровар		Выполнение сварки длинной дугой; недостаточный угол скоса кромок, отсутствие зазора, большое приутолщение; неудовлетворительная зачистка кромок перед сваркой; недостаточная или избыточная сила тока; малая мощность горелки; слишком быстрое перемещение электрода или горелки по шву; смещение электрода к одной кромке	Наружный осмотр; технологическая проба; магнитографическая дефектоскопия; макроисследования	
Перегрев металла		Чрезмерная мощность сварочной горелки или слишком большая сила тока; слишком медленное перемещение электрода или горелки по шву	Внешний осмотр; осмотр микрошлифов сварных соединений	Перегрев устранить термической обработкой, зоны перегрева вырубить и заварить вновь
Внутренние трещины (в металле шва; в зоне термического влияния; в основном металле; продольные и поперечные; холодные и горячие)		Аналогичны причинам внешних трещин	Рентгенодефектоскопия; гамма-дефектоскопия; ультразвуковая дефектоскопия; магнитографическая дефектоскопия; металлографические исследования	Вырубить дефектный участок и заварить вновь

чения сварные соединения как после прихваток, так и после наложения каждого шва. Для проверки формы и размеров швов применяют шаблоны, шупы и стандартные измерительные инструменты.

**Методы контроля герметичности соединений** назначают в зависимости от условий эксплуатации изделий, типа конструкции и других факторов. Контроль, осуществляемый после внешнего осмотра, основан на способности газов и жидкостей проникать через неплотности. Для проведения испытаний используют керосин, аммиак, воздух, воду, гелий и др.

При испытании и керосином поверхность, доступную для осмотра, покрывают водной суспензией мела или каолина и подсушивают. Противоположную сторону шва два-три раза смазывают керосином. Дефекты в шве обнаруживаются по появлению жирных желтых пятен на окрашенной поверхности. Таким методом испытывают сосуды, работающие без внутреннего давления с толщиной стенки до 16 мм и размером дефекта свыше 0,1 мм. Продолжительность испытания должна составлять не менее 12 ч при положительной температуре и не менее 26 ч — при отрицательной.

При пневматическом испытании (ГОСТ 3242—79) сжатый газ (воздух, инертные газы и др.) подают в испытываемый сосуд под давлением, несколько превышающем рабочее. Плотность сварных соединений проверяют мыльным раствором или погружением сосуда в воду.

При гидравлическом испытании (ГОСТ 3845—75) все отверстия в изделии плотно закрывают заглушками и через штуцер заполняют изделие водой. С помощью гидравлического насоса создают давление, в 1,25...1,5 раза превышающее рабочее. О наличии дефектов судят по появлению на противоположной стороне шва течи, капель или следов жидкости. Данный вид испытаний применяют при проверке герметичности сварных соединений паровых и водных котлов, трубопроводов и сосудов, работающих под давлением.

Методы контроля качества соединений, основанные на использовании специальной аппаратуры (радиационный, ультразвуковой, магнитографический, металлографический и др.), а также методы разрушающего контроля в данном пособии не рассматриваются.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Гурд Л. М. Основы технологии сварки. М., 1985.  
Корольков М. П., Хананетов М. В. Современные методы термической обработки сварных соединений. М., 1987.  
Попровка Д. Л., Хворостов Н. Е. Дуговая сварка в защитных газах на открытых площадках. М., 1980.  
Рыбаков В. М. Дуговая и газовая сварка. М., 1986.  
Рыбаков В. М. Сварка и резка металлов. М., 1979.  
Соколов И. И., Гисин П. И. Справочник молодого сварщика. М., 1983.  
Стеглов О. И. Основы сварочного производства. М., 1986.  
Хананетов М. В. Сварка и резка металлов. М., 1980.  
Хананетов М. В., Иоффе И. С. Сварка порошковой проволокой в строительстве. М., 1984.  
Чернышев Г. Г., Мордынский В. В. Справочник молодого электросварщика по ручной сварке. М., 1987.