

СЕРИЯ СПРАВОЧНИКОВ ДЛЯ МАСТЕРОВ И РАБОЧИХ

СПРАВОЧНИК СВАРЩИКА

Под редакцией
проф. д-ра техн. наук В. В. СТЕПАНОВА

*Издание третье,
переработанное и дополненное*



Москва
«МАШИНОСТРОЕНИЕ»
1974

Справочник сварщика. Под ред. В. В. Степанова. Изд. 3-е. М., «Машиностроение», 1974, 520 с.

В книге приведены справочные сведения по металлургическим основам сварки, свариваемости металлов, оборудованию, инструменту, приспособлениям и технологии различных способов сварки, резки и наплавки. В ней изложены также новые методы контроля качества, основы технического нормирования и техники безопасности.

В третьем издании справочника (2-е изд. 1967 г.) приведены данные о новых аппаратах, инструментах и приспособлениях, а также прогрессивных способах сварки, резки и наплавки.

Справочник предназначен для рабочих, бригадиров и мастеров-сварщиков. Он может быть полезен также студентам техникумов и институтов. Табл. 296, ил. 222, список лит. 91 назв.

Авторы: БАЛЯБИН Р. В., канд. техн. наук; ДЕНИСОВ Ю. А., канд. техн. наук; КОПЫТОВ Г. Т., инж.; КОЧЕВА Г. Н., канд. техн. наук; МАСЛОВ Ю. А., канд. техн. наук; НИКОНОВ И. П., канд. техн. наук; ПЕТУНИН И. В., канд. техн. наук; РАЗИКОВ М. И., д-р техн. наук; СТЕПАНОВ Б. В., канд. техн. наук; СТЕПАНОВ В. В., д-р техн. наук; ШАТОВ М. Я., и о. доц.; ФОФАНОВ А. А., канд. техн. наук; ЦЫКАРЕВ Л. Ф., инж.

С $\frac{31206-059}{038(01)-74}$ 59-74

© Издательство «Машиностроение», 1974 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ К ТРЕТЬЕМУ ИЗДАНИЮ

Технический прогресс в промышленности СССР неразрывно связан с постоянным совершенствованием сварочного производства. Сварка как высокопроизводительный способ изготовления неразъемных соединений находит широкое применение при изготовлении металлургического, кузнечно-прессового, химического и энергетического оборудования, в сельскохозяйственном и тракторном машиностроении, в производстве строительных и других конструкций.

По масштабам применения сварки под флюсом и в углекислом газе, а также электрошлаковой сварки Советский Союз занимает ведущее место в мире.

В 1969 году впервые в мировой практике советскими учеными были осуществлены научные эксперименты по выполнению сварочных работ в космическом пространстве. Успехам развития сварочной науки и техники в нашей стране в огромной мере способствует тот факт, что это развитие осуществляется по комплексным программам, утвержденным ЦК КПСС и Советом Министров СССР. Советскими учеными были разработаны и успешно применяются в промышленности такие способы сварки как сварка плазменной струей, электронным лучом, трением, лучом лазера, ультразвуком и диффузионная сварка.

Создание новых способов сварки вносит существенные изменения в технологические процессы различных отраслей промышленности. Так, например, созданный Институтом электросварки им. Е. О. Патона АН УССР способ электрошлаковой сварки позволяет упростить технологию изготовления крупных отливок и поковок. С применением электрошлаковой сварки становится возможным получение крупногабаритных поковок без увеличения мощности кузнечно-прессового оборудования, крупногабаритных отливок без увеличения емкости плавильных агрегатов. Широкие перспективы открывает применение сварочного электрошлакового процесса в области получения металлов с высокими физическими и механическими свойствами (электрошлаковый переплав), создании многослойных деталей и деталей с износостойкой поверхностью (электрошлаковая наплавка), отливке изделий с высокими служебными характеристиками (электрошлаковая отливка) и получении высококачественных слитков (электрошлаковый подогрев).

Аналогичным образом происходило и развитие плазменных процессов. Если в начале плазменная струя как источник тепла применялась лишь при резке и сварке различных материалов (алюминия, никеля, нержавеющей стали), то в настоящее время низкотемпературная плазма применяется также для придания особых свойств рабочим поверхностям деталей машин (плазменное напыление и наплавка), для получения металлов и сплавов с высокой степенью чистоты (плазменный переплав). Как источник энергии при сварке все шире начинают применять энергию взрыва (сварка взрывом) и солнечную энергию. Современные источники нагрева легко расплавляют различные металлы, что обеспечивает возможность получения неразъемных соеди-

нений практически из всех металлов и сплавов. Весьма знаменательным фактом является то, что сварочные процессы начинают применяться в медицине (ультразвуковая сварка биологических тканей).

Сварка является таким же необходимым технологическим процессом, как обработка металлов резанием, литье,ковка, штамповка. Она часто конкурирует с этими процессами, а в ряде случаев и вытесняет их. Сваркой можно изготовлять любые крупные сварно-литые и сварно-кованые детали, которые невозможно отлить или отковать цельными.

Ускоренное развитие сварки вызывает быстрый рост численности кадров сварщиков, работающих в различных отраслях народного хозяйства, а также постоянное повышение требований к уровню их теоретических знаний и практической подготовки. В связи с этим в справочнике наряду с теоретическими вопросами широко представлены сведения по составлению технологии, назначению режимов сварки, выбору оборудования, электродных материалов, флюсов и защитных газов.

В третьем издании справочника расширены сведения о новых способах сварки (электроннолучевой, плазменной и др.), а также учтены пожелания и предложения, высказанные специалистами-сварщиками различных предприятий.

ГЛАВА I

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДУГОВОЙ СВАРКИ

ПРОЦЕССЫ, ПРОТЕКАЮЩИЕ ПРИ СВАРКЕ

Сварка плавлением представляет собой комплекс металлургических и физико-химических процессов, протекающих в условиях высокой температуры, значительной концентрации тепла в небольшом объеме, быстрого нагрева и охлаждения расплавленного металла при наличии близлежащего холодного металла.

В результате сосредоточенного воздействия тепла сварочной дуги плавится электродный и основной металл. Совместно с металлом плавится электродное покрытие (при ручной дуговой сварке) или флюс (при сварке под флюсом). Расплавленный металл электрода переходит в сварочную ванну в основном в виде капель величиной от тысячных долей миллиметра до 5—6 мм. Размер капель и их количество зависят от силы тока, химического состава стержня и покрытия (при ручной дуговой сварке), от электромагнитных явлений в дуге и т. п.

Расплавление электродного металла сопровождается обильным выделением газов, в основном от окисления углерода. На интенсивность газовыделения, а следовательно, и на характер металлургических процессов при сварке существенное влияние оказывает величина поверхности капель. Средние количественные характеристики газообразования в процессе плавления электрода приведены в табл. 1.

1. Газообразование в процессе плавления электрода

Параметры	Радиус капли, мм					
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Время образования капли, с	0,0068	0,054	0,122	0,432	0,845	1,46
Число капель, образующихся в секунду	147	18,5	8,1	2,3	1,18	0,68
Поверхность капли, мм ²	3,15	12,6	28,4	50,5	79	113,04
Объем капли, мм ³	0,52	4,2	14,2	32	65	113,04
Масса капли, г	0,004	0,03	0,10	0,23	0,46	0,81
Объем газа, выделяемого из капли, мм ³	5,2	42	142	320	650	1140
Отношение объема выделяемого газа к поверхности, мм ³ /мм ²	1,62	3,35	5,2	6,3	8,2	10,0

При совместном переходе капель расплавленного электродного металла и шлака через дуговой промежуток протекают химические реакции между металлом, шлаком и газами среды, окружающей дугу.

Реакции между газами и металлом успевают в основном пройти в дуговом промежутке несмотря на малое время существования капель.

За счет энергии дугового разряда при сварке образуется участок расплавленного металла, называемый сварочной ванной (рис. 1).

Сварочная ванна перемещается вдоль шва с определенной скоростью, равной скорости сварки. Время, в течение которого сварочная ванна переместится вдоль шва на расстояние a , т. е. на расстояние, соответствующее длине ванны, называют временем существования ванны.

Рис. 1. Схема сварочной ванны

Размеры сварочной ванны и время ее существования зависят в основном от способа сварки (табл. 2), режима и физических свойств свариваемого материала.

2. Размеры сварочной ванны, мм (рис. 1)

Сварка	Длина a	Ширина b	Глубина h
Ручная дуговая	20—30	8—12	2—3
Автоматическая дуговая под флюсом (однофазная)	80—120	20—30	15—20
Автоматическая дуговая под флюсом (трехфазная)	80—200	20—50	15—30

В сварочной ванне на определенных этапах ее существования происходят следующие процессы:

перемешивание шлака с расплавленным основным и электродным металлом;

газовая и шлаковая защита ванны;
окисление, раскисление и легирование металла ванны;
растворение газов в металле ванны;
образование пор и шлаковых включений;
кристаллизация металла и формирование шва.

Металл шва представляет собой сплав основного и электродного металла (или присадочной проволоки). Соотношение между основным и электродным металлом в шве зависит от скорости плавления электрода, глубины ванны, объема наплавленного металла и ряда других факторов.

В среднем принимают следующие соотношения между основным и электродным металлом (%):

При ручной дуговой сварке:	
основной металл	30—50
электродный металл	70—50
При автоматической сварке под флюсом:	
основной металл	60—70
электродный металл	40—30

Следовательно, химический состав металла шва значительно изменится по сравнению с химическим составом электродного и основного металла в результате реакций между металлом, шлаком и газами, интенсивно протекающих в дуговом промежутке и сварочной ванне, и расплавления и перемешивания электродного и основного металла с различным химическим составом. Примерный химический состав металла, наплавленного различными способами сварки с применением электродных стержней одного и того же химического состава, приведен в табл. 3

Химический состав наплавленного металла зависит не только от способа сварки, но и от состава покрытия при ручной дуговой сварке, режима сварки, степени защиты дуги от взаимодействия окружающей атмосферы и т. д.

СВАРОЧНЫЕ ШЛАКИ

При дуговой сварке одновременно с расплавлением электродного и основного металла образуется жидкая фаза неметаллического характера — шлак. Источники его образования — покрытие электродов или флюсы, плавящиеся при сварке, а также непосредственное окисление металла кислородом в результате реакции взаимодействия в самом металле.

Шлаки при сварке стали могут иметь различный химический состав, определяемый составом покрытия или флюса, а также условиями сварки. Обычно шлаки состоят из окислов (SiO_2 , TiO_2 , P_2O_5 , CaO , MnO , FeO , BaO , MgO , NiO и др.) и солей различных кислот (CaS , MnS , CaF_2 и т. п.).

Окислы SiO_2 , TiO_2 и P_2O_5 — кислотные, остальные окислы имеют основной характер. Все шлаки в зависимости от соотношения в их составе кислотных и основных окислов делят на кислые и основные.

Отношение массы всех кислотных окислов данного шлака к массе всех основных окислов (в грамм-молекулах) * называют степенью кислотности шлака. У кислотных шлаков степень кислотности больше единицы, основных — меньше единицы. Степень кислотности определяет физические свойства шлака и механизм взаимодействия между шлаком и металлом.

Химический состав сварочных шлаков приведен в табл. 4.

Шлак, окружающий капли электродного металла при переносе их через дуговой промежуток, и шлаковый покров на сварочной ванне улучшают свойства наплавленного металла: защищают металл от дей-

* Грамм-молекула — количество граммов вещества, численно равное его молекулярной массе.

3. Химический состав наплавленного металла, %

Металл	C	Si	Mn	S	P	O ₁	N ₁
Электродная проволока Металл наплавленный: голым электродом . . . электродом с каче- ственным покрытием . . . газовой сваркой . . . атомно-водородной сваркой . . . автоматической свар- кой под флюсом . . .	≤ 0,10	≤ 0,03	0,2—0,4	≤ 0,04	≤ 0,04	≤ 0,02	≤ 0,005
	0,02—0,05	Следы	0,1—0,2	≤ 0,04	≤ 0,04	0,15—0,25	0,12—0,2
	0,08	0,13	0,88	0,22	0,02	0,085	0,03
	0,06	Следы	0,1—0,15	0,02	0,05	0,06	0,015
	0,05	0,03	0,4	0,022	0,024	0,045	0,017
	0,07	0,4	0,6	0,032	0,035	0,04	0,093

4. Химический состав сварочных шлаков, %

Сварка	Марка электродов и флюса	SiO ₂	TiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Al ₂ O ₃	CaF ₂
Дуговая ручная	ОММ-5	24,6	12,1	20,9	0,2	31,6	0,4	3,4	1,9	3,5	—
	ЦМ-7	36,6	—	17,0	—	32,4	1,7	—	—	5,0	—
	УОНИ-13/55 ЦШ-4	31,0 16,0	2,2 1,6*	7,9 15,4	— —	1,3 1,3	42,0 51,4	— —	— —	— —	15 —
Дуговая автоматиче- ская	ОСЦ-45'	38,5	—	4,7	—	43,7	1,7	—	—	1,4	8,0

* Cr₂O₃.

ствия воздуха; химическое взаимодействие между металлом и шлаком раскисляет и легирует металл шва, в шлаке растворяются вредные соединения; увеличивает запас тепла в наплавленном металле и замедляет его охлаждение.

При наличии в составе шлака стабилизирующих компонентов улучшается устойчивость горения дуги. К шлакам предъявляют следующие основные требования:

температура плавления шлака должна быть несколько ниже температуры плавления металла; применение тугоплавких шлаков затрудняет правильное формирование шва и способствует возникновению в нем шлаковых включений; FeO значительно понижает температуру плавления шлака; MgO в тех небольших количествах, в каких обычно бывает в шлаках, также понижает температуру их плавления; плотность шлака в жидком состоянии должна быть ниже плотности расплавленного металла, что обеспечивает всплывание шлака в верхнюю часть сварочной ванны;

шлак должен обладать хорошей жидкотекучестью, т. е. незначительной вязкостью; чем меньше вязкость шлака, тем выше его активность, тем быстрее протекают в нем химические реакции и процессы растворения, тем легче выделяются из металла газы; с увеличением кислотности шлака увеличивается его вязкость; при избытке SiO₂ шлак становится густым; для разжижения основных шлаков применяют плавиковый шпат CaF₂;

шлак должен хорошо растворять различные соединения; количество вредных примесей в шлаке должно быть минимальным;

в твердом состоянии шлак должен легко отделяться от наплавленного металла.

ГАЗОВАЯ ЗАЩИТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ

Одним из основных условий получения наплавленного металла высокого качества является защита электродного металла и металла сварочной ванны от воздействия воздуха. Действие газовой защиты более интенсивно, чем действие покрытий и флюсов, так как реакции между газовыми веществами и жидким металлом обладают значительно большей скоростью.

При дуговой сварке покрытыми электродами защита осуществляется газами, образующимися в результате сгорания газообразующих компонентов покрытия (крахмал, декстрин, целлюлоза, древесная мука и т. п.); диссоциации * мела, мрамора и других углекислых солей, содержащихся в покрытии; диссоциации компонентов покрытия, богатых кислородом (Fe₂O₃, MnO).

При сварке под флюсом источниками образования газовой среды являются плавиковый шпат CaF₂, а также реакции, протекающие между металлом и флюсом.

При сварке в среде защитных газов (аргоно- и гелиево-дуговая сварка, сварка в среде углекислого газа и т. п.) последние специально вводят в зону сварки. В зависимости от способности защитного газа взаимодействовать с металлом в процессе сварки различают: защиту

* Диссоциация — разложение при высокой температуре сложных молекул на более простые молекулы и на атомы.

инертными газами (аргон, гелий и их смеси); защиту активными газами (O_2 , CO , CO_2 , H_2 , пары воды, смеси активных газов).

В первом случае инертные газы практически не растворяются в свариваемом металле и не образуют с ним и его примесями химических соединений. Защита аргоном и гелием заключается лишь в оттеснении от зоны сварки воздуха, содержащего в своем составе кислород и азот.

Наличие кислорода и азота в стали отрицательно сказывается на ее механических свойствах. Увеличение содержания кислорода снижает предел прочности и твердость, ухудшает пластические свойства стали. Повышение содержания азота в стали уменьшает ее пластичность и увеличивает склонность к хладноломкости.

Активные газы в процессе сварки взаимодействуют с металлом, растворяясь в нем и образуя химические соединения. Защитное действие активных газов заключается: в оттеснении от зоны сварки воздуха, при этом важнейшей ролью защитных газов является предупреждение проникновения азота воздуха к металлу, так как удаление азота из сварочной ванны представляет большую трудность по сравнению с удалением кислорода раскислением; в связывании попавших в зону дуги кислорода и азота; в восстановлении металла из окислов.

При дуговой сварке покрытыми электродами или при сварке в углекислом газе, несмотря на активность газовой среды, ее действие все же значительно меньше окислительного действия воздуха.

ОКИСЛЕНИЕ МЕТАЛЛА ПРИ СВАРКЕ

Защита расплавленного металла покрытиями, флюсами и газами для предотвращения окисления при сварке не всегда достигает цели, и содержание кислорода в наплавленном металле обычно выше, чем в основном и присадочном металле (табл. 5).

5. Химический состав (%) основного, присадочного и наплавленного металла

Металл	Метод сварки	Марка стали, электродного покрытия и флюса	C	Mn	Si	O_2	N_2
Основной металл	—	—	0,24	0,50	0,20	0,0033	0,008
Электродная проволока	—	Св-15	0,17	0,54	0,02	0,0173	0,003
То же	—	Св-15	0,12	0,54	0,02	0,0180	0,006
Металл шва	Дуговая ручная	Электроды с меловым покрытием Ц3	0,11	0,16	—	0,2330	0,12
То же	То же	ОММ-5	—	—	—	0,0818	0,039
>	>	УОНИ-13/55	0,16	1,12	0,09	0,0521	0,041
>	>	Флюс	0,10	0,74	0,23	0,0200	0,03
>	Дуговая автоматическая	ОСЦ 45	0,09	0,73	0,18	0,0335	0,093

Результатом окисления стали при сварке является растворение кислорода в железе, образование окислов железа (FeO , Fe_3O_4 , Fe_2O_3) и окислов других химических элементов. Закись железа FeO , так же как кислород, растворяется в железе. Остальные окислы практически не растворяются в железе и на его свойства оказывают незначительное влияние.

Источниками окисления металла при сварке преимущественно являются газы и шлаки, в меньшей степени — поверхностные окислы (окалина, ржавчина).

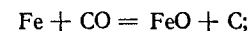
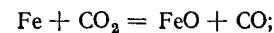
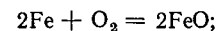
Окисление металла газами. Газовая среда, являющаяся источником окисления, может быть различной и зависит от применяемого способа сварки.

Окисление металла газами происходит в дуговом промежутке (в процессе переноса капель электродного металла в сварочную ванну) и в сварочной ванне. При этом окисляются (выгорают) химические элементы, содержащиеся в электродном и основном металле. При сварке стали в первую очередь окисляется железо, другие элементы окисляются с различной интенсивностью.

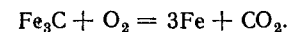
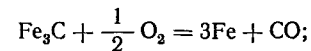
Чем больше степень сродства химического элемента с кислородом, тем быстрее идет окисление элемента. Ниже перечислены некоторые химические элементы, содержащиеся в сталях, начиная с элемента с наибольшей степенью сродства с кислородом и кончая элементом с наименьшей ее величиной: Al, Ti, Si, Mn, Cr, Fe, Ni, C, Cu.

Кроме окисления газами, окружающими дуговой промежуток и сварочную ванну, при сварке покрытыми электродами капли электродного металла могут окисляться кислородом воздуха при случайном увеличении длины дуги.

Реакции окисления железа при дуговой сварке следующие:



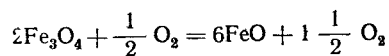
Марганец и кремний, имеющие высокую степень сродства с кислородом, сильно выгорают при дуговой сварке. Выгорание углерода может идти по реакциям:



Окисление металла шлаками. Некоторые шлаки вызывают и окисление металла. Одним из таких шлаков является закись железа FeO . При наличии в покрытии или во флюсе окислов железа часть закиси железа при определенных условиях будет растворяться в металле шва, обогащая его кислородом.

Окисление металла окислами на свариваемых поверхностях.

На поверхности основного металла (стали) обычно находятся ржавчина и окалина. При нагреве ржавчины присутствующая в ней влага испаряется, содержащийся в ней кислород повышает окислительную способность газовой среды. Окалина при плавлении металла переходит в закись железа с выделением кислорода:



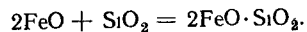
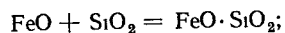
Выделяющиеся закись железа FeO и кислород окисляют металл шва.

РАСКИСЛЕНИЕ МЕТАЛЛА ПРИ СВАРКЕ

Для получения наплавленного металла с механическими свойствами не ниже, чем у основного металла, необходимы меры по снижению содержания кислорода в наплавленном металле. Такими мерами являются раскисление наплавленного металла и удаление образовавшихся окислов из сварочной ванны.

Раскисление может быть осуществлено за счет взаимодействия между металлом и шлаком или при помощи раскислителей.

Раскисление металла шлаками. При наличии в сварочной ванне кислых шлаков раскисление металла происходит по реакциям.



Полученные силикаты не растворимы в металле, поэтому количество FeO в металле уменьшается.

Раскисление металла раскислителями. Сталь раскисляют введением в сварочную ванну C, Si, Mn и Al.

Наиболее распространенный метод введения раскислителей — применение сварочной проволоки, содержащей раскислители. Возможно введение раскислителей через покрытия электродов и флюсы.

Раскисление углеродом $\text{FeO} + \text{C} = \text{Fe} + \text{CO}$.

Окись углерода практически не растворима в стали. В период нахождения жидкого металла при высоких температурах образующиеся пузырьки окиси углерода всплывают и удаляются из сварочной ванны. При применении углерода в качестве раскислителя возможно образование пор в наплавленном металле.

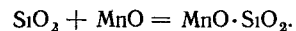
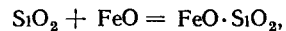
Раскисление марганцем $\text{FeO} + \text{Mn} = \text{Fe} + \text{MnO}$.

Окись марганца плохо растворима в железе, но способна растворить в себе до 60% FeO, следовательно, она будет уходить в шлак, увлекая за собой значительное количество FeO.

В качестве раскислителя марганец применяют в сплавах с железом и углеродом (ферромарганец), стоимость марганца невысокая.

Раскисление кремнием $2\text{FeO} + \text{Si} = 2\text{Fe} + \text{SiO}_2$.

Эта реакция в металле сопровождается реакциями образования силикатов



Кремний весьма активный раскислитель, SiO₂ и силикаты практически не растворимы в железе и уходят в шлак.

Раскисление алюминием $3\text{FeO} + 2\text{Al} = \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{Fe}$.

Сталь, раскисленная алюминием, склонна к образованию трещин при ударах в горячем состоянии. Поэтому алюминий применяют только в ограниченных количествах.

ЛЕГИРОВАНИЕ МЕТАЛЛА ШВА

Раскисление не обеспечивает равнопрочности и близости по химическому составу наплавленного и основного металлов. Для выполнения этих требований необходимо, чтобы в процессе сварки было осуществлено легирование наплавленного металла, компенсирующее выгорание специальных элементов основного металла, или легирование элементами, не содержащимися в основном металле.

Леглирующие элементы (Cr, Mo, V, W, Ti и др.) могут быть введены в состав электродного металла и в шихту электродного покрытия или флюса. Коэффициент усвоения легирующего элемента, находящегося в электродном металле, несколько выше, чем введенного в покрытие.

Коэффициент усвоения, или перехода, легирующего элемента представляет собой отношение содержания легирующего элемента в металле шва к суммарному содержанию его в электродном металле, покрытии, а также в той доле основного металла, которая войдет в состав металла шва.

Так как некоторая часть легирующего элемента все же окисляется, коэффициент усвоения (перехода) его всегда меньше единицы. Численное значение коэффициента усвоения зависит от степени сродства легирующего элемента с кислородом, от условий протекания процесса сварки и др. Чем выше степень сродства легирующего элемента с кислородом, тем меньше, при прочих равных условиях, коэффициент его усвоения наплавленным металлом.

Наиболее легко осуществить легирование стали медью или никелем. Коэффициент усвоения таких элементов практически близок к единице. Значения коэффициента усвоения при сварке некоторых сталей с применением электродного металла различного состава приведены в табл. 6. Средние значения коэффициентов перехода элементов из покрытия в металл шва при сварке низкоуглеродистым электродом даны в табл. 7. Данные табл. 6 и 7 ориентировочны и справедливы только для условий, в которых они были определены.

Величина коэффициента усвоения (перехода) увеличивается при увеличении растворимости элемента в металле и уменьшении концентрации данного элемента в электроде (в покрытии и стержне). Коэффициент усвоения тем больше, чем лучше раскислен расплавленный металл. Кроме того, имеется еще ряд факторов, которые также могут изменять величину коэффициента усвоения легирующих элементов. К ним относят: степень помола компонентов покрытия, род сварочного тока и его полярность, силу тока, длину дуги и др.

6. Усвоение металлом шва элементов основного металла и электродной проволоки при сварке в углекислом газе

Металл	Марка	Содержание элементов, %						
		C	Si	Mn	Cr	Ti		
Основной металл	X18H9T	0,09	0,72	0,52	18,97	0,50		
Электродная проволока	Св X18H9T	0,10	0,48	0,50	19,05	0,61		
Металл шва	—	0,10	0,45	0,40	17,73	0,24		
Общий коэффициент усвоения	—	1,0	0,78	0,78	0,94	0,42		
Основной металл	Ст3сп	0,19	0,24	0,53	—	—		
Электродная проволока	Св 10ГС	0,15	0,62	0,82	Следы	—		
Металл шва	—	0,12	0,16	0,27	—	—		
Общий коэффициент усвоения	—	0,71	0,37	0,55	—	—		

Примечание Сварка производилась на автомате электродом диаметром 2 мм, сила тока 260—270 А, скорость сварки 12 м/ч.

7. Средние значения коэффициентов усвоения элементов покрытия металлом шва при сварке низкоуглеродистым электродом

Параметры	C		Si		Mn		Mo	Ni	Ti и Al
	min	max	min	max	min	max			
Пределы содержания элементов в наплавленном металле, %	0,1—0,6	3—4	0,2—0,8	4—6	0,1—0,3	1—1,5	1—2	4—5	0,05—0,1
Средняя величина коэффициента перехода элемента из покрытия, %	70—80	20—25	70—80	25—30	50—60	40—50	50—60	30—40	45—60

ШЛАКОВЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В СВАРНЫХ ШВАХ

Состав шлаковых включений в наплавленном металле зависит в основном от применяемых электродов или флюса. При сварке сталей включения возникают в результате застревания частиц кварца SiO_2 и корунда Al_2O_3 , присутствующих в некоторых исходных компонентах покрытий и флюсов. Эти включения, в первую очередь SiO_2 , взаимодействуют с находящимися в металле шва окислами (MnO, FeO и др.), образуя более сложные легкоплавкие включения диаметром от нескольких микрон до десятков микрон. Характер шлаковых включений показан на рис 2.

При сварке сталей в металле шва могут возникнуть в сравнительно большом количестве сернистые включения. Сера может переходить в металл шва из покрытий и флюсов, которые иногда загрязнены. В сварочной ванне сера находится в форме сульфида железа FeS, наличие которого повышает склонность металла шва к появлению трещин при высоких температурах.

Одной из форм неметаллических включений в металле шва при дуговой сварке являются нитриды — химические соединения азота с различными металлами. Наибольшее влияние на свойства металла шва оказывают нитриды железа, образующиеся при дуговой сварке сталей. Нитриды железа обладают высокой твердостью. Пластические свойства металла шва при повышенном содержании азота резко снижаются.

Факторы, влияющие на количество и величину шлаковых включений в наплавленном металле. Величина и количество шлаковых включений зависят от скорости всплывания частиц, их способности к коагуляции*, их вязкости, плотности и от механического воздействия на жидкий металл.

Скорость всплывания частиц зависит от их размеров, от плотности жидкого металла и частиц и от вязкости металла. Основное влияние на скорость всплывания имеет радиус частиц, с увеличением которого ускоряется всплывание. Поэтому малые частицы, образующиеся в процессе раскисления, имеют очень малую скорость всплывания.

Способность к коагуляции ведет к укрупнению частиц, облегчает их всплывание. Коагуляция зависит от поверхностного натяжения** частиц и от их вязкости.

Наличие в металле посторонних включений представляет собой отрицательное явление, так как включения делают металл неоднородным. В большинстве случаев неметаллические включения имеют высокую температуру плавления, не обладают пластичностью, прочностью

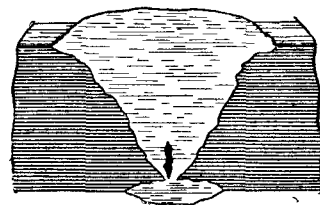


Рис. 2. Характер шлаковых включений

* Коагуляция — укрупнение частиц в результате их слияния под действием молекулярных сил сцепления

** Величина поверхностного натяжения характеризует склонность жидкой частицы принимать форму шара — тела с минимальной поверхностью при данном объеме

их мала, а хрупкость значительна. Отличаясь от наплавленного металла по химическому составу, они способствуют коррозии.

Поэтому при сварке необходимо стремиться к получению более чистого металла шва или наплавки с возможно меньшим количеством посторонних включений.

Для предупреждения появления шлака в наплавленном металле принимают следующие меры:

удаляют загрязнения, ржавчину и окалину с поверхности основного металла в местах сварки;

проводят промежуточную зачистку швов от шлака при многослойной сварке или наплавке;

замедляют остывание наплавленного металла (применяют толстый слой шлака, соответствующий режим сварки и т. п.);

вводят в состав покрытий вещества, которые способствуют понижению температуры плавления окислов и могут образовать соединения, легко удаляемые из металла.

ГАЗОВЫЕ ПОРЫ В СВАРНЫХ ШВАХ

Появление в сварных соединениях пустот и газовой пористости является результатом выделения газов из металла. Газы, выделяющиеся из жидкого наплавленного металла при его охлаждении и затвердевании, способствуя освобождению металла от шлаковых включений, создают пористость в шве или наплавке. Количество выделяющихся газов увеличивается с повышением температуры перегрева металла.

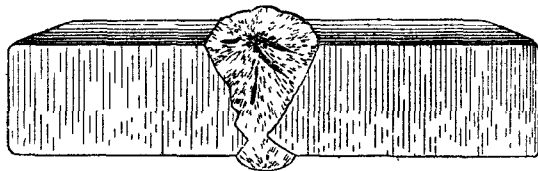


Рис. 3. Внутренние поры в шве

Поры могут возникнуть как в металле шва, так и в зоне взаимной кристаллизации. Поры располагаются внутри шва или выходят на его поверхность (рис. 3 и 4). По своей форме поры могут быть шарообразными и вытянутыми в виде гусеницы. Иногда наблюдается скопление большого числа разнообразных пор.

Газы в наплавленном металле могут быть в следующих состояниях: механически включенные (в порах и пузырьках); в растворе в виде химических соединений (например, O_2 в виде FeO , N_2 в виде Fe_3N и т. д.); непосредственно растворенные (H_2 , CO_2 и др.).

Главными причинами, способствующими образованию газовых пор в металле шва, являются:

интенсивное выделение газов при кристаллизации металла шва, наличие влаги в присадочных материалах (присадочная проволока, электроды, флюсы) и наличие окислов (окалина, ржавчина) на кромках деталей;

недостаточная раскисленность и, как следствие, большая насыщенность основного металла газами;

относительно высокая концентрация FeO в металле шва при газовой и ручной дуговой сварке низкоуглеродистой стали, что при повышенном содержании углерода в присадочной проволоке или в электродах является причиной выгорания углерода по реакции $FeO + C = Fe + CO$; выделение окиси углерода из металла шва в момент кристаллизации вызывает образование пор;

наличие в стали в значительном количестве растворенного водорода, который, диффундируя в мельчайшие пузырьки, образованные окисью углерода, может увеличить их до заметных размеров;

повышение давления над поверхностью ванночки по каким-либо причинам вызывает повышение давления газов в пузырьках; вследствие этого размеры пузырьков уменьшаются и снижается скорость их всплывания, они могут не достигнуть поверхности швов до затвердевания металла, и в швах возникают поры. Основной причиной, увеличивающей давление над поверхностью, является повышенная вязкость шлаков.

Поры и пузырьки, соответственно их величине и расположению в наплавленном металле, понижают его механическую прочность. Наличие пор в шве вызывает концентрацию напряжений и, следовательно, создает условия для разрушения сварного соединения. Мелкие равномерно расположенные поры менее вредны, чем крупные сконцентрированные в местах высокого напряжения, если даже количество мелких пор во много раз превышает количество крупных. Газы, остающиеся в наплавленном металле, повышают его хрупкость, твердость и понижают пластичность.

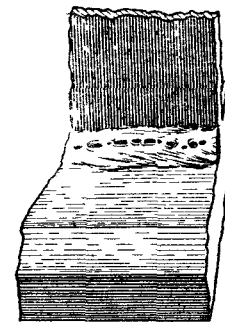


Рис. 4. Наружные поры (свищи) при автоматической сварке

КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ МЕТАЛЛА ШВА

Процесс кристаллизации заключается в образовании кристаллитов (или зерен) в металлах или в их сплавах. Различают первичную и вторичную кристаллизацию.

Первичная кристаллизация — образование зерен при переходе металлов или сплавов из жидкого состояния в твердое. В затвердевших металлах или сплавах, обладающих полиморфизмом* (например, в стали), первичная структура изменяется.

Изменение формы зерен при полиморфных превращениях, происходящих в твердом теле, называют *вторичной кристаллизацией*.

Условия протекания процесса первичной кристаллизации в значительной степени определяют свойства литого металла и, в частности, металла сварного шва. Кристаллизация металла сварочной ванны отличается от кристаллизации слитка по следующим причинам: сва-

* Полиморфизм — свойство веществ изменять свое кристаллическое строение при изменении температуры и некоторых других условий.

рочная ванна находится одновременно под воздействием нагрева сварочной дугой и охлаждения со стороны твердого металла, жидкий металл ванны, соприкасаясь с более холодным основным металлом, очень быстро охлаждается, жидкий металл сварочной ванны окружен твердым металлом свариваемого изделия, нагретым до различных температур, средняя скорость кристаллизации металла шва равна скорости перемещения ванны, т. е. скорости сварки.

Процесс затвердевания наплавленного металла, или процесс первичной кристаллизации, складывается из двух явлений: зарождения центров кристаллизации и роста зерен. В зависимости от формы и расположения зерен затвердевшего металла различают следующие виды структуры: гранулярную, столбчатую, дендритную.

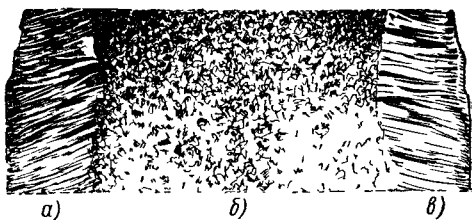


Рис. 5. Структуры кристаллов затвердевшего металла:
а — дендритная структура, б — гранулярная структура, в — столбчатая структура

Гранулярной называют такую структуру, в которой зерна дезориентированы и имеют приблизительно равноосную по всем направлениям форму (рис. 5, б), близкую к форме правильного многоугольника. Гранулярная структура может быть крупнозернистой и мелкозернистой.

Наиболее благоприятной структурой в отношении механических свойств является гранулярная мелкозернистая структура.

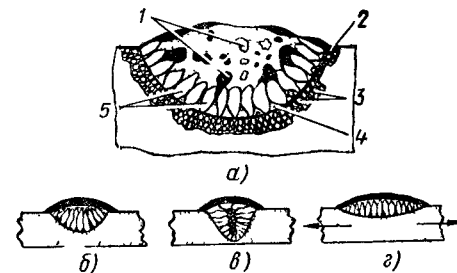
Столбчатая и дендритная структуры характеризуются вытянутостью зерен в одном направлении. В столбчатой структуре зерна имеют компактную форму, а в дендритной — ветвистую, елочную (рис. 5, а и в).

Количество отдельных зерен в затвердевшем полностью металле, их форма и расположение зависят от следующих причин: места зарождения центров кристаллизации; скорости зарождения центров кристаллизации и роста зерен, скорости убывания запаса тепла и направления, в котором происходит это убывание, наличия в жидком металле твердых посторонних частиц. При достаточно медленном охлаждении центры кристаллизации возникают более или менее равномерно по всему объему расплавленного металла и зерна растут во все стороны.

В условиях сварки при быстром одностороннем отводе тепла в основной металл центры кристаллизации зарождаются прежде всего на поверхности более интенсивного охлаждения. Зерна начинают быстро расти в направлении, нормальном к тем элементарным площадкам, на которых они образуются. Поэтому в первый момент появится весьма большое количество зерен с неопределенной ориентировкой. Но вскоре в силу соприкосновения граней соседних зерен рост тех из них, кото-

рые расположены менее выгодно, прекращается. Далее продолжают расти только зерна, которые имеют нормальное расположение относительно границы между сварочной ванной и основным металлом.

Рис. 6. Схема кристаллизации металла в сварочной ванне:
а — распределение неметаллических включений и кристаллов;
б — правильное формирование шва
в — кристаллы замкнувшие среднюю часть шва
г — направление растягивающих сил при охлаждении
1 — неметаллические (шлаковые) частицы, 2 — линия расплавления, 3 — кристаллы нерасплавленного металла, 4 — кристаллы, имевшие сначала малую скорость роста, 5 — кристаллы, имевшие сначала большую скорость роста



Схемы кристаллизации металла в сварочной ванне показаны на рис. 6. Форма стыкового шва определяет условия кристаллизации и распределение неметаллических включений по его сечению.

В широком шве неметаллические включения вытесняются в его верхнюю часть и могут быть легко удалены.

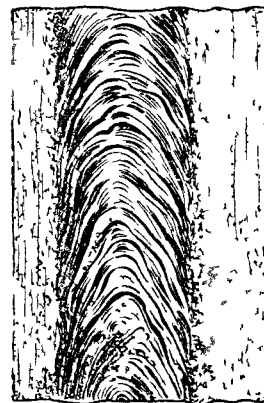


Рис. 7. Общий вид сварного шва

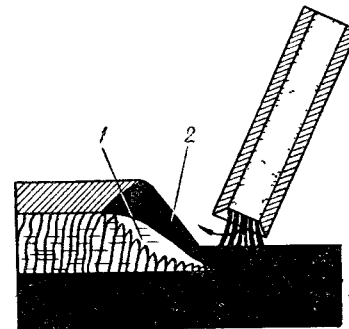


Рис. 8. Схема процесса образования валика наплавленного металла:
1 — жидкий металл, 2 — жидкий шлак

При дуговой и газовой сварке поверхность шва имеет своеобразный чешуйчатый вид. Общий вид сварного шва показан на рис. 7.

Чешуйчатое строение поверхности шва связано с внутренним строением его металла. Процесс кристаллизации металла шва можно представить как периодическое, в форме волн, поступление жидкого металла из ванночки и его быстрое затвердевание (рис. 8).

Поскольку происходит непрерывный процесс плавления металла (основного и присадочного), постольку, очевидно, происходит непрерывный процесс его затвердевания — кристаллизация.

Центрами кристаллизации в этом случае являются оконечности дендритов, выросших в затвердевшем металле. Дендриты возникают сначала на базе зерен основного металла и растут в пределах одной волны металла. Процесс кристаллизации металла шва можно рассматривать и как процесс взаимной кристаллизации металла отдельных волн.

ЛИКВАЦИЯ И УСАДКА

При затвердевании наплавленного металла происходит в большей или меньшей степени ликвация и усадка.

Ликвация — неравномерное распределение составляющих, приводящее к неоднородности химического состава сплава. Ликвация в сплавах может иметь различный характер. Зональная ликвация появляется в слитках при медленном затвердевании, и потому при обычных темпах охлаждения и затвердевания наплавленного металла она не обнаруживается. Дендритная ликвация происходит в сплавах, образующих смешанные кристаллы, и выражается в постепенном изменении концентрации твердого раствора, в постепенном обогащении его компонентами с более низкой температурой плавления. Поэтому представление об однородности твердых растворов является условным, и чем быстрее происходит их затвердевание, тем больше разница в составе между внутренней и внешней областью зерна.

Усадка наплавленного металла является следствием уменьшения объема сплава при охлаждении и затвердевании и ведет к образованию усадочных раковин, к возникновению остаточных напряжений и к появлению трещин.

ТРЕЩИНЫ В СВАРНЫХ ШВАХ

В зависимости от температуры, при которой образуются трещины, различают два вида трещин — горячие и холодные. Горячие трещины в сталях возникают при температуре выше 1000°C , а холодные трещины — ниже этой температуры. В большинстве случаев горячие трещины (рис. 9) располагаются по границам зерен, а холодные пересекают эти границы (рис. 10).

По современным представлениям горячие трещины в металле шва вызываются одновременным действием двух факторов: наличием жидких прослоек между зернами застывающего металла вследствие его избирательной кристаллизации и появлением в металле растягивающих напряжений.

Образование трещин зависит от химического состава металла шва, термического цикла сварки, вида соединения и жесткости конструкции, направленности кристаллизации и других факторов.

Склонность наплавленного металла к образованию горячих трещин увеличивают сера (в результате образования сульфидов FeS , $\text{MnS} + \text{FeS}$), углерод, кремний, водород и др. Чисто аустенитные швы чаще, чем швы частично ферритные, подвержены горячим трещинам. Введение в аустенитные швы молибдена, ванадия и титана устраняет

горячие трещины в сталях аустенитного класса с повышенным содержанием легирующих элементов.

Холодные трещины образуются в процессе остывания шва при комнатной температуре, а также появляются в условиях эксплуатации. Существенную роль в образовании холодных трещин играет водород, выделяющийся из металла вследствие его меньшей растворимости в последнем при низких температурах. Основной причиной образования холодных трещин считается скопление молекулярного водорода

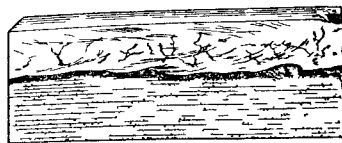


Рис. 9. Внешний вид горячих трещин



Рис. 10. Характер холодных трещин

в пустотах структуры металла. Подавляющее большинство случаев образования холодных трещин относится к сварке сталей перлитного и мартенситного класса, где трещины располагаются в основном металле. На образование холодных трещин влияет также толщина свариваемого металла и другие конструктивные факторы. Вероятность возникновения трещин при сварке сталей можно снизить предварительным подогревом свариваемых деталей до температуры $250\text{--}400^{\circ}\text{C}$, применением оптимальных технологических режимов сварки, использованием аустенитных электродов при сварке сталей перлитного и мартенситного класса и другими способами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Багрянский К. В., Добротина З. А. и Хренов К. К. Теория сварочных процессов Харьков, Харьковский университет, 1968, с 267—328, 374—387
- 2 Теоретические основы сварки Под ред В В Фролова М, «Высшая школа», 1970, с 260—365
- 3 Справочник по сварке Под ред Е В Соколова Т I М, Машгиз, 1960 с 51—135, 141—180
- 4 Прохоров Н. Н. Физические процессы в металлах при сварке М, «Металлургия», 1970, с 425—441

ГЛАВА 2

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ
МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ ПРИ СВАРКЕ

МИКРОСТРУКТУРА МЕТАЛЛА ШВА

Сварной шов образуется из электродного и основного металла. Свойства его в основном определяются химическим составом и структурой, получаемой при охлаждении в результате протекания определенных процессов в стали. Процесс затвердевания расплавленного металла шва ничем не отличается от процесса кристаллизации стали и наступает при охлаждении металла ниже 1500°C .

Образовавшиеся в процессе кристаллизации кристаллы твердого раствора имеют столбчатую форму и неоднородный химический состав.

При дальнейшем понижении температуры в связи с аллотропическим превращением железа кристаллы распадаются, образуя механическую смесь почти чистого альфа-железа (феррит) и карбида железа (цементит).

Это явление называют вторичной кристаллизацией, или перекристаллизацией, стали. Выделяемые в процессе перекристаллизации феррит и цементит образуют при температуре 720°C и ниже смесь, называемую перлитом и содержащую 0,83% углерода. Сталь с содержанием углерода менее 0,83% состоит из перлита и избыточного феррита, которого тем больше, чем меньше в стали углерода. Соответственно сталь с содержанием углерода более 0,83% состоит из перлита и избыточного цементита, количество которого увеличивается при повышении содержания углерода.

Следовательно, в низкоуглеродистой стали с содержанием углерода до 0,2% образуется структура, состоящая из зерен феррита и небольшого количества перлита.

Измельчение зерен в результате перекристаллизации оказывает благоприятное влияние на механические свойства стали. С повышением содержания углерода в структуре стали будет больше зерен перлита, а количество избыточного феррита соответственно уменьшится.

Избыточный феррит в стали может быть выделен в виде сетки по границам более или менее равноосных зерен перлита. Это наиболее часто встречаемая форма выделения феррита, придающая стали хорошие механические свойства. Иногда избыточная фаза (феррит или цементит) может выделиться внутри зерен полосами или прожилками, расположенными параллельно одна другой или под углом.

Такая структура соответствует перегретой стали и является нежелательной, так как понижаются механические свойства, в особенности ударная вязкость. Она встречается в литой стали или в стали, перегретой при отжиге. Подобные структуры наблюдаются и в сварных соединениях как в наплавленном металле, так и в околшовной зоне.

При дуговой сварке голым электродом металл шва очень быстро охлаждается и структура получается мелкозернистой с неясно выраженной столбчатостью. В структуре преобладает феррит, перлита очень мало, потому что углерод, как и другие легирующие элементы, интенсивно выгорает. В шве встречается много различных включений, так как при сварке расплавленный металл ничем не защищается от вредного действия окружающей среды. Механические свойства такого шва, естественно, низкие.

При сварке качественным электродом металл шва имеет более крупнозернистую столбчатую структуру, особенно резко выраженную у линии сплавления. В средней части шва благодаря замедленной скорости охлаждения образуются структуры с менее выраженной ориентировкой кристаллов и с более округлыми зернами феррита и перлита (рис. 11). Надежная защита металла при сварке, а также легирование его через обмазку способствуют получению достаточно чистого, без включений, металла шва определенного химического состава с требуемыми свойствами.

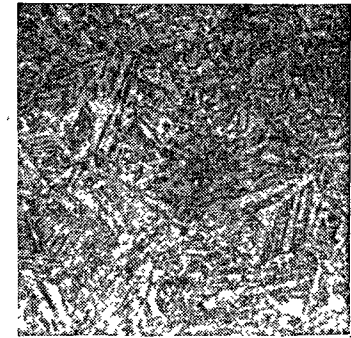


Рис. 11. Структура металла, наплавленного качественными электродами

В структуре наплавленного металла при автоматической сварке под слоем флюса размер зерен и столбчатость еще больше, чем в структуре металла, наплавленного качественным электродом.

Скорость охлаждения металла шва здесь наиболее замедленная. В металле шва, как правило, отсутствуют шлаковые и неметаллические включения. Структура состоит из зерен перлита и феррита, соотношение которых зависит от химического состава металла шва.

Высокая чистота и большая однородность химического состава металла шва обеспечивают его высокие механические свойства.

Следовательно, структура металла шва, зависящая от способа сварки, условий ее проведения и состава металла, во многом определяет свойства шва, его качество.

МИКРОСТРУКТУРА МЕТАЛЛА ЗОНЫ
ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ

Большая часть выделяемого при сварке тепла удаляется в свариваемый металл через околшовные участки. Характер распространения тепла практически одинаков при всех методах сварки.

Сначала происходит быстрое нарастание температур, затем, обычно с меньшей скоростью, наступает охлаждение металла. При удалении от шва максимальные температуры нагрева основного металла падают, вначале резко, а затем более плавно. Снижается также скорость нагрева и охлаждения металла. Температуры нагрева и скорость охлажде-

ния изменяются в широких пределах и определяют характер тепловой обработки основного металла около шва.

Нагрев и охлаждение металла в околошовных участках отличаются от обычной термообработки металлов и сплавов кратковременностью теплового воздействия и нагревом металла до высоких температур вплоть до температуры плавления. Такая своеобразная термическая обработка при сварке вызывает различные структурные изменения металлов и сплавов, оказывая серьезное влияние на свойства металла в околошовных участках.

Часть металла около шва, которая подвергалась нагреву, в результате чего произошло изменение структуры и свойств (или только

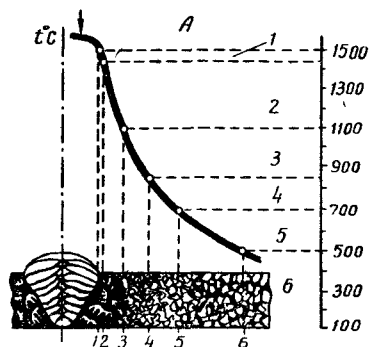


Рис. 12. Распределение температуры по поверхности сварного соединения:

A — металл шва, расплавлявшийся при сварке; 1 — участок неполного расплавления; 2 — участок перегрева; 3 — участок нормализации; 4 — участок неполной перекристаллизации; 5 — участок рекристаллизации; 6 — участок неизменной структуры основного металла

свойств) основного металла, называют зоной термического влияния. На рис. 12 показано сварное соединение, а над ним — границы участков зоны термического влияния сварного шва

Свойства сварного соединения определяются как свойствами металла шва, так и изменившимися свойствами основного металла, расположенного в зоне термического влияния. Изменение структуры и свойств происходит в зависимости от степени нагрева, выдержки при этих температурах и от скорости охлаждения. При сварке низкоуглеродистых сталей различают определенные структурные участки в зоне термического влияния (см. рис. 12).

Участок неполного расплавления является переходным от наплавленного металла к основному. Участок представляет собой узкую полоску основного металла, нагреваемую при сварке до температур начала и конца плавления. Значение этого участка для качества сварного соединения очень велико, так как в нем происходит сваривание основного и наплавленного металла. Свойства этого участка во многих случаях определяют качество сварного соединения.

Участок перегрева включает часть металла, нагретого до температуры, близкой к температуре плавления. В связи с этим здесь развивается крупное зерно и возможно появление структуры перегрева, которая снижает вязкость металла, хотя на прочности отражается мало. Нагрев до указанных температур тем опаснее, чем больше способность стали к закалке. Чем выше содержание в свариваемом

мой стали углерода, тем больше ухудшаются механические свойства стали и тем труднее восстановить их последующей термической обработкой.

Участок нормализации охватывает часть металла, нагреваемого в процессе сварки несколько выше 900°C . Благодаря перекристаллизации при нагреве и охлаждении происходит значительное измельчение зерен металла, что способствует получению высоких механических свойств.

Участок неполной перекристаллизации включает часть металла, нагретого при сварке примерно от 725 до 900°C . Металл подвергается в процессе нагрева и охлаждения только частичной перекристаллизации. Структура стали, прошедшей частичную перекристаллизацию, весьма своеобразна.

В ней наряду со старыми, более крупными зернами феррита, не подвергавшимися перекристаллизации, появляются новые, более мелкие зерна феррита и перлита, прошедшие перекристаллизацию.

Механические свойства такой смешанной структуры невысоки.

Участок неполной перекристаллизации можно также назвать участком неполной нормализации.

Участок рекристаллизации представляет собой температурный интервал (450 — 725°C), в котором происходит рекристаллизация зерен феррита. Сущность явления рекристаллизации заключается в росте зерен феррита (повторная кристаллизация) из их обломков, образовавшихся в результате предварительной пластической деформации. Структура такого участка состоит из равноосных зерен феррита и перлита, в то время как основной металл имеет структуру в виде вытянутых неравноосных кристаллических обломков.

Участок синеломкости по структуре совершенно не отличается от основного металла, полностью сливаясь с последним. Участок основного металла, подогретый до температуры 200 — 500°C , обладает пониженной пластичностью и несколько повышенной прочностью.

При температуре 500 — 550°C заметно снижается ударная вязкость.

Название участка синеломкости условное.

Следовательно, изменение структуры в участках зоны термического влияния приводит в большинстве случаев к ухудшению механических свойств металла. Поэтому возможные изменения структуры в околошовной зоне следует учитывать при проведении сварочного процесса и принимать меры для получения более благоприятных структур или смягчения данной структуры. Для каждого сварного изделия разрабатывают наиболее рациональную технологию сварки, иногда довольно сложную — с применением подогрева, термической обработки и других операций.

ВЕЛИЧИНА ЗОНЫ ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ

Размеры зоны термического влияния зависят от вида сварки, режима и скорости проведения ее, а также от химического состава свариваемого металла. Линейные размеры участков околошовной зоны зависят также от физических свойств свариваемого металла. Чем выше теплоемкость и чем меньше теплопроводность, тем меньше будет по раз-

мерам зона термического влияния. Сравнительные средние размеры участков зоны в зависимости от способа сварки приведены в табл. 8.

8. Величина участков зоны термического влияния в зависимости от способа сварки

Сварка	Средние размеры участков, мм			Общая длина зоны влияния
	перегрева	нормализации	неполной перекристаллизации	
Электродом с качественным покрытием	2,2	1,6	2,2	6,0
Газовая	21,0	4,0	2,0	27,0
Автоматическая под флюсом	0,8—1,2	0,8—1,7	0,7	2,5

Увеличение силы тока при сварке или больший номер наконечника горелки увеличивают размеры зоны влияния. Увеличение скорости сварки, наоборот, уменьшает размеры зоны влияния.

При автоматической сварке, которая ведется при большей силе тока и значительной скорости, температурный градиент будет очень большим, а это делает зону термического влияния чрезвычайно малой.

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА СТРУКТУРУ МЕТАЛЛА

На механические, физические и химические свойства стали большое влияние оказывают присадки легирующих элементов: хрома, вольфрама, молибдена, ванадия, титана и др.

Большинство специальных примесей и углерод повышают прокаливаемость стали, так как увеличивают устойчивость аустенита и замедляют процесс распада его при охлаждении. Основное влияние большинства специальных примесей и углерода заключается в том, что они снижают критическую скорость охлаждения и при определенном содержании могут вызвать закалку даже при охлаждении на воздухе. При сварке большинства легированных сталей вероятность образования мартенсита в наплавленном металле и в зоне термического влияния весьма высока, потому что отвод тепла от металла шва к металлу зоны термического влияния происходит значительно быстрее, чем отвод тепла в окружающий воздух. Это является одним из основных затруднений при сварке легированных сталей.

В зависимости от структуры, получаемой при охлаждении на спокойном воздухе, стали часто делят на следующие структурные классы: перлитный, мартенситный, аустенитный, карбидный и ферритный.

К *перлитному классу* относят стали, которые при охлаждении на воздухе приобретают структуру перлита, сорбита или троостита.

К *мартенситному классу* относят легированные стали, в которых при охлаждении на воздухе появляется структура мартенсита. К *аустенитному классу* относят легированные стали, когда в них не наблю-

дается распада аустенита при самом большом содержании примесей. К *сталим карбидного класса* относят стали мартенситного или аустенитного класса с карбидообразующими элементами (хром, вольфрам и др.), благодаря чему в структуре металла наряду с мартенситом или аустенитом содержится значительное количество карбидов.

Структура сталей перлитного класса. К *сталям перлитного класса* относят углеродистые и низколегированные стали. Одной из особенностей структурных изменений в сталях перлитного класса при сварке является возможность получения в зоне влияния структуры мартенсита. Появление мартенсита в зоне термического влияния основного металла крайне нежелательно не только из-за повышенной твердости и уменьшения пластических свойств зоны, но и главным образом из-за возможного образования микроскопических или даже субмикроскопических трещин.

Появление хрупкой структуры мартенсита можно предупредить путем предварительного подогрева детали перед сваркой. Подогрев также рекомендуется при сварке сталей с высоким содержанием углерода.

При сварке сталей перлитного класса металл шва чаще всего имеет структуру сорбита или сорбитообразного перлита (рис. 13). У некоторых сталей этого класса, имеющих значительное содержание углерода и легирующих элементов, находящихся у границы мартенситного класса, возможно появление структуры мартенсита в наплавленном металле.

При сварке незакаленной стали в зоне термического влияния наблюдаются следующие участки, структура которых во многом зависит от содержания в металле углерода и легирующих элементов:

1. Участок перегрева часто имеет структуру крупноиглычатого мартенсита. На большом удалении от шва строение мартенсита более мелкое. Механические свойства металла относительно высокие.

2. Участок нормальной закалки имеет структуру мелкоиглычатого мартенсита. При недостаточной скорости охлаждения или пониженном содержании углерода наряду с мартенситом встречается троостит.

Иногда оба участка объединяют под общим наименованием «участок полной закалки», так как между ними нет резкой границы.

3. Участок частичной закалки в легированных сталях имеет структуру мартенсита с сеткой феррита. Величина участка незначительна.

Все три участка образуют хрупкую зону закалки с высокой твердостью (рис. 14), что затрудняет последующую механическую обработку, а также способствует развитию трещин в основном металле.

4. Участок рекристаллизации в структурном отношении отличается от основного металла только при наличии предварительной пластической деформации.

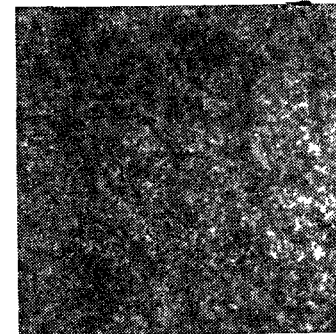


Рис. 13. Структура наплавленного металла при сварке стали перлитного класса

5. Участок синеломкости так же, как и у низкоуглеродистых сталей, не имеет структурных отличий от основного металла.

Если перед сваркой сталь была подвергнута закалке с отпуском, то характер структур участка перегрева, участков нормальной и частичной закалки остается таким же, но характер структур участков рекристаллизации и синеломкости будет отличаться. Здесь появляется участок отпуска, так как максимальный нагрев при сварке был ниже 720°C . Структурные изменения в зонах закалки и отпуска вызывают необходимость последующей (после сварки) термообработки сварных изделий.

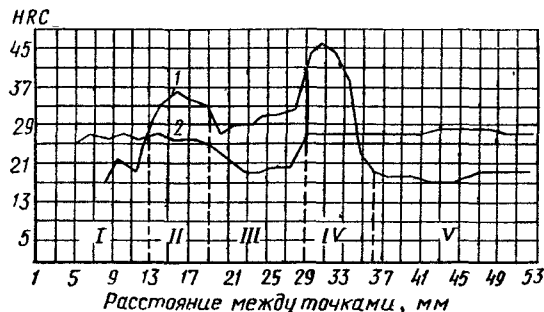


Рис. 14. Характеристика изменения твердости в сварном соединении:

I и V — основной металл; II и IV — зоны термического влияния; III — наплавленный металл; 1 — изменение твердости в сварном соединении непосредственно после сварки; 2 — изменение твердости в сварном соединении после термической обработки

Структура сталей мартенситного класса. Основной металл имеет структуру мартенсита с некоторым количеством остаточного аустенита и карбидов. Участок зоны термического влияния, нагретый при сварке до температуры выше 720°C , после охлаждения будет иметь структуру мартенсита с некоторым количеством карбидов. Участок, нагретый при сварке до температуры ниже критической, будет участком отпуска со структурой троостита или сорбита. Зона термического влияния у мартенситных сталей будет иметь только два участка: закалки и отпуска. Изменение твердости в зоне термического влияния стали мартенситного класса показано на рис. 15.

Структура сталей аустенитного класса. Типичной для аустенитного класса сталей является сталь типа X18N9, содержащая 18% хрома и 9% никеля. После закалки с высоких температур, необходимых для перевода карбидов в твердый раствор, структура стали однородная — аустенит (рис. 16). В околошовных участках наблюдается рост зерен. В тех участках, где при сварке металл нагревается до температуры $680\text{--}780^{\circ}\text{C}$, наблюдается частичный распад твердого раствора и выпадение по границам зерен карбидов, что понижает коррозионную стойкость стали. Так как структура стали становится неоднородной, возможно также развитие межкристаллитной коррозии в агрессивных средах.

Структура сталей ферритного класса. Основным типом ферритных сталей являются стали с большим содержанием хрома, что резко повышает их жаростойкость. Под воздействием процесса сварки в околошовных участках наблюдается интенсивный рост зерен (рис. 17). Для предупреждения роста зерен в высокохромистые стали добавляют такие элементы, как титан и ниобий, которые, связывая углерод, образуют прочные карбиды.

Карбиды, располагаясь как внутри, так и между зернами, препятствуют их росту при нагреве.

Структура сталей карбидного класса. Наиболее распространенной для производства инструментов сталью карбидного класса является быстрорежущая сталь. Химический состав стали: 0,7—0,9% C; 14—18% W; 3,5—5% Cr; 1,2—2% V. Быстрорежущая сталь имеет в литом состоянии структуру ледубурита сложного состава и аустенита. Ледубурит придает стали хрупкость (рис. 18). Для раздробления ледубуритной сетки и превращения ее в отдельные зерна карбидов литую сталь подвергают проковке. После закалки от температуры $1280\text{--}1310^{\circ}\text{C}$ и двух-трехкратного

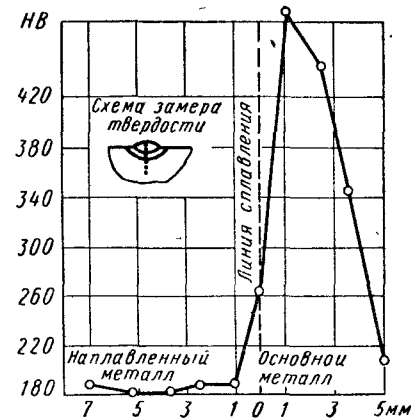


Рис. 15. График изменения твердости в зоне термического влияния стали мартенситного класса

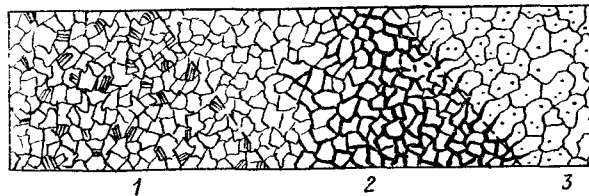


Рис. 16. Структура стали аустенитного класса:

1 — однородный аустенит; 2 — аустенит с выделениями карбидов; 3 — аустенит с карбидами

отпуска при температуре 560°C структура основного металла — мартенсит и карбиды. Структура наплавленного металла состоит из аустенита и ледубурита. Структура наплавленного металла после проковки и отжига состоит из троостита и неравномерно распределенных карбидов (рис. 19).

При стыковой сварке углеродистой и быстрорежущей стали в зоне термического влияния первым участком будет участок частичного расплавления со структурой аустенита и ледебурита, затем участок закаленного металла со структурой аустенита, мартенсита и карбидов.

Структура серого чугуна состоит из зерен феррита, участков перлита и включений графита. Под влиянием теплового процесса сварки в околошовных участках в области взаимной кристаллизации происходит оплавление по границам зерен аустенита.

При холодной сварке (без подогрева) возникают прослойки белого чугуна (рис. 20).

При горячей сварке (с подогревом) успевает произойти графитизация (рис. 21). За областью взаимной кристаллизации происходит частичное растворение графита в зернах аустенита. Остатки графита приобретают более округлую форму. Росту зерен аустенита мешают графитные включения.

При холодной сварке чугуна в зоне термического влияния при охлаждении возникают закалочные структуры — мартенсит и продукты его распада, а также включения графита. При горячей сварке перекристаллизация аустенита происходит при небольших скоростях охлаждения, что приводит к возникновению дисперсной феррито-перлитной



Рис. 17. Структура стали ферритного класса (рост зерна) в зоне термического влияния

структуры. При сварке или наплавке чугуна зона термического влияния основного металла состоит из тех же участков, что и у низкоуглеродистой стали, но в структуре этих участков будут содержаться наряду с описанными ранее составляющими выделения графита. Основной металл имеет обычную для серого литейного чугуна структуру, состоящую из перлита, феррита и вытянутых пластинчатых выделений графита. В участке нормализации структура сильно измельчена (сорбитизирована). Между основным и наплавленным металлом имеется тонкий отбеленный слой — зона частичного расплавления.

Структура алюминия и его сплавов. Наряду с чистым алюминием широко используют двойные сплавы алюминия с марганцем (сплавы типа АМц) или магнием (сплавы типа АМг), а также сплавы типа дюралюминия. Алюминий и его сплавы с марганцем и магнием для улучшения механических свойств упрочняют нагартовкой.

Термическая обработка этих сплавов не повышает механических свойств.

Сплавы типа дюралюминия резко повышают свои прочностные свойства после закалки и старения.

При сварке алюминия и сплавов типа АМц и АМг под действием тепла дуги наблюдается снятие нагартовки и некоторый рост зерен.

Наличие примесей несколько затрудняет рост зерен. В области взаимной кристаллизации при нагреве происходит оплавление эвтек-



Рис. 18. Структура стали карбидного класса (ледебурит) в зоне термического влияния



Рис. 19. Структура наплавленного металла при сварке стали карбидного класса



Рис. 20. Структура серого чугуна в зоне термического влияния при сварке ходным способом



Рис. 21. Структура серого чугуна в зоне термического влияния при сварке горячим способом

тики. После охлаждения зерна твердого раствора в этой части соединения окаймляются хрупким сплавом. Это не только резко понижает механические свойства сплава, но часто является причиной возникновения трещин. За областью взаимной кристаллизации, где происходит распад твердого раствора, прочностные свойства сплава резко понижаются, пластические свойства возрастают. При дальнейшем удалении от шва в сплаве возникают процессы искусственного старения, которые изменяют его механические свойства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алов А. А. Основы теории процессов сварки и пайки. М., «Машиностроение», 1964, с. 253—259.
2. Лашко Н. Ф. Металловедение сварки. М., Машгиз, 1954, 272 с.
3. Петров Г. Л., Тумарев А. С. Теория сварочных процессов. М., «Высшая школа», 1967, с. 330—361.

ГЛАВА 3

СВАРИВАЕМОСТЬ МЕТАЛЛОВ

ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О СВАРИВАЕМОСТИ

Процесс сварки — это комплекс нескольких одновременно протекающих процессов, основными из которых являются: тепловое воздействие на металл в околошовных участках, плавление, металлургические процессы, кристаллизация металла шва и взаимная кристаллизация металлов в зоне сплавления. Под свариваемостью, следовательно, необходимо понимать отношение металлов к этим основным процессам.

Свариваемость металлов рассматривают с технологической и с физической точек зрения.

Тепловое воздействие на металл в околошовных участках и процесс плавления определяются способом сварки, его режимами.

Отношение металла к конкретному способу сварки и режиму принято считать *технологической* свариваемостью. *Физическая* свариваемость определяется процессами, протекающими в зоне сплавления свариваемых металлов, в результате которых образуется неразъемное сварное соединение.

Сближение частиц и создание условий для их взаимодействия осуществляются выбранным способом сварки, а протекание соответствующих физико-химических процессов определяется свойствами соединяемых металлов. Эти свойства металлов определяют их физическую свариваемость.

Свариваемые металлы могут иметь как одинаковые, так и различные химический состав и свойства. В первом случае это однородные с точки зрения химического состава и свойств металлы, во втором случае — разнородные.

Все однородные металлы обладают физической свариваемостью.

Свойства разнородных металлов иногда не в состоянии обеспечить протекание необходимых физико-химических процессов в зоне сплавления, поэтому эти металлы не обладают физической свариваемостью.

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ И ПРИМЕСЕЙ

К легирующим элементам относят: хром, никель, молибден, ванадий, вольфрам, титан, а также марганец и кремний при определенном их содержании.

Хром в низкоуглеродистых сталях содержится в пределах до 0,3%, в конструкционных 0,7—3,5%, в хромистых 12—18%, в хромоникелевых 9—35%. При сварке хром образует карбиды хрома, ухудшающие коррозионную стойкость стали и резко повышающие твердость в зонах термического влияния, содействует образованию тугоплавких окислов, затрудняющих процесс сварки

Н и к е л ь в низкоуглеродистых сталях имеется в пределах 0,2—0,3%, в конструкционных 1—5%, в легированных 8—35%. В некоторых сплавах содержание никеля достигает 85%. Никель увеличивает пластические и прочностные свойства стали, измельчает зерна, не ухудшая свариваемости.

М о л и б д е н в стали ограничивается 0,15—0,8%. Он увеличивает несущую способность стали при ударных нагрузках и высоких температурах, измельчает зерно. Он способствует образованию трещин в наплавленном металле и зонах термического влияния; при сварке активно окисляется и выгорает.

В а н а д и й в специальных сталях содержится в пределах 0,2—0,8%, в штамповых сталях 1—1,5%. Он способствует закаливанию стали, чем затрудняет сварку. В процессе сварки активно окисляется и выгорает.

В о л ь ф р а м в инструментальных и штамповых сталях содержится в пределах от 0,8 до 18%. Вольфрам резко увеличивает твердость стали и ее работоспособность при высоких температурах (красностойкость), но затрудняет процесс сварки, так как сильно окисляется.

Т и т а н и н и о б и й вводят в нержавеющие и жаропрочные стали для повышения коррозионных свойств (0,5—1,0%). При сварке нержавеющих сталей типа Х18Н9 ниобий способствует образованию горячих трещин.

У г л е р о д — одна из наиболее важных примесей, определяющая прочность, вязкость, закаливаемость и особенно свариваемость стали. Содержание углерода в обычных конструкционных сталях в пределах до 0,25% не ухудшает свариваемости. При более высоком содержании свариваемость стали резко ухудшается, так как в зонах термического влияния образуются структуры закалки, приводящие к трещинам. Повышенное содержание углерода в присадочном материале вызывает при сварке пористость металла шва.

М а р г а н е ц содержится в стали в пределах 0,3—0,8%. Процесс сварки марганец не затрудняет. При сварке среднмарганцовистых сталей (1,8—2,5% Mn) возникает опасность появления трещин в связи с тем, что марганец способствует увеличению закаливаемости стали. В сталях типа Г13Л с содержанием марганца в пределах 11—16% при сварке происходит интенсивное выгорание марганца, для предотвращения которого требуются специальные меры.

К р е м н и й находится в стали в пределах 0,02—0,3%. Он не вызывает затруднений при сварке. В специальных сталях при содержании кремния 0,8—1,5% условия сварки ухудшаются из-за высокой жидкотекучести кремнистой стали и образования тугоплавких окислов кремния.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СВАРИВАЕМОСТЬ

Такие особенности сварки, как высокая температура нагрева, малый объем сварочной ванны, специфичность атмосферы над сварочной ванной, а также форма и конструкция свариваемых деталей, в ряде случаев обуславливают нежелательные последствия:

резкое отличие химического состава, механических свойств и структуры металла шва от химического состава, структуры и свойств основного металла;

изменение структуры и свойств основного металла в зоне термического влияния;

возникновение в сварных конструкциях значительных напряжений, способствующих в ряде случаев образованию трещин;

образование в процессе сварки тугоплавких, трудноудаляемых окислов, затрудняющих протекание процесса, загрязняющих металл шва и понижающих его качество;

образование пористости и газовых раковин в наплавленном металле, нарушающих плотность и прочность сварного соединения.

При различных способах сварки наблюдается заметное окисление компонентов сплавов. В стали, например, выгорает углерод, кремний, марганец, окисляется железо. В связи с этим в определении технологической свариваемости входят:

определение химического состава, структуры и свойств металла шва в зависимости от способа сварки;

оценка структуры и механических свойств околошовной зоны; оценка склонности сталей к образованию трещин;

оценка получаемых при сварке окислов металлов и плотности сварного соединения.

Существующие способы определения технологической свариваемости можно разделить на две группы.

Первая группа — прямые способы, когда свариваемость определяется сваркой образцов определенной формы.

Вторая группа — косвенные способы, когда сварочный процесс заменяют другими процессами, характер воздействия которых на металл имитирует влияние сварочного процесса, например термическая обработка при температурах, близких к температурам сварочного процесса.

Первая группа способов дает прямой ответ на вопрос о предпочтительности того или иного способа сварки, о трудностях, возникающих при сварке выбранным способом, о рациональном режиме сварки и т. п.

Вторая группа способов, имитирующих сварочные процессы, не может дать прямого ответа на все вопросы, связанные с практическим осуществлением сварки. Косвенные способы рассматривают только как предварительные лабораторные испытания.

ИСПЫТАНИЕ НА СВАРИВАЕМОСТЬ

Применяют ряд методов для определения склонности стали к образованию трещин и для определения изменения свойств стали в околошовной зоне. Ниже приведены лишь наиболее употребительные из них.

Метод МВТУ им. Баумана. Валиковая проба определяет следующие свойства стали, проявляющиеся под влиянием термического воздействия при дуговой сварке: склонность к закалке, склонность к перегреву, пластичность стали после нагрева дугой, способность к улучшению микроструктуры и к повышению пластичности после сварки.

Для испытания заданной марки стали выбирают сталь одной плавки, что контролируют химическим анализом. При наличии нескольких плавок стали одной и той же марки испытания проводят на стали той плавки, в которой содержание углерода больше.

Из испытуемой стали вырезают вдоль проката не менее девяти пластин толщиной 12—18 мм (рис. 22). В закрытом помещении при поло-

жительной температуре окружающей среды на каждую пластину по всей ее длине наплавляют один валик вручную или на автомате (открытой дугой или под флюсом). Наплавку вручную ведут без поперечных колебаний электрода. Режим характеризуется величиной погонной энергии

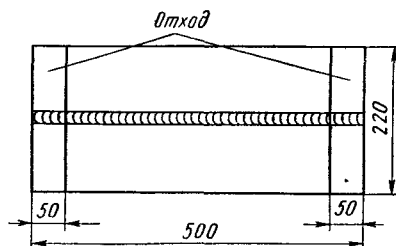


Рис. 22. Пластина для испытания на свариваемость

$$\frac{q}{v} = \frac{0,24IU\eta_{\text{н}}}{v}$$

где q — эффективная тепловая мощность дуги, кал/см; v — скорость продольного перемещения дуги, см/с (должна быть постоянной в процессе наплавки одного валика); I — сила сварочного тока, А; U — напряжение

в дуге, В; $\eta_{\text{н}}$ — коэффициент использования энергии дуги пластиной; при наплавке открытой дугой вручную или на автомате $\eta_{\text{н}} = 0,75$, при наплавке под флюсом $\eta_{\text{н}} = 0,85$.

Значения погонной энергии изменяют в пределах 1—18 ккал/см. Режимы наплавки приведены в табл. 9.

9. Режимы наплавки при испытании на свариваемость

№ пластины	№ режима	Ориентировочное значение погонной энергии, ккал/см	№ пластины	№ режима	Ориентировочное значение погонной энергии, ккал/см
1 и 2	I	1—3	5 и 6	IV	10—12
3	II	4—6	7	V	14—16
4	III	7—9	8	VI	18—20

После остывания торцы пластин шлифуют и протравляют 5%-ным раствором азотной кислоты для определения границы проплавления. Затем размечают и вырезают образцы так, чтобы предотвратить отпуск или перекристаллизацию металла; применять газовую или дуговую резку недопустимо. Количество и назначение образцов приведено в табл. 10.

При микроисследовании устанавливают тип микроструктуры на границе сплавления и в зоне максимальной твердости на расстоянии 0,5—1,0 мм от границы проплавления, а также исходную микроструктуру металла. Измеряют средний размер зерен аустенита в зоне максимального перегрева; границы зерен принимают по ферритной сетке или по ориентировке зерен мартенита. Измерение зерен выполняют в тех

10. Количество и назначение образцов

№ пластины	Загиб			Удар			Твердость и микроанализ		
	общее количество образцов	без термообработки	с термообработкой	общее количество образцов	без термообработки	с термообработкой	общее количество образцов	без термообработки	с термообработкой
1	5	5	—	14	10	4	2	1	1
2	6	—	6	14	10	4	1	—	—
3	5	5	—	5	5	—	1	1	—
4	5	5	—	5	5	—	1	1	—
5	5	5	—	14	10	4	1	—	1
6	6	—	6	14	10	4	1	—	1
7	5	5	—	5	5	—	1	1	—
8	5	5	—	14	10	4	2	1	1
9	6	—	6	14	10	4	1	—	1

случаях, когда их границы можно установить. Средний размер зерна аустенита (в мм) вычисляют по формуле

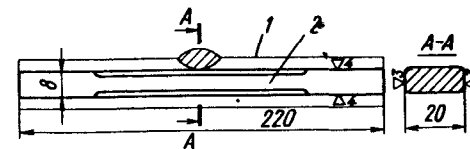
$$\mu_{\text{ср}} = \frac{d}{n}$$

где d — диаметр поля, видимого под микроскопом, мм; n — число зерен, расположенных по диаметру.

Твердость измеряют вдоль границы проплавления на расстоянии 0,5—1 мм от нее, а также по толщине металла. Измерение производят в точках, расположенных на расстоянии 2—2,5 мм одна от другой.

Рис. 23. Образец для испытания на статический изгиб:

1 — заготовка; 2 — образец



Затем образцы (рис. 23 и 24) испытывают на статический изгиб и ударную вязкость (по ГОСТ 9454—60 и 9456—60). Результаты испытаний оформляются в виде графиков, один из которых показан на рис. 25. Эти графики дают возможность выбирать режимы сварки, обеспечивающие заданные свойства.

Метод НИИ. Для испытания листовой стали толщиной до 15 мм от края листов вырезают вдоль проката шесть заготовок размером 300 × 45 мм. Заготовки поочередно устанавливают в зажимы стыковой сварочной машины при расстоянии между зажимами 65 мм и включают ток такой силы, чтобы средняя часть заготовок на длине 50 мм нагревалась до температуры 1320—1360° С за время не более 30 с. После охла-

ждения на воздухе из одной заготовки изготавливают образец для испытания на растяжение (рис. 26), а из другой — образец для испытания на изгиб.

После нормализации по режимам, принятым для стали данной марки, из остальных заготовок изготавливают аналогичные образцы

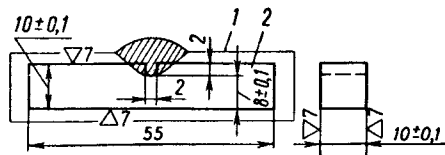


Рис. 24. Образец для испытания на ударную вязкость: 1 — заготовка; 2 — образец

(два — для испытания на растяжение и два — для испытания на загиб) и производят испытания всех шести образцов. Сопоставляя результаты испытаний на растяжение и загиб, определяют ориентировочно характер изменения свойств стали в околошовных участках (при дуговой сварке).

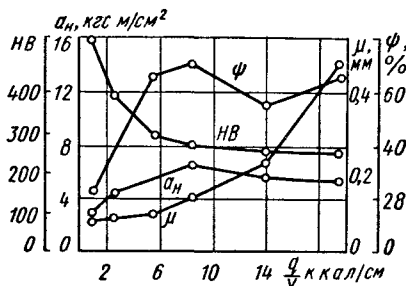


Рис. 25. График изменения свойств стали в зависимости от погонной энергии наплавки (углеродистая сталь с содержанием углерода 0,4%):

HV — твердость по Бринеллю;
 a_n — ударная вязкость; μ — величина зерна аустенита, мм;
 ψ — поперечное сужение, %

Для испытания стали толщиной более 15 мм вытачивают шесть заготовок диаметром $15 \pm 0,1$ мм и длиной 150 ± 1 мм. Заготовки нагревают до $1320-1360^\circ\text{C}$ в стыковой сварочной машине при расстоянии между зажимами 100 мм за время не более 10 с.

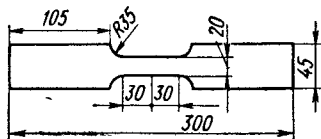


Рис. 26. Образец для испытания на растяжение

Из средней части охлажденных на воздухе (при расстоянии между образцами не менее 80 мм) заготовок изготавливают образцы и испытывают их, как указано выше.

На основании результатов испытания по методике НИИ стали делят на три класса: ХС — хорошей свариваемости; СС — средней свариваемости и ПС — плохой свариваемости.

Класс ХС — стали после нагрева и охлаждения настолько мало ухудшающие пластические свойства (удлинение, угол загиба и ударную вязкость), что они не выходят за нижние значения норм, предусмотренных ТУ или ГОСТами.

Класс СС — пластические свойства ниже нижнего предела, но восстанавливаются после термообработки до пределов минимальных требований ТУ или ГОСТов.

Класс ПС — аналогичен СС, но термообработка не восстанавливает механических свойств до пределов минимальных требований.

Недостаток методики НИИ заключается в том, что при испытаниях имитируют только тепловой режим сварки, все же остальные условия протекания сварочного процесса здесь не учитывают. Методика НИИ может быть рекомендована как предварительная.

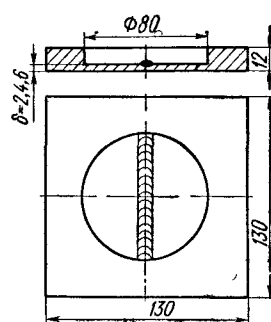


Рис. 27. Образец для испытания по методу Кировского завода

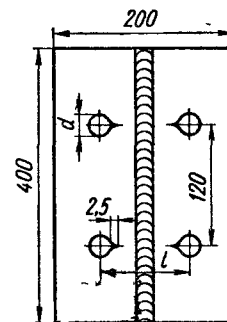


Рис. 28. Проба института электросварки им. акад. Е. О. Патона

Метод Кировского завода. В середине пластин (рис. 27) из испытуемой стали делают выточки диаметром 80 мм с тем, чтобы донья их имели толщину, равную 2, 4 и 6 мм. По диаметру выточек наплавляют валики при охлаждении наружной поверхности металла проточной водой. По результатам испытаний стали классифицируются по следующим четырем группам: первая группа — хорошо сваривающиеся стали, на которых не образуются трещины при наплавке с охлаждением водой, вторая группа — удовлетворительно сваривающиеся стали, на которых при наплавке с охлаждением водой образуются трещины, но трещины не появляются при охлаждении на воздухе; третья группа — ограниченно сваривающиеся стали, которые требуют для предупреждения образования трещин подогрева образца перед наплавкой до $100-150^\circ\text{C}$ и охлаждения на воздухе; четвертая группа — плохо сваривающиеся стали, которые требуют подогрева до температуры 300°C и выше.

Проба института электросварки им. академика Е. О. Патона. Образец для испытания металла на технологическую свариваемость представляет собой пластину размером 200×400 мм (рис. 28), имеющую четыре отверстия с треугольным надрезом глубиной 2,5 мм на всю

толщину пластины. Пластины двумя поперечными швами приваривают к швеллеру № 20. На пластине автоматом наплавляется продольный валик. Готовый образец замораживают углекислотой, после чего подвергают удару под 5-килограммовым копром. Образование трещин зависит от соотношения между величиной напряжений, создающихся на участке между каждой парой отверстий, и величиной хрупкой прочности металла. Известно, что поперечные напряжения при сварке значительно меньше продольных и что продольные напряжения, вызывающие поперечные трещины, имеют наибольшее значение у оси шва и уменьшаются по мере удаления от оси.

Для оценки пригодности стали, т. е. стойкости ее при пониженных температурах, могут быть приняты два критерия, влияющих на возникновение трещин в образце:

1) расстояние между осью шва и вершиной угла надреза; при этом изменяется расстояние, а температура, при которой производится испытание, остается постоянной; лучшей сталью признают ту, в которой трещины появляются при минимальном расстоянии между осью шва и вершиной угла надреза.

2) температура образца, при которой получается трещина; в этом случае расстояние между осью шва и вершиной угла надреза остается для всех температур неизменным. Лучшей сталью считают ту, в которой трещина появится при наиболее низкой температуре. Удобен второй критерий.

Исследование изменений структуры и механических свойств металлов при сварке на машине ИМЕТ-4. Существующие методы оценки свариваемости, основанные на определении степени изменения свойств металла в зоне термического влияния, позволяют оценить конечный результат теплового воздействия сварки на структуру и свойства основного металла.

В институте металлургии АН СССР разработан метод изучения изменений структуры и механических свойств основного металла в условиях термического цикла сварки и создана установка для этой цели. По методике исследования тонкие стержневые образцы, вырезанные из исследуемого металла, нагревают током, охлаждают в соответствии с заданным термическим циклом сварки и в различные моменты цикла подвергают быстрому разрыву. Нагрев образца регулируют изменением силы тока по заданной программе, а скорость охлаждения — опрыскиванием водой, обдувом газом или пропусканием через него тока небольшой силы.

Изменения структуры и механических свойств металла в условиях термического цикла изучают раздельно.

При изучении кинетики фазовых превращений, а также роста зерна образец размером $3 \times 5 \times 100$ мм зажимают в губках нагревателя и подвергают нагреву по заданному циклу (рис. 29).

В определенные моменты цикла (например, t_1 , t_2 и т. д.) губки нагревателя автоматически разжимаются, образец падает в бачок с водой и резко охлаждается. После шлифования и последующего специального травления образец подвергают металлографическому анализу. При этом оценивают фазовый состав и определяют размер зерна. Изменение температуры в центральном участке образца в процессе нагрева и охлаждения регистрируется термопарой и записью на ленте осциллографа; конечные изменения структуры и твердости металла исследуют обыч-

ными методами после нагрева и полного охлаждения образца по заданному термическому циклу.

Для исследования изменений механических свойств образец размером $3 \times 5 \times 150$ мм с двусторонней выточкой радиусом 5 мм (рис. 30) вставляют в захваты разрывной машины.

Образец нагревают по заданному циклу (см. рис. 29) и в определенные моменты времени (t_1 , t_2 и т. д.) подвергают разрыву с регистрацией на ленте осциллографа кривой изменения усилия и удлинения образца во времени. Совместная обработка этих кривых позволяет построить диаграмму «усилие — абсолютное удлинение образца» $P(\Delta l)$.

Такая методика дает возможность определять пределы прочности и текучести и относительное сужение и удлинение металла образца в условиях быстрого растяжения. Предел прочности σ_B и предел текучести σ_T определяют непосредственно из диаграммы $P(\Delta l)$, а относительное сужение ψ подсчитывают по данным обмера шейки в среднем сечении выточки образца до и после разрушения.

Исследование изменений σ_B и ψ образцов в условиях термического цикла показало, что для большинства исследованных марок стали характерен последовательный частичный распад аустенита в температур-

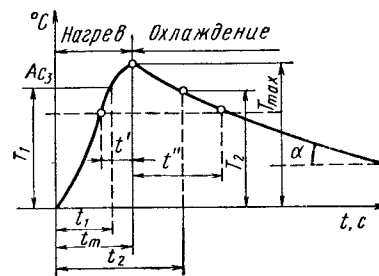


Рис. 29. Термический цикл сварки

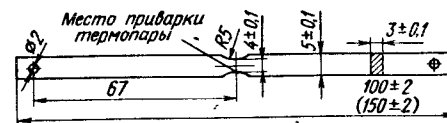


Рис. 30. Образец для исследования изменений механических свойств металла

ных интервалах перлитно-ферритного и игольчатого трооститного превращения. В результате воздействия растягивающих напряжений, величина которых резко возрастает по мере охлаждения металла при сварке, возникает опасность местных разрушений в околошовной зоне.

Для выбора рациональных режимов технологии сварки и уменьшения этой опасности необходимо знать характер, а также величины относительного изменения ψ и σ_B в указанных интервалах температуры в зависимости от параметров термического цикла (T_{max} , t' , t'' и скорости охлаждения металла околошовной зоны).

Эти данные позволяют также оценивать склонность металла к закалке и перегреву и выбрать оптимальные режимы сварки исходя из условий наиболее благоприятных изменений σ_B и ψ при охлаждении.

Методика оценки свариваемости металлов по изменению механических свойств и структуры околошовной зоны в условиях термического

цикла сварки, предложенная институтом металлургии им. А. Н. Байкова, позволяет изучать не только конечные изменения структуры и механических свойств околошовной зоны при сварке, но и кинетику процесса роста зерна и структурных превращений. Она может быть рекомендована для оценки свариваемости как существующих, так и новых изыскиваемых марок металла на самых ранних этапах их разработки.

Исследование свариваемости металла при сварке по методике ИМЕТ осуществляют на специальных машинах ИМЕТ-4.

Методика ЛТП 1-4 для определения склонности металла шва к образованию горячих и холодных трещин при сварке. В основу методики испытаний положена гипотеза проф. Прохорова Н. Н. межкристаллической прочности сплавов при сварке.

Согласно этой гипотезе горячие трещины образуются в температурном интервале хрупкости (ТИХ) данного свариваемого сплава. При этом вероятность образования горячих трещин определяется соотношением ТИХ, значением производной от деформации по температуре (т. е. скорость нарастания деформаций по мере снижения температуры) и величиной пластичности сплава в температурном интервале хрупкости.

Так как при сварке металлов поле напряжений является взаимно уравновешенным, то задача прочности здесь решается в деформациях, т. е. путем сопоставления значений пластичности металла в различных температурных условиях со значением деформаций, возникающих в околошовной зоне при сварке.

Образование горячих трещин в процессе сварки есть результат определенной взаимной зависимости между величиной упруго-пластической деформации, с одной стороны, и свойствами металла в определенных температурных условиях — с другой.

Следовательно, для определения пластических свойств металла в ТИХ в процессе сварки необходимо иметь возможность варить металл в различных условиях с точки зрения величины упруго-пластических деформаций. Способность металла претерпевать большую или меньшую величину упруго-пластических деформаций в процессе сварки без разрушения и является показателем его прочности.

Для изменения величины упруго-пластической деформации при испытании данного металла была предложена следующая методика исследования.

Образец, подвергаемый испытанию, имеет незначительную ширину — это при наложении сварного шва обуславливает минимальную величину внутренней упруго-пластической деформации самого образца. Однако образец испытывают не в свободном состоянии, а в условиях приложения к нему внешних сил. Внешние силы деформируют образец в процессе сварки с постоянной скоростью, причем скорость деформации в отдельных случаях может быть изменена путем изменения скорости перемещения головок машины, растягивающей образец.

Величина упруго-пластической деформации в наплавленном металле складывается из двух частей: из части, создаваемой жесткостью образца (эта часть остается неизменной, так как применяют образцы постоянного сечения) и части, создаваемой внешними силами (эта часть переменная, так как деформацию можно производить с различной скоростью).

Следовательно, сваривая различные образцы при различном значении деформации внешними силами, мы не имеем возможность изменить суммарное значение упруго-пластической деформации металла шва.

Первая составляющая внутренней деформации, обуславливаемая жесткостью образца, будет зависеть от теплофизических свойств испытуемого металла, т. е. от его коэффициента линейного расширения и температуропроводности. Значение этих параметров будет учтено в соответствии с их влиянием на величину внутренних деформаций при сварке.

Вторая составляющая деформации, обуславливаемая перемещением головок машины, в этой методике отражает влияние различных технологических факторов, определяющих величину деформаций при сварке.

Важнейшими из этих факторов являются: окружающая температура, распределенность источника тепла, величина погонной энергии, жесткость конструкции, последовательность сварки и т. п. Таким образом, скорость деформации в температурном интервале хрупкости является обобщенным фактором, эквивалентным влиянию различных технологических и конструктивных факторов. Испытания ведут в следующем порядке.

Берут несколько образцов из стали одной марки. Первый образец сваривают при некотором среднем значении скорости деформации, создаваемой машиной, после чего его обследуют для установления наличия или отсутствия трещин. При отсутствии трещин скорость увеличивают; при наличии трещин следующий образец испытывают при меньшей скорости. Таким образом устанавливают граничное значение скорости, которая является для данной стали критической.

Превышение этой скорости приводит к образованию трещин; при более низких значениях скорости трещины не появляются.

Машина ЛТП 1-4 предназначена для определения количественного показателя склонности металла сварного шва к образованию горячих трещин.

На машине ЛТП 1-4 можно испытывать стыковые и тавровые образцы, разрезные и неразрезные с наплавкой вдоль и перпендикулярно направлению деформации.

Определение сопротивляемости стали образованию холодных трещин при сварке производят с помощью испытательных машин и установок.

Машина ЛТП 2-5 предназначена для испытания тонколистовых плоских, круглых или восьмигранных образцов со стыковым швом, жестко закрепленных по контуру, постоянной длительно действующей распределенной нагрузкой. Испытания позволяют определить сопротивляемость различных зон сварного соединения образованию продольных и поперечных холодных трещин.

Машина ЛТП 2-3 предназначена для испытаний тавровых образцов из стали толщиной 6—20 мм с угловым сварным швом постоянной длительно действующей нагрузкой по схеме консольного изгиба.

Испытания позволяют определять сопротивляемость различным зонам сварного соединения образованию продольных холодных трещин.

Машина ЛТП 2-3 имеет пять одинаковых секций для одновременного испытания серии образцов при различных нагрузках. Она изготовлена в МВТУ им. Баумана и ЦНИИТмаше и в течение ряда лет ее используют для проведения испытаний.

КЛАССИФИКАЦИЯ СТАЛЕЙ ПО СВАРИВАЕМОСТИ. КРАТКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ

По свариваемости стали подразделяют на четыре группы: первая группа — хорошо сваривающиеся; вторая группа — удовлетворительно сваривающиеся; третья группа — ограниченно сваривающиеся; четвертая группа — плохо сваривающиеся.

Основные признаки, характеризующие свариваемость сталей, — склонность к образованию трещин и механические свойства сварного соединения.

К первой группе относятся стали, сварка которых может быть выполнена по обычной технологии, т. е. без подогрева до сварки и в процессе сварки и без последующей термообработки. Однако применение термообработки для снятия внутренних напряжений не исключается.

Ко второй группе относят в основном стали, при сварке которых в нормальных производственных условиях трещин не образуется. В эту же группу входят стали, которые для предупреждения образования трещин нуждаются в предварительном нагреве, а также в предварительной и последующей термообработке.

К третьей группе относят стали, склонные в обычных условиях сварки к образованию трещин. При сварке их предварительно подвергают термообработке и подогревают. Кроме того, большинство сталей, входящих в эту группу, подвергают обработке после сварки.

К четвертой группе относят стали, наиболее трудно поддающиеся сварке и склонные к образованию трещин. Эти стали свариваются ограниченно, поэтому сварку их выполняют с обязательной предварительной термообработкой, с подогревом в процессе сварки и последующей термообработкой.

Хорошо сваривающиеся углеродистые, низко- и среднелегированные стали. Условия сварки нормальные. Литые детали с большим объемом наплавленного металла рекомендуется варить с промежуточной термообработкой (отжиг или высокий отпуск по режиму термообработки для данной стали). Для конструкций, работающих под статической нагрузкой, термообработку после сварки не производят.

Для ответственных конструкций, работающих под динамическими нагрузками или при высокой температуре, термообработка производится в соответствии с техническими условиями. Детали с большим объемом наплавленного металла подлежат отжигу или высокому отпуску.

При сварке электродами Э42, Э42А, Э50, Э50А, Э55 (ГОСТ 9467—60) сварное соединение обрабатывают нормальным режущим инструментом. Свариваемость сталей по маркам приведена в табл. 11.

Удовлетворительно сваривающиеся углеродистые, низко- и среднелегированные стали. Термообработка стали до сварки различна в зависимости от марки стали и конструкции деталей. Для отливок из стали 30Л и 35Л обязателен отжиг. Детали машин из проката или из поковок, не имеющие жестких контуров, могут подвергаться сварке в термически обработанном состоянии (закалка и отпуск).

Сварка на морозе не допускается. Сварку деталей с большим объемом наплавленного металла, а также сварку усилительных вкладывшей рекомендуется производить с промежуточной термообработкой (отжиг или высокий отпуск). При заварке мелких раковин на деталях и элемен-

11. Свариваемость сталей

Свариваемость	ГОСТ или нормаль	Марка
<i>Углеродистые, низко- или среднелегированные стали</i>		
Хорошая	380—71 1050—60 ** 5520—69 4543—71 5058—65 * 977—65 *	Ст1кп, Ст1пс, Ст1сп, Ст2кп, Ст2пс, Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, Ст4кп, Ст4пс, Ст4сп, ВСт1кп, Ст1пс, ВСт1сп, ВСт2кп, ВСт2пс, ВСт2сп, ВСт3кп, ВСт3пс, ВСт3сп, ВСт4кп, Ст4пс, ВСт4сп 0,8; 10, 15, 20, 25, 15Г, 20Г 15К, 20К 15Х, 20Х, 20ХГСА, 12ХН2, 12Х2Н4А, 15НМ 10ХСНД (СХЛ-4) 15Л, 20Л
Удовлетворительная <i>сварка с прошивкой после сварки</i>	380—71 1050—60 ** 4543—71 * 977—65 * 5058—65 *	БСт5сп, ВСт5сп, ВСт5Гсп 30, 35 12Х2Н4А, 20ХН3А 30Л, 35Л 15ХСНД (СХЛ-1, НЛ-2)
Ограниченная <i>при подогреве до 70-200° после сварки т/о</i>	380—71 1050—60 ** 4543—71 5950—63 977—65 *	Ст6пс, Ст6сп, ВСт6пс, ВСт6сп 40, 45, 50 35ХМ, 30ХГС, 35СГ, 33ХС, 20Х2Н4А 5ХНМ 40Л, 45Л, 50Л
Плохая <i>после сварки т/о после сварки</i>	1050—60 ** 4543—71 14959—69 5950—63 977—65 * 1435—54 *	40Г, 45Г, 50Г, 60Г, 65Г, 70Г 50ХН 50ХГ, 50ХГА, 55С2, 55С2А, 55, 75, 85, 60С2, 60С2А 9Х 55Л У7, У8, У8Г, У9, У10, У11, У12, У13, У7А, У8А, У8ГА, У9А, У10А, У11А, У12А, У13А
<i>Легированные стали</i>		
Хорошая	5632—61	0Х20Н14С2 (ЭИ732), Х23Н18 (ЭИ417), 0Х18Н10 (0Х18Н9, ЭЯ0), Х18Н9Т (1Х18Н9Т, ЭЯ1Т)
Удовлетворительная <i>после прошивки</i>	Нормаль Кировского завода	9Х14А, 12Х14А
Ограниченная <i>после подогрева до 70-200° после сварки т/о</i>	5632—61 *	2Х18Н9 (ЭЯ2), Х18Н9 (1Х18Н9, ЭЯ1)

Продолжение табл. 11

Свариваемость	ГОСТ или нормаль	Марка
Плохая <i>неоднородно</i> <i>По мере сфер</i>	5952—63 * 5950—63	P18, P9 X12, X12M, X, 9X, 7X3, 8X3, 9XC, 4XC, Ф, 8XF, В1, 3X2B8Ф, 4XB2С, 5XB2С, ХВГ, 9ХВГ, 6ХВГ, 5ХНВ, ХВ5, 5ХГМ, 6ХВ2С

тах из углеродистой стали, содержащей углерода 0,35%, и при невозможности последующего отпуска завариваемую деталь подвергают местному подогреву.

Термообработка после сварки различна для разных марок стали.

Для отливок из стали 30Л и 35Л при заварке сквозных трещин и вварке усилительных вкладышей обязателен отжиг или высокий отпуск. При заварке мелких дефектов на углеродистой стали, содержащей углерода более 0,35%, для улучшения механических свойств и обрабатываемости термическую обработку ведут по режиму для данной стали. Для других сталей, сваренных в термически обработанном состоянии, обязателен отпуск с нагревом до температуры на 50—100° С ниже температуры отпуска стали. Для стали 27ГС, 20ХРС и других сталей, склонных к отпускной хрупкости, температура отпуска после сварки должна быть вне области температуры отпускной хрупкости.

Сварные соединения, выполненные электродами Э42, Э42А, Э50, Э50А, Э55, можно обрабатывать нормальным режущим инструментом при условии, если содержание углерода в углеродистой стали не превышает 0,35% и объем наплавленного металла не меньше 20×20×10 мм.

Металл, наплавленный электродами ЦЛ-2, ЦЛ-4 (ГОСТ 10052—62*), обрабатывают твердосплавным инструментом.

Ограниченно сваривающиеся углеродистые низко- и среднелегированные стали. Для отливок из стали ЛХН2 и 50Л до сварки обязателен отжиг независимо от конфигурации отливки. Мелкие дефекты допускаются заваривать в термически обработанном состоянии отливки. Для деталей машин из проката или из поковок, не имеющих особо жестких контуров и жестких узлов, допускается заварка в термически обработанном состоянии (закалка и отпуск).

Тепловой режим сварки следующий. Без предварительного подогрева, можно сваривать в случаях, когда сварные соединения не имеют жестких контуров, толщина металла не более 15 мм, температура окружающего воздуха не ниже 5° С, а сварные соединения имеют вспомогательный характер. Во всех других случаях обязателен предварительный подогрев до температуры 200° С.

Термообработка после сварки имеет следующие особенности.

При заварке крупных дефектов на деталях из стали ЛХН2 требуется термообработка по режиму для данной стали. После заварки мелких дефектов в термически обработанной отливке обязателен повторный отпуск по режиму для данной стали. Для всякой другой стали рассматриваемой группы, сваренной в термически обработанном состоянии, обязателен отпуск для снятия напряжений с нагревом до температуры

на 50—100° С ниже температуры отпуска стали. Для стали 30ХГСА и других сталей, склонных к отпускной хрупкости, температура отпуска после сварки должна быть вне области отпускной хрупкости.

При сварке электродами Э42, Э42А, Э50, Э50А, Э55 сварные соединения обрабатываются без затруднений, если деталь подвергнута отпуску при температуре не ниже 550—650° С.

Плохо сваривающиеся углеродистые низко- и среднелегированные стали. Сталь перед сваркой должна быть отожжена. Независимо от толщины свариваемых элементов и типа сварного соединения сталь необходимо предварительно подогреть до температуры не ниже 200° С.

Термообработку после сварки производят по специальной инструкции в зависимости от марки стали и ее назначения.

Механическая обработка сварного соединения возможна только после отжига или высокого отпуска.

Хорошо сваривающиеся легированные стали. Термообработку до сварки не производят. При значительном наклепе металл необходимо закалить до температуры 1050—1100° С. Тепловой режим сварки нормальный. Термообработку после сварки не производят.

Механическая обработка сварных соединений ввиду высокой вязкости большинства сталей рассматриваемой группы затруднена.

Удовлетворительно сваривающиеся легированные стали. Рекомендуется до сварки применять отпуск при температуре 650—710° С с охлаждением на воздухе. Тепловой режим сварки нормальный.

На морозе сварка не допускается. Предварительный подогрев до 150—200° С необходим лишь при сварке элементов с толщиной стенок более 10 мм.

После сварки для снятия напряжений и снижения твердости околосшовной зоны, особенно при сварке электродами из стали 0Х14А, рекомендуется заваренные детали подвергать отпуску при температуре 650—710° С с охлаждением деталей на воздухе.

При сварке электродами ЦЛ-2 и ЦЛ-4 термообработку производят по специальному режиму. Механическая обработка возможна только после термообработки по специальному режиму.

Ограниченно сваривающиеся легированные стали. Термообработка до сварки для различных сталей различна. Для сталей 18Х14А и СХНА обязателен отпуск при температуре 650—710° С с охлаждением на воздухе. Для других сталей рекомендуется закалка в воде от температуры 1050—1100° С.

При сварке для сталей 18Х14А, СХНА, Х25Н13Л обязателен предварительный подогрев до температуры 200—300° С. Сталь 9Х19НА, Х18Н9 и 2Х18Н9 сваривают в нормальных условиях с минимальным разогревом и минимальной скоростью охлаждения металла шва и зоны термического влияния.

После сварки для снятия напряжений и понижения твердости металла сварного соединения детали из стали 18Х14А должны подвергаться отпуску при температуре 650—710° С. Для стали 9Х19НА, Х18Н9, 2Х18Н9 обязательна закалка в воде от температуры 1050—1100° С.

Механическая обработка сварного соединения из стали 18Х14А возможна только после отпуска. Для всех других сталей обрабатываемость сварного соединения — на уровне основного металла.

Плохо сваривающиеся легированные стали. До сварки рекомендуется отпуск по определенным режимам для различных сталей.

Допускается сварка инструментальной стали в термически обработанном состоянии, если шов наплавляется не на режущую часть инструмента.

Для стали Г13Л обязательна закалка. При сварке обязателен предварительный подогрев до 200—300°С, за исключением сталей РФ18 и Р9, подогрев которых должен быть не ниже 600°С. Сварка стали Г13Л в состоянии закалки должна производиться без подогрева.

Термообработку после сварки выполняют по специальным инструкциям в зависимости от марки стали и назначения. Для стали Г13Л термообработка не требуется.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Багрянский К. В., Добротина З. А. и Хренов К. К. Теория сварочных процессов Харьков, Харьковский университет, 1968, с. 395—486.
- 2 Петров Г. Л., Тумарев А. С. Теория сварочных процессов М., «Высшая школа», 1967, с. 470—495.
- 3 Степанов В. В., Кириллов А. А. Руководящие материалы по сварке трехфазной дугой. Свердловск, Машгиз, 1954, с. 79—95.
- 4 Шоршоров М. Х., Чернышова Т. А., Красовский А. И. Испытания металлов на свариваемость. М., «Металлургия», 1972. с. 11—236.

ГЛАВА 4

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СВАРОЧНАЯ ДУГА

Сварочная дуга представляет собой электрический дуговой разряд в ионизированной смеси газов, паров металлов и компонентов, входящих в состав электродных покрытий, флюсов и других средств.

Физические и электрические свойства сварочной дуги. Для возникновения электрического разряда газовый промежуток между электродами должен быть ионизирован. Процесс ионизации протекает в следующем порядке. При соприкосновении торца электрода и свариваемого изделия выступы шероховатых поверхностей мгновенно разогреваются током до температуры плавления и испарения вследствие большого омического сопротивления контакта. После отрыва электрода от изделия разогретый торец электрода (отрицательный полюс) начинает испускать электроны, устремляющиеся к аноду под действием разности потенциалов между электродами. При столкновении с электродными частицами металлов, которые в виде паров имеются в межэлектродном промежутке, электроны ионизируют их. Ионизация мгновенно охватывает весь межэлектродный промежуток, и он становится электропроводным. В процессе горения дуги ионизация поддерживается благодаря высокой температуре.

Напряжение на дуге равно сумме падений напряжений в трех ее основных (рис. 31) областях:

$$U_d = U_k + U_c + U_a = f(I_d),$$

где U_d — напряжение на дуге, В; U_k — падение напряжения на катодной оболочке, В; U_c — падение напряжения в столбе дуги, В; U_a — падение напряжения на аноде, В; I_d — сила тока в дуге.

Зависимость напряжения дуги от силы сварочного тока называют статической (вольтамперной) характеристикой дуги.

В общем виде статическая характеристика дуги показана на рис. 32. При малых значениях силы тока в электроде (область I) статическая характеристика дуги падающая. При средних значениях силы тока (при ручной и автоматической дуговой сварке под флюсом) напряжение на дуге не зависит от силы тока (область II, жесткая характеристика). В этом случае с достаточной точностью статическая характеристика может быть выражена уравнением

$$U_d = a + b l_d,$$

где l_d — длина дуги, мм; a , b — постоянные коэффициенты, зависящие от материала электродов, давления и свойств газовой среды.

Из этого уравнения следует, что напряжение на дуге, при всех прочих равных условиях, будет зависеть от длины столба дуги.

Возрастающая статическая характеристика дуги (область III, см. рис. 32) получается при большой силе тока (при автоматической сварке под флюсом или при сварке в среде защитных газов).

Сварочная дуга переменного тока. Вследствие того, что мгновенные значения переменного тока 100 раз в секунду переходят через нуль, причем меняет также свое местонахождение катодное пятно, являющееся источником вылета электронов, ионизация дугового промежутка получается менее стабильной и сварочная дуга менее устойчива, при прочих равных условиях, по сравнению с дугой постоянного тока.

Если дуга включена в цепь переменного тока последовательно с активным сопротивлением, то мгновенные значения напряжения

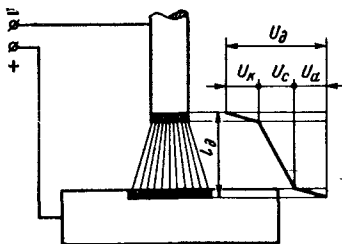


Рис. 31. Распределение падения напряжения в дуге

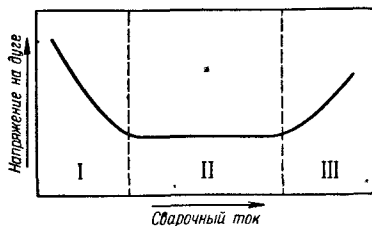


Рис. 32. Общий вид статической характеристики дуги

источника и сварочного тока совпадают по фазе. В каждый полупериод дуга угасает и вновь зажигается (восстанавливается) через некоторый промежуток времени, пока напряжение источника тока поднимается до некоторой величины, называемой напряжением повторного зажигания.

Зажигание дуги характеризуется началом прохождения тока в сварочной цепи. В каждый полупериод имеется перерыв в прохождении тока при угасаниях дуги. Эти перерывы называют временами угасания дуги. Момент угасания происходит при несколько меньшем мгновенном значении напряжения источника, чем в момент зажигания, для которого требуются более высокие значения для получения ионизации остывшего промежутка. Время угасания дуги зависит от максимального значения напряжения зажигания дуги и частоты переменного тока.

Время восстановления дуги снижается при повышении напряжения холостого хода и при использовании повышенных частот. Это время уменьшается также и при снижении напряжения зажигания. Из указанных мер повышения устойчивости горения дуги наиболее распространено снижение напряжения зажигания, чего достигают применением электродов с ионизирующими обмазками.

Величина напряжения зажигания зависит от целого ряда факторов, в первую очередь от величины силы тока дуги. С увеличением силы сварочного тока напряжение зажигания дуги снижается.

Для сварки открытой дугой напряжение зажигания U_3 и напряжение горения дуги U_d имеют следующую зависимость:

$$U_3 = (1,3 \div 2,5) U_d.$$

При сварке на больших силах тока под флюсом напряжение зажигания почти равно напряжению горения дуги.

Повышение напряжения холостого хода источника питания ограничено правилами техники безопасности, а использование высоких частот требует применения специальной аппаратуры. Общепринятой мерой повышения стабильности сварочной дуги переменного тока является включение в сварочную цепь катушек со стальным сердечником (дросселей), которые позволяют вести сварочные работы металлическими электродами при напряжении сварочного трансформатора порядка 60—65 В и стандартной частоте. При этом в обмазке электродов должно быть достаточное количество ионизирующих компонентов.

Требования к источникам питания сварочной дуги. Свойства источника питания определяются его внешней характеристикой, которая представляет собой зависимость изменения напряжения источника от силы тока нагрузки.

Свойства потребителя, которым при сварке является дуга, характеризуются также зависимостью изменения напряжения на дуге от потребляемого тока.

Устойчивость горения дуги зависит от соответствия формы внешней характеристики источника заданной форме статической характеристики дуги.

Внешняя характеристика источника питания, как и характеристика дуги, может быть падающей, жесткой или возрастающей.

Для ручной дуговой сварки и автоматической сварки под слоем флюса с автоматическим регулированием напряжения на дуге, когда статическая характеристика дуги жесткая (рис. 33, кривая 1), внешняя характеристика источника питания должна быть крутопадающей (кривая 2). Чем больше крутизна падения внешней характеристики в рабочей части (рис. 33, точка К), тем меньше колебания тока при изменении длины дуги. При таких характеристиках напряжение холостого хода источника питания всегда больше напряжения на дуге ($U_0 > U_d$), что облегчает первоначальное и повторные зажигания дуги, особенно при сварке на переменном токе. Кроме того, при крутопадающей внешней характеристике ограничивается сила тока короткого замыкания, которая по отношению к рабочей силе тока находится в пределах

$$1,25 < \frac{I_k}{I_d} < 2.$$

При автоматической сварке под флюсом с саморегулированием дуги, когда статическая характеристика дуги также жесткая, внешняя характеристика источника питания для повышения интенсивности саморегулирования должна быть пологопадающей (рис. 33, кривая 3).

При сварке в среде защитных газов на постоянном токе при большой плотности тока в электроде статическая характеристика дуги возрастающая (рис. 34, кривая 1). В этом случае внешняя характеристика источника для еще большей интенсивности саморегулирования может быть жесткой или возрастающей (кривые 2 и 3).

Источники питания сварочной дуги должны обеспечивать возможность настройки различных режимов сварки, которая заключается в установлении оптимальной величины силы тока при заданном напряжении дуги. Для этой цели источник питания должен иметь регу-

лирующее устройство, обеспечивающее получение в определенном диапазоне регулирования несколько внешних характеристик, которые должны обеспечивать устойчивое горение дуги при заданном напряжении и силе тока.

Наиболее распространенным способом настройки режима сварки является комбинированное регулирование. Оно заключается в том, что весь диапазон регулирования по силе тока разбивают на ряд ступеней — грубое регулирование, а в пределах каждой ступени осуществляют плавное регулирование.

При изменении ступеней напряжение холостого хода источника питания может оставаться постоянным или несколько изменяться

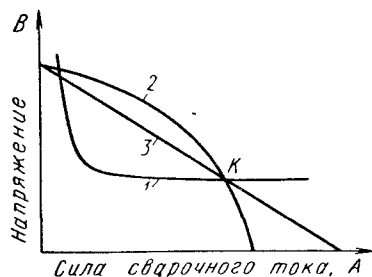


Рис. 33. Падающие (кривые 2 и 3) внешние характеристики источника питания при жесткой (кривая 1) статической характеристике дуги

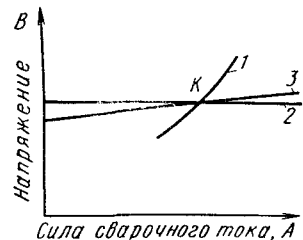


Рис. 34. Жесткая (кривая 2) и возрастающая (кривая 3) внешние характеристики источника питания при возрастающей (кривая 1) статической характеристике дуги

в зависимости от величины устанавливаемой силы сварочного тока. При этом необходимо учитывать, что при переходе на малые величины силы тока нежелательно снижать напряжение холостого хода источника питания.

Каждый источник питания рассчитывают на определенную нагрузку, при которой он работает, не перегреваясь выше допустимых норм. Силу тока и напряжение источника, при которых он работает в данном режиме не перегреваясь, называют номинальными.

Номинальная сила сварочного тока различна при различном режиме работы источника питания дуги. Режим работы характеризуется отношением длительности сварки к сумме длительности сварки и холостого хода, выраженной в процентах. Обычно режим работы источников тока при дуговой сварке обозначают знаком ПР% или ПВ%:

$$\text{ПР}\% = \frac{t_{\text{св}}}{t_{\text{св}} + t_{\text{п}}} \cdot 100,$$

где $t_{\text{св}}$ — время сварки;
 $t_{\text{п}}$ — время пауз.

Понятно, что чем больше ПР%, тем тяжелее режим работы и тем меньше должна быть номинальная сила сварочного тока.

За номинальный режим работы однофазных сварочных генераторов, трансформаторов и выпрямителей принят режим при ПР = 65% или 60% и многопостовых источников питания — при ПР = 100%.

Длительность рабочего цикла ($t_{\text{св}} + t_{\text{п}}$) в этих случаях принимают 5 мин. Номинальный режим работы источников для автоматической сварки с номинальной силой тока 500 и 1000 А принят ПВ = 60% и установок с номинальной силой тока 2000 А — при ПВ = 50%. В этих случаях продолжительность цикла принята 10 мин.

Помимо указанных основных требований, общих для всех источников питания, к сварочным генераторам постоянного тока предъявляют специальные требования в отношении динамических свойств, под которыми принимают способность источника питания быстро восстанавливать в цепи дуги соответствие напряжения изменившейся силе тока (при разрыве дуги напряжение должно быстро восстанавливаться до величины напряжения холостого хода, а при коротком замыкании электродов должно быстро спадать до нуля).

Время восстановления напряжения от нуля до величины напряжения горения дуги у сварочных генераторов не должно превышать 0,03 с.

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Основными источниками питания для сварки на переменном токе являются сварочные трансформаторы.

Сварочные трансформаторы подразделяют на две основные группы. К первой группе относят трансформаторы с нормальным магнитным рассеянием и дополнительной реактивной катушкой — дросселем. Дроссель может иметь с трансформатором как общий (трансформаторы со встроенным дросселем), так и отдельный (трансформаторы с отдельным дросселем) магнитопровод. Ко второй группе относят трансформаторы с повышенным магнитным рассеянием. По способу регулирования индуктивного сопротивления трансформаторы второй группы можно разделить на три основных типа: трансформаторы с магнитными шунтами, трансформаторы с подвижными катушками и трансформаторы с витковым (ступенчатым) регулированием.

Трансформаторы первой группы (типа СТЭ и СТН) не приведены, так как они считаются устаревшими и серийно в СССР заводами электромашиностроения не выпускаются.

Трансформаторы с повышенным магнитным рассеянием. К трансформаторам с магнитными шунтами относят трансформаторы типа СТАН, ОСТА и СТШ.

Трансформаторы СТАН и ОСТА промышленность не выпускает.

Трансформаторы типа СТШ, разработанные институтом электро-сварки им. Е. О. Патона, выполнены с развитым (повышенным) магнитным рассеянием, регулируемым подвижными шунтами с помощью ходового винта. Трансформаторы этого типа изготовляет серийно Каховский завод электросварочного оборудования.

Конструкция трансформатора СТШ-500 показана на рис. 35. Магнитопровод 1 стержневого типа собран из листового стали Э42 толщиной 0,5 мм. Катушки вторичной обмотки 4 выполнены из голый алюминиевой шины, намотанной на ребро. Катушки первичной обмотки 2 изготовлены из алюминиевого провода. Катушки первичной и вторичной обмоток, расположенные на разных стержнях, соединены между собой параллельно. Выводы обмоток и соединительные шины армированы медными накладками. Между витками катушек проложены асбестовые прокладки.

Силу сварочного тока регулируют изменением положения магнитного шунта *З* в окне магнитной системы.

Указатель величины силы сварочного тока соединен с одним из шунтов.

Внешняя характеристика трансформатора падающая.

В трансформаторе СТШ-500-80 напряжение холостого хода повышено до 80 В. Для расширения пределов регулирования силы тока внутри кожуха трансформатора установлен переключатель, с помощью которого катушки первичной и вторичной обмоток можно соединить последовательно или параллельно.

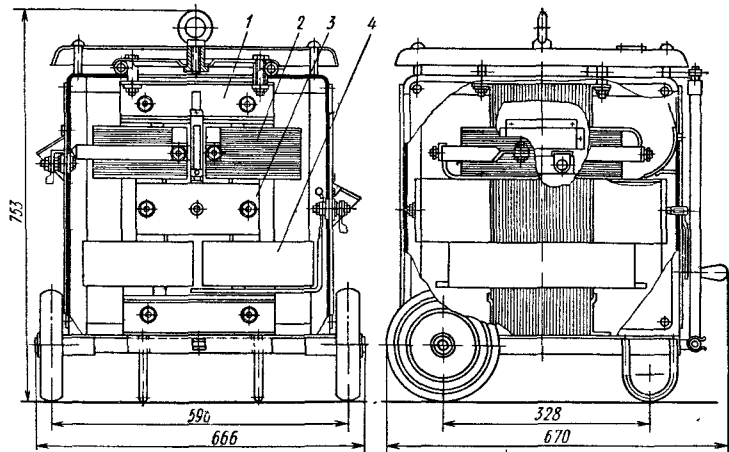


Рис. 35. Трансформатор СТШ-500:

1 — магнитопровод; 2 — первичная обмотка; 3 — магнитный шунт, 4 — вторичная обмотка

При параллельном соединении обмоток напряжение горения дуги 25 В, при последовательном — 50 В.

Трансформатор имеет устройство, обеспечивающее отключение первичной обмотки от сети через 0,5—1 с после прекращения процесса сварки.

Сварочные трансформаторы с подвижными катушками типа ТС, ТСК и ТД предназначены для питания электрической дуги при ручной дуговой сварке, резке и наплавке металлов однофазным переменным током частотой 50 Гц.

Трансформаторы этого типа являются однопостовыми; каждый из них может быть использован для питания одного сварочного поста. Магнитное рассеяние у них регулируют изменением расстояния между первичной и вторичной обмотками.

Вторичное напряжение трансформаторов несколько зависит от расстояния между катушками: напряжение холостого хода при сдвинутых катушках больше, при раздвинутых — меньше.

Общий вид трансформаторов ТС-300 и ТС-500 показан на рис. 36.

Обмотки трансформатора выполнены из алюминия. Выводные концы катушек армированы медными накладками.

Сердечник трансформатора — стержневого типа. Катушки первичной обмотки неподвижны и закреплены у нижнего яра. Катушки вторичной обмотки подвижные, они перемещаются вверх и вниз вручную

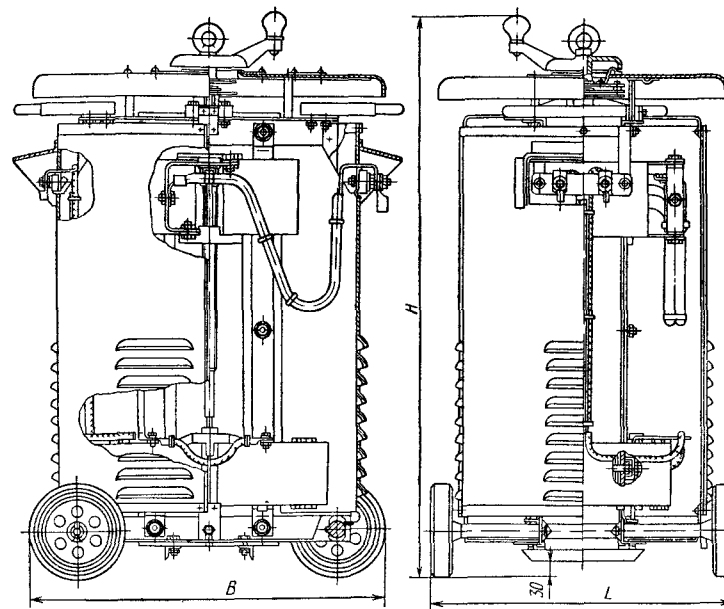


Рис. 36. Трансформаторы ТС-300 и ТС-500

с помощью винта, проходящего через верхнее яро. Сила сварочного тока увеличивается при сближении обмоток и уменьшается при увеличении расстояния между ними.

При нормальных значениях силы тока катушки первичных и вторичных обмоток, сидящие на разных стержнях, соединены между собой параллельно. При снижении пределов регулирования силы тока они могут быть соединены между собой последовательно, хотя специального переключателя для этой цели нет.

Трансформаторы ТСК отключаются от трансформаторов ТС наличием конденсаторов, включенных параллельно первичным обмоткам и обеспечивающих повышение коэффициента мощности ($\cos \phi$).

Сварочные трансформаторы типа ТД-504 и ТД-303 являются усовершенствованными конструкциями трансформаторов типа ТС-500 и ТС-300.

У трансформаторов ТД-504 и ТД-303 уменьшены вес и габариты, повышены технологичность конструкции, удобство обслуживания и надежность работы.

Уменьшение веса и габаритов достигнуто благодаря применению двухдиапазонного плавного регулирования силы тока:

а) в диапазоне большой силы тока обе катушки первичной и вторичной обмоток включаются попарно параллельно;

б) в диапазоне малой силы тока катушки первичной и вторичной обмоток одного стержня магнитопровода отключаются с одновременным блокированием хода подвижных катушек. Включение и отключение катушек одного стержня производят переключателем, смонтированным внутри трансформатора. Схема соединения (параллельное соединение) катушек первичной и вторичной обмоток трансформатора приведена на рис. 37.

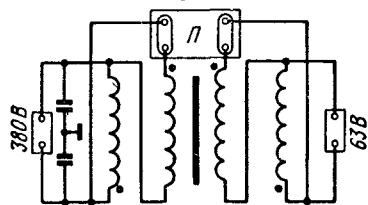


Рис. 37. Электрическая схема сварочного трансформатора типа ТД-303; П — переключатель диапазонов силы тока

Сварочный трансформатор, предназначенный для строительных работ, должен быть заключен в жесткий кожух, обладать возможностью дистанционного регулирования сварочного тока, иметь небольшой вес и габариты.

Во ВНИИЭСО на базе трансформатора типа ТД-303 разработаны сварочный трансформатор типа ТД-301 с приставкой дистанционного регулирования силы сварочного тока, которая размещается на крышке кожуха трансформатора. Дистанционное регулирование силы тока осуществляется по сварочному кабелю, без применения дополнительных проводов, что обеспечивает большое удобство в работе сварщика. Подключение кабеля и сетевых проводов осуществляют без применения гаечного ключа.

Обмотки трансформатора выполнены из алюминиевого провода и имеют влагостойкую изоляцию. Сердечник трансформатора выполнен из холоднокатаной стали марки Э320.

Трансформатор ТД-301 может поставляться также и без приставки. Для сварки в монтажных условиях нашей промышленностью выпускается трансформатор типа ТСП-1 с витковым (ступенчатым) регулированием силы тока.

Трансформатор рассчитан на относительно кратковременную работу от ПР = 20% при максимальной силе тока 180 А до ПР = 50% при минимальной силе тока 105 А.

У трансформатора ТСП-1 на одном стержне сердечника находится, как показано на схеме (рис. 38), вся первичная обмотка и небольшая часть вторичной обмотки. На втором стержне размещена основная часть вторичной обмотки.

за счет ступенчатого регулирования магнитной связи обмоток при помощи пластинчатого переключателя и присоединения одного из сварочных кабелей к клеммам 2 или 3.

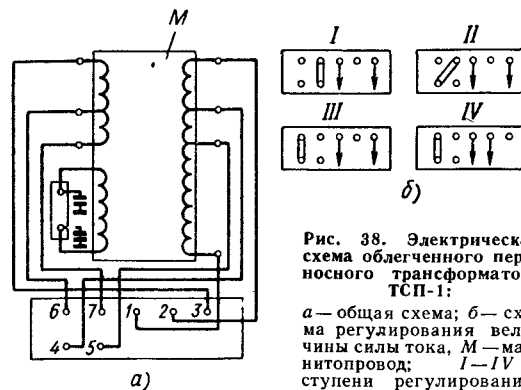


Рис. 38. Электрическая схема облегченного переменного трансформатора ТСП-1:

а — общая схема; б — схема регулирования величины силы тока; М — магнитопровод; I—IV — ступени регулирования; 1—7 — клеммы

Для уменьшения веса трансформатор выполнен из высококачественных материалов — магнитопровод из холоднокатаной стали, а обмотки из алюминиевых проводов с теплоустойчивой стеклянной изоляцией. Катушки пропитаны лаком повышенной теплоустойчивости.

Для тех же целей, что и трансформатор ТСП-1 во ВНИИЭСО разработан трансформатор типа ТСП-2 на силу тока 300 А. Подобно трансформаторам ТС, ТСК и ТД трансформатор ТСП-2 имеет подвижные катушки. Сила сварочного тока регулируется изменением индуктивного сопротивления рассеяния обмоток двумя способами: переключением вторичной обмотки — ступенчатое регулирование и изменением расстояния между обмотками на каждой ступени — плавное регулирование.

Ступени регулирования сварочного тока: ступень большой силы тока (140—300 А) — замкнуты контакты 1, 2 (рис. 39) и катушки вторичной обмотки включены параллельно, ступень малой силы (90—140 А) — контакты 1, 2 разомкнуты и одна катушка вторичной обмотки отключена.

Переключение катушек вторичной обмотки трансформатора осуществляют перемычкой на клеммной доске.

Обмотки трансформатора выполнены из алюминиевого провода со стеклянной изоляцией и пропитаны теплоустойчивым и влагостойким лаком. Сердечник выполнен из холоднокатаной стали марки Э320.

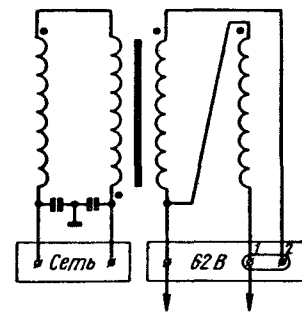


Рис. 39. Электрическая схема трансформатора ТСП-2

12. Сварочные трансформаторы с увеличенным магнитным рассеянием

Тип	Напряжение питающей сети, В	Вторичное напряжение, В	Номинальный режим работы, ПР %	Номинальная сила сварочного тока, А	Пределы регулировки силы сварочного тока, А	К. п. д., %	Габаритные размеры, мм			Масса, кг
							Длина	Ширина	Высота	
СТШ-250	380	61	20	250	80—260	73	420	310	425	44
СТШ-300	380, 220	63		300	110—405	88	545	695	707	158
СТШ-500	380	60	60	500	145—650	90	670	666	753	220
СТШ-500-80	380	80		500	60—800	92	980	765	766	323
ТС-120	380, 220	68	65	120 300 500 300	50—160	80	650	340	880	90
ТС-300	380, 220	68		300	110—385	84	760	520	970	185
ТС-500	380	60		500	165—650	85	840	575	1060	250
ТСК-300	380	63		300	110—385	84	760	520	970	215
ТСК-500	380, 220	60		500	165—650	85	840	575	1060	280
ТД-504		—	50	—	165—650	86	—	—	—	195
ТД-503		—		300	110—385	85	—	—	—	120
ТД-301	380, 220	—		—	120—350	86	—	—	—	142*
ТСП-2		62	20	—	90—300	76	510	370	59С	63
ТСП-1		65—70	20—50	160	105—180	75	—	—	—	35

* С приставкой дистанционного регулирования, без приставки 124 кг.

На максимальной силе тока 300 А трансформатор можно использовать для кратковременной работы только при ПР = 20%.

На силе тока менее 300 А длительность работы (ПР) можно увеличить.

Основные технические данные сварочных трансформаторов с повышенным рассеянием приведены в табл. 12.

ТРАНСФОРМАТОРЫ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ И ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ ПОД ФЛЮСОМ

Трансформаторы этого назначения должны иметь не менее двух ступеней изменения напряжения холостого хода, причем высший предел для трансформаторов на 500 А принимают 90 В, а для трансформаторов на 1000 и 2000 А — 80 В; сила тока холостого хода должна составлять не более 10% номинальной силы регулированием первичного тока; управление режимов сварки должно производиться с помощью электродвигателя с дистанционной кнопочной системой.

Технические характеристики трансформаторов для автоматической сварки под флюсом приведены в табл. 13.

Трансформаторы типа ТСД в однокорпусном исполнении выпускают по схеме трансформатора СТН со встречным включением реактивной обмотки. Подвижный пакет перемещается электроприводом с дистанционным управлением.

13. Трансформаторы для автоматической дуговой сварки под слоем флюса

Тип	Первичное напряжение, В	Вторичное напряжение, В	Номинальный режим работы, ПР %	Номинальная сила сварочного тока, А	Пределы регулировки силы сварочного тока, А	Габаритные размеры, мм			Масса, кг
						Высота	Длина	Ширина	
ТСД-500, ТСД-500-1	220, 380	80	60	500	200—600	1242	950	818	445
ТСД-1000-3, ТСД-1000-4	220, 380	71—78	60	1000	400—1200	1215	950	818	540
ТСД-2000-2	220, 380	79—85	60	2000	800—2200	1382	950	818	670
СТ-1000	220, 380	57—76	60	1000	300—1200	1765	1115	1015	700
СТ-2000	380	80—109	—	2000	600—2000	2040	800	750	950
СТР-1000	380	80	—	1000	450—1000	1385	1176	786	900
СТР-1000-П	380	80	—	1000	450—1000	1752	850	850	800*
СТДН-2000	380	81,5; 91; 99,5	60	2000	600—2000	1900	1400	910	—

* Без масла, с маслом 1000 кг.

Регулирование и настройку трансформатора при автоматической сварке производят по силе сварочного тока или напряжению дуги в зависимости от типа сварочной головки. При сварке головками с автоматическим регулированием напряжения дуги регулируют силу сварочного тока; при сварке головками с постоянной скоростью подачи электродной проволоки, когда сила сварочного тока поддерживается саморегулированием, регулируют напряжение на дуге. Сила тока в этом случае регулируется изменением скорости подачи электродной проволоки.

Трансформаторы СТ-1000 и СТ-2000 выполнены по схеме СТН. Режим регулируют перемещением по вертикальному направлению П-образного верхнего сердечника, имеющего два воздушных зазора. Магнитная связь между собственно трансформатором и дросселем незначительна, поэтому напряжение холостого хода практически не меняется. Трансформатор СТ-1000 имеет пять ступеней изменения напряжения холостого хода, трансформатор СТ-2000 — три ступени, причем третья ступень предназначена для работы в случае снижения напряжения сети более чем на 10%. Изменение ступеней осуществляется со стороны вторичных обмоток.

Трансформаторы СТ-1000 и СТ-2000 предназначены для автоматической сварки под слоем флюса на средних и больших силах тока.

Трансформаторы СТР-1000 и СТР-1000-П, разработанные институтом электросварки АН УССР, выпущены небольшими партиями для автоматической сварки под флюсом на силу тока 450—1000 А. Это — однофазные трансформаторы с подвижными первичными обмотками. Особенностью этих трансформаторов является то, что они автоматически поддерживают режим сварки при изменении напряжения питающей сети. Трансформаторы имеют принудительное воздушное охлаждение.

По сравнению с трансформаторами ТСД-1000 (той же мощности) они более сложны в изготовлении, требуют больших затрат активных материалов, имеют большую массу и стоимость.

Трансформатор СТДН-2000 Института электросварки АН УССР предназначен для автоматической дуговой сварки под флюсом с повышенной скоростью.

Трансформатор однофазный, в двухкорпусном исполнении. Состоит из основной части (трансформатора) и регулирующего устройства (дросселя насыщения).

Трансформатор имеет падающую внешнюю характеристику вследствие развитого магнитного рассеяния, регулируемого дистанционно при помощи магнитного усилителя с обратной связью. Обмотки трансформатора алюминиевые. Охлаждение воздушное принудительное от встроенного вентилятора.

Напряжение сварки изменяют переключением перемычек в первичной и вторичной цепях.

Плавное регулирование силы сварочного тока осуществляется дросселем насыщения Дн (рис. 40), встроенным в трансформатор. Изменение магнитного сопротивления сердечника дросселя производится за счет подмагничивания сердечника магнитным потоком дополнительной обмотки, питаемой постоянным током и называемой обмоткой управления ОУ.

При увеличении силы тока в обмотке ОУ увеличивается магнитное сопротивление сердечника дросселя, что вызывает уменьшение индук-

ционного сопротивления обмоток переменного тока дросселя и увеличение силы сварочного тока. Питание обмотки управления постоянным током производится от полупроводникового (селенового) выпрямителя.

Трансформаторы для сварки трехфазной дугой. Для питания трехфазной дуги могут быть использованы обычные стандартные однофазные сварочные трансформаторы как с отдельным, так и со встроенным дросселем, а также трансформаторы с увеличенным магнитным рассеянием.

Для этой цели однофазные трансформаторы включают в цепь по схеме треугольника и звезды, неполной звезды и открытого треугольника.

Заводом «Электрик» для ручной сварки трехфазной дугой был разработан специальный трансформатор ТТС-400, состоящий из двух трансформаторов типа СТН, размещенных в одном корпусе.

Специальный трансформатор типа 3-СТ для ручной трехфазной сварки был также разработан в Уральском политехническом институте им. С. М. Кирова.

Для автоматической сварки трехфазной дугой под флюсом небольшой партией ранее был выпущен трансформатор ТТСД-1000-3. Он выполнен из двух однофазных трансформаторов ТСД-1000-3, собранных в одном корпусе.

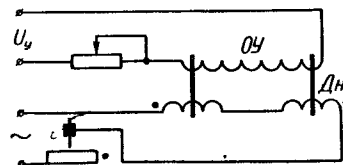


Рис. 40. Принципиальная схема включения дросселя насыщения

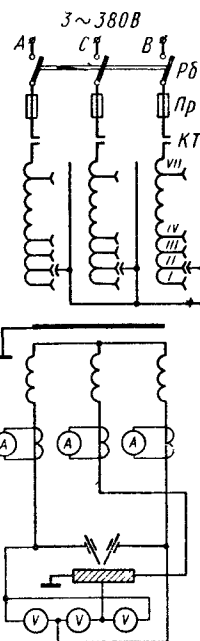


Рис. 41. Принципиальная электрическая схема трансформатора ТСП-180 для сварки трехфазной дугой

Перспективна схема трансформатора ТСП-180 для автоматической сварки под флюсом и в углекислом газе. Схема и конструкция трансформатора разработаны совместно УПИ им. С. М. Кирова и заводом «Урал-электротяжмаш» им. В. И. Ленина.

Принципиальная электрическая схема трансформатора показана на рис. 41.

Первичные и вторичные обмотки соединены в звезду, причем первичные обмотки секционированы на семь ступеней и напряжение холостого хода можно изменять с 36 до 54 В через каждые 3 В.

Технические характеристики трансформаторов для сварки трехфазной дугой приведены в табл. 14.

14. Трансформаторы для сварки трехфазной дугой

Тип	Первичное напряжение, В	Вторичное напряжение, В	Номинальный режим работы ЦР%	Номинальная сила вторичного тока в фазе, А	Пределы регулирования силы сварочного тока, А	К. п. д
ТТС-400	380	60	50	400	130—550	0,86
3-СТ	220/380	59, 68	60	250/440 *	100—500	0,85
ТТСД-1000-3	220, 380	69—78	60	1000	400—1200	—
ТСР-180	380	36—54	60	800	200—1000	—

* Числитель — при соединении вторичных обмоток в треугольник, знаменатель — при соединении вторичных обмоток в звезду

Сварочный генератор повышенной частоты. При сварке стали малой толщины, а также при сварке неплавящимся электродом в среде защитных газов и в некоторых других случаях устойчивость дуги понижается. Для повышения устойчивости дуги в подобных случаях идут на увеличение напряжения холостого хода трансформаторов. Однако это увеличение ограничено условиями техники безопасности и в то же время невыгодно, так как ухудшает экономические показатели трансформаторов.

В подобных случаях рациональнее применять источники тока повышенной частоты. При этом время повторного зажигания дуги сокращается, деионизация дуги уменьшается, следовательно, дуга горит более устойчиво.

В качестве источника питания дуги током повышенной частоты применяют сварочный преобразователь типа ПС-100-1. Преобразователь предназначен для ручной дуговой сварки металла толщиной до 3 мм переменным током 20—115 А при частоте 480 Гц. Преобразователь состоит из генератора ГСВ-100 и приводного асинхронного короткозамкнутого двигателя АВ-42/2 на общем валу.

Генератор имеет независимое возбуждение; для получения на дуге падающей внешней характеристики и для регулирования силы тока в сварочную цепь последовательно включен специальный дроссель РТ-100. Сердечник дросселя выполнен с регулируемым воздушным зазором, величина которого изменяется винтовым механизмом.

Аппараты для повышения устойчивости горения дуги. О с ц и л л я т о р ы. Питание сварочной дуги токами высокой частоты и высокого напряжения параллельно со сварочным трансформатором повышает устойчивость горения дуги и облегчает ее зажигание. Получение тока высокого напряжения и высокой частоты осуществляется при помощи осциллятора. Мощность осциллятора 100—250 Вт. Частота тока, подаваемого к дуге, 150—260 тыс. Гц и напряжение 2000—3000 В дают возможность зажигать дугу даже без соприкосновения электрода с деталью. Ток высокой частоты и высокого напряжения безопасен для

человека. Принципиальная схема осциллятора параллельного включения показана на рис. 42. Осциллятор имеет повышающий трансформатор $ПТ$, присоединенный к вторичной обмотке сварочного трансформатора; колебательный контур, состоящий из конденсатора C_K , индуктивной катушки L_K и разрядника P . Осциллятор имеет еще одну катушку связи L_C , помещенную на одном каркасе с катушкой самоиндукции L_K . От катушки L_C через защитные конденсаторы C_6 сделаны выводы к выходным клеммам осциллятора. С первичной стороны осциллятора подключают непосредственно к вторичной обмотке сварочного трансформатора или в сеть.

Для присоединения осциллятора к дуге необходимо использовать гибкий высокочастотный провод сечением не менее 1,5 мм². При эксплуата-

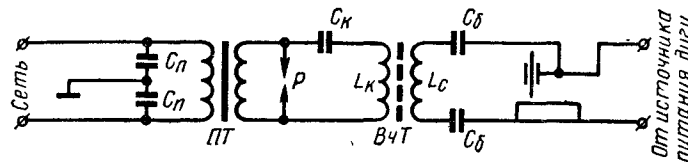


Рис. 42. Принципиальная электрическая схема осциллятора параллельного включения

ции осциллятора нужно особое внимание обращать на исправность защитного конденсатора, предотвращающего поражение сварщика током высокого напряжения низкой частоты.

Осциллятор применяют при сварке дугой малой мощности, при аргоно-дуговой сварке, а также при падении напряжения в силовой сети, обуславливающим пониженное вторичное напряжение сварочных трансформаторов и, следовательно, неустойчивый процесс зажигания и горения дуги.

На рис. 43, а и б приведены схемы осцилляторов последовательного включения, которые применяют, например, в установках для дуговой сварки в защитных средах. Такие схемы обеспечивают более надежную защиту силового выпрямительного блока или генератора от пробоя высокочастотным напряжением осциллятора.

Связь с осциллятором в схеме на рис. 43, а осуществлена с помощью высокочастотного трансформатора, который для уменьшения потерь имеет ферритный сердечник.

Защита источника питания сварочной дуги от действия токов высокой частоты осуществляется при помощи конденсатора C . Токи высокой частоты замыкаются по контуру: вторичная обмотка высокочастотного трансформатора — конденсатор C — дуговой промежуток.

В схеме рис. 43, б катушка L_K включена последовательно со сварочной дугой. Такая схема применена в установках типа «Удар-300» и «Удар-500», предназначенных для ручной дуговой сварки переменным током алюминия вольфрамовым электродом в среде аргона.

Для уменьшения помех радиоприему в цепь первичной обмотки трансформатора $ПТ$ включены фильтры (конденсаторы $C_п$, рис. 42 и 43).

Основные технические характеристики осцилляторов приведены в табл. 15.

Импульсные стабилизаторы дуги применяют для подачи на дуговой промежуток синхронизированных импульсов повышенного напряжения в момент повторного возбуждения дуги при переходе кривой силы сварочного тока через нуль.

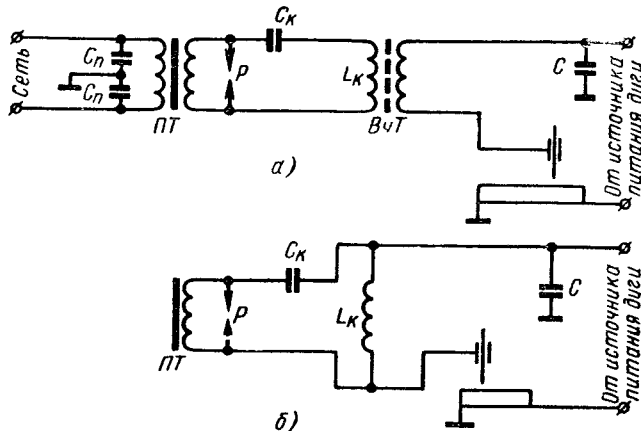


Рис. 43. Принципиальная электрическая схема осциллятора последовательного включения:

а — с высокочастотным трансформатором, б — с катушкой L_k в цепи дуги

Принципиальная схема включения стабилизатора горения дуги в сварочной установке «Удар» показана на рис. 44.

В схему стабилизатора входят: конденсаторная батарея C_1 с цепью ее заряда от сети переменного тока через феррорезонансный стабилиза-

15. Технические характеристики осцилляторов

Тип	Первичное напряжение, В	Вторичное напряжение холостого хода, В	Потребная мощность, кВт	Колебательный контур			Габаритные размеры, мм			Масса, кг
				Мощность, кВт	Индукционная катушка, Г	Емкость блок-конденсатора, мкФ	Длина	Ширина	Высота	
ТУ-2	65, 220	3700	0,225	0,005	0,097	0,5	390	270	350	20
ТУ-77	65, 220	1500	1,00	0,005	0,097	0,5	390	270	350	25
ТУ-177	65, 220	2500	0,40	0,005	0,097	0,5	390	270	350	20
ОСЦН	200	2300	0,40	—	—	—	390	270	310	35
М 2	110, 220	2600	0,14	0,0045	0,005	0,5	300	235	265	20
М 3	40 65	2500	0,075	0,0025	0,160	1,2	350	240	290	15
ОС-1	65	2500	0,130	0,0025	0,160	1,0	315	215	260	15

тор CN и выпрямитель и следящая система CC , управляющая моментом разряда батареи C_1 на дуговой промежуток.

При изменении полярности дуги следящая система отпирает тиристор T , и батарея C_1 разряжается на дуговой промежуток, обеспечивая этим восстановление дуги в полупериоды обратной полярности.

В процессе сварки по контуру сварочной цепи проходит несинусоидальный ток, имеющий постоянную составляющую, обусловленную выпрямляющим действием дуги (изделие — алюминий, электрод — вольфрам) и наличием в сварочном контуре дросселя. Для устранения постоянной составляющей сварочного тока служит конденсатор C_2 .

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Источники питания постоянного тока можно разбить на две основные группы: сварочные генераторы и сварочные выпрямительные установки.

Сварочные машины постоянного тока подразделяют: по количеству питаемых постов — на однопостовые, предназначенные для питания одной сварочной дуги и на многопостовые, предназначенные для одновременного питания нескольких сварочных дуг;

по способу установки — на стационарные и на передвижные;

по форме внешних характеристик — с падающими, жесткими, возрастающими или полого падающими внешними характеристиками.

Сварочные генераторы постоянного тока различают еще по роду привода — генераторы с электрическим приводом и генераторы с двигателями внутреннего сгорания;

по способу выполнения — однокорпусные (сварочный генератор и двигатель на одном валу в одном корпусе) и отдельные (сварочный генератор и двигатель выполнены на общей раме, а их валы соединены через специальные муфты).

Генераторы с независимым возбуждением и размагничивающей последовательной обмоткой. Принципиальная схема генераторов этого типа показана на рис. 45.



Рис. 44. Принципиальная электрическая схема импульсного стабилизатора

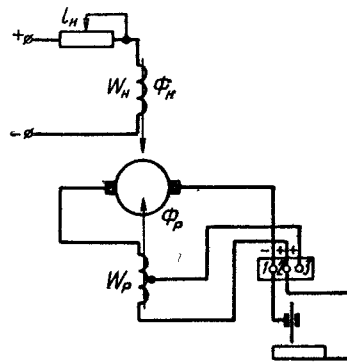


Рис. 45. Принципиальная электрическая схема сварочного генератора с независимым возбуждением и последовательной размагничивающей обмоткой

Сварочный генератор снабжен двумя обмотками возбуждения. Одна обмотка независимого возбуждения создает поток независимого возбуждения Φ_H . Эта обмотка получает питание от постороннего источника постоянного тока. Сила тока в цепи независимого возбуждения регулируется реостатом. Вторая обмотка возбуждения — серийная (противокомпаундная), включена последовательно в цепь сварочного тока, вследствие чего величина магнитного тока Φ_P зависит от силы сварочного тока. Как показано стрелками на рис. 45, обмотки возбуждения, намотанные встречно, создают своими противоположными

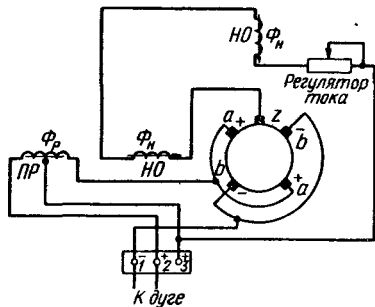


Рис. 46. Принципиальная электрическая схема сварочного генератора с намагничивающей параллельной и размагничивающей последовательной обмотками возбуждения

силами магнитодвижущими силами встречные потоки. При холостом ходе, когда сварочная цепь разомкнута, действует только поток независимого возбуждения, вследствие э. д. с. генератора

$$E = c\Phi_H,$$

где c — постоянная генератора.

При сварке, когда сварочный ток проходит через последовательную обмотку, создается поток Φ_P , который направлен навстречу потоку Φ_H . Результирующий поток $\Phi_{рез}$ и э. д. с. E_T будут уменьшаться. Одновременно будет падать и напряжение на зажимах генератора.

Силу сварочного тока генераторов этого типа регулируют реостатом в цепи обмотки независимого возбуждения и секционированием последовательной обмотки. Технические характеристики современных сварочных преобразователей с такими генераторами приведены в табл. 16. Генераторы с намагничивающей параллельной и размагничивающей последовательной обмотками возбуждения. Сварочные генераторы этого типа являются генераторами с самовозбуждением.

Обмотки возбуждения HO (рис. 46) питаются от основной щетки a и вспомогательной щетки z , расположенной между основными щетками, примерно под серединой полюсной дуги. Размагничивающая (последовательная) обмотка $ПР$ включена последовательно в цепь якоря. Обмотки HO и $ПР$ могут размещаться каждая на всех полюсах или раздельно. Для облегчения коммутации вспомогательной щетки z в полюсной дуге основных полюсов сделаны вырезы в зоне коммутации этой щетки.

Падающая внешняя характеристика получается в основном за счет размагничивающего действия обмотки $ПР$. Обмотка HO питается напряжением, действующим на части обмотки якоря между щетками a и z . Это напряжение обуславливается результирующей величиной половины потока основного полюса в воздушном пространстве и половиной поперечного потока реакции якоря. С увеличением тока нагрузки первый поток уменьшается (вследствие влияния размагничивающего действия

16. Сварочные преобразователи с генераторами с независимым возбуждением и последовательной размагничивающей обмоткой

Тип преобразователя	Сварочный генератор				Двигатель			Агрегат или преобразователь			Масса, кг	
	Тип	Номинальное напряжение, В	Номинальная сила тока, А	Пределы регулирования силы тока, А	Тип	Мощность, кВт	Число обмоток в минуту	Длина	Ширина	Высота		Исполнение
ПСО-120	ГСО-120	25	120	30—120	АВ-42-2	4	2900	1055	550	730	Однокорпусное на колесах	155
ПСО-800	ГСО-800	45	800	200—800	АВ-82-4	55	1450	1330	650	600	Однокорпусное стационарное	1040
ПСО-500	ГСО-500	40	500	120—600	А-71-2	28	2900	1275	770	1080	Однокорпусное на колесах	780
АСО-2000	СТ-1000-11	45	1000×2	(300—1200)×2	А101-4	125	1450	—	—	—	Трехмашинное стационарное	400

17. Преобразователи и агрегаты с генераторами с самовозбуждением и размагничивающей последовательной обмоткой

Тип преобразователя	Сварочный генератор			Двигатель		Число оборотов в минуту	Агрегат или преобразователь			Масса, кг
	Тип	Номинальное напряжение, В	Номинальная сила тока, А	Пределы регулирования силы тока, А	Тип		Мощность, кВт	Габаритные размеры, мм	Исполнение	
ПСО-300	ГСО-300	—	—	—	АВ-62-4	14	Длина 1015	Высота 480	Однокорпусное на колесах	400
АСБ-300-2	ГСО-300	30	300	75—320	ГАЗ-МК	30*	2080	1730	Двухмашинное на раме	850
АСД-300	ГСО-300	—	—	—	5П4-4-8,5	20*	1850	875	То же	980
САМ-300	ГСО-300М	—	—	—	ПН-100	14,25	—	—	»	800
САМ-400-1	СГП-3-V	—	—	—	ПН-290	42	1977	650	»	1650
САМ-400-2	СГП-3-V	—	400	—	МАФ-72-4	32	1760	650	»	1300
ПС-500 и ПС-600-II	ГС-500 ГС-500-II	—	—	120—600	А-72/4	28	1400	770	Однокорпусное на колесах	940
АСД-3-1	СГП-3-VIII	—	—	—	ЯАЗМ-204г	60*	2820	1100	Двухмашинное на раме	2500
АСДП-500	СГП-3-VIII	—	500	—	ЯАЗМ-204г	60*	5880	1930	Двухмашинное на прицепе	5000

* Мощность в л с

серийной обмотки), а второй поток увеличивается (растут ампер-витки реакции якоря). Окончательно результирующий поток, проходящий между щетками a и z и создающий э. д. с. на этих щетках, остается практически почти постоянным.

Щетки a и z питают обмотки самовозбуждения генератора. Одновременно э. д. с. и напряжение на главных щетках падают, так как результирующий поток, пронизывающий проводники якоря, падает с ростом размагничивающих ампер-витков обмотки PP и поперечной реакции якоря

Кривые зависимости напряжения на каждой паре щеток от силы сварочного тока показаны на рис. 47.

Силу сварочного тока у таких генераторов можно регулировать реостатом в цепи возбуждения. Возможно также добавочное регулирование переключением витков серийной обмотки возбуждения, что используют часто в генераторах с размагничивающими обмотками. Схема допускает четырехполюсное исполнение генераторов, которое имеет ряд преимуществ в отношении простоты конструкции и уменьшения веса. За последние годы в промышленности внедрен ряд сварочных агрегатов со сварочными генераторами, построенными по этому принципу. Технические характеристики агрегатов приведены в табл. 17.

Генераторы для сварки в среде защитных газов. Для автоматической и полуавтоматической сварки в среде защитных газов необходимы жесткие или возрастающие внешние характеристики источников питания. Для этой цели специально разработаны преобразователь ПСГ-350 с генератором ГСГ-350 и преобразователь ПСУ-500 с генератором ГСГ-500, а также универсальный преобразователь ПСУ-500.

Преобразователь ПСУ-500 дает как падающие, так и жесткие внешние характеристики (табл. 18).

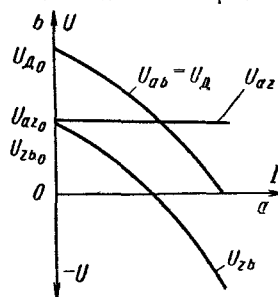


Рис. 47. Внешние характеристики генератора типа ГС

18. Преобразователь ПСУ-500

Параметры	Сварка в защитных газах (жесткие внешние характеристики)	
	Ручная сварка, под флюсом (падающие внешние характеристики)	Сварка в защитных газах (жесткие внешние характеристики)
Номинальная сила сварочного тока, А	500	500
Пределы регулирования силы сварочного тока, А	120—500	50—500
Номинальное напряжение, В	40	40
Пределы регулирования напряжения, В	25—40	15—40
К п д, %	61	65
Масса, кг	550	2900
Число оборотов в минуту	2900	1055 × 580 × 920
Габаритные размеры, мм	1055 × 580 × 920	

Особенностью этих генераторов является то, что они имеют низкое напряжение холостого хода (15—40 В). Благодаря малой индуктивности якоря генератора при коротком замыкании электрода с изделием происходит быстрое возрастание силы сварочного тока и мгновенное оплавление электрода. Это способствует быстрому и надежному возбуждению дуги.

Генераторы этого типа имеют независимое возбуждение от сети переменного тока через блок селеновых выпрямителей.

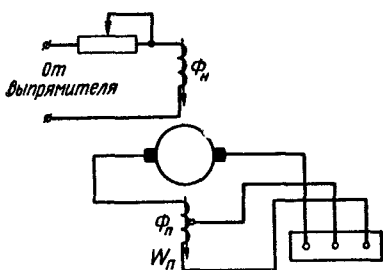


Рис. 48. Принципиальная электрическая схема генератора с жесткой внешней характеристикой

Многопостовые генераторы обычно применяют при централизованном питании стационарных постов. Напряжение на зажимах многопостового генератора не должно изменяться с изменением нагрузки, т. е. внешняя характеристика многопостовых генераторов должна быть жесткой. Падающая характеристика на посту обеспечивается включением последовательно в сварочные цепи балластных реостатов. Силу сварочного тока поста регулируют изменением сопротивления реостатов.

Преобразователь ПСМ-1000 рассчитан на одновременное питание девяти или шести сварочных постов с максимальной силой тока поста 200 или 300 А. Преобразователь состоит из генератора СГ-1000 и асин-

хронного короткозамкнутого двигателя мощностью 75 кВт. Генератор СГ-1000 имеет 12 полюсов. На шести основных полюсах имеются катушки параллельной и последовательной подмагничивающей обмоток. На дополнительных полюсах расположены катушки параллельной ветви последовательной подмагничивающей обмотки. Параллельную обмотку возбуждения подключают к основным клеммам генератора через реостат.

Преобразователь ПСМ-1000 снабжают комплектом из девяти балластных реостатов РБ-200 или шести реостатов РБ-300. Преимущества многопостовых генераторов перед однопостовыми: снижение стоимости оборудования, расхода на ремонт и обслуживание из расчета на единицу полезной мощности, потребность в меньших площадях, надежность в эксплуатации. При параллельном включении балластных реостатов ток сварочного поста может быть существенно увеличен. Основные технические данные многопостовых сварочных машин постоянного тока приведены в табл. 20.

Режим сварки регулируют реостатом в цепи обмотки независимого возбуждения. Технические характеристики преобразователей ПСГ приведены в табл. 19.

Выпрямительные сварочные установки. Эти установки собирают из полупроводниковых элементов, которые обладают свойством проводить ток только в одном направлении. В обратном направлении полупроводники практически не пропускают электрический ток. Основные свойства полупроводникового элемента характеризуются следующими величинами. Во-первых, допустимой плотностью выпрямленного тока, отнесенной к единице рабочей поверхности полупроводникового элемента; эта величина зависит от условий охлаждения элемента. Интенсивное искусственное охлаждение позволяет в 2—2,5 раза поднять нагрузку элемента по сравнению с естественным охлаждением. Во-вторых, падением напряжения в полупроводниковом элементе, зависящим от величины выпрямленного тока и свойств полупроводника. В-третьих, величиной обратного напряжения. Две последние величины характеризуют технико-экономические свойства полупроводникового элемента, от них зависит к. п. д. выпрямителя.

Наибольшее применение в сварочных выпрямительных установках получили селеновые и кремневые полупроводниковые элементы. В сварочных выпрямительных установках используют трехфазную мостовую схему выпрямления, дающую меньшую пульсацию выпрямленного напряжения, более равномерную загрузку силовой сети переменного тока и лучшее использование трансформатора, питающего выпрямитель.

Выпрямленные сварочные установки имеют высокие динамические свойства из-за меньшей электромагнитной инерции. Сила тока и напряжение при переходных процессах изменяются практически мгновенно. Отсутствие вращающихся частей делает установки более простыми и надежными в эксплуатации, чем генераторы постоянного тока. Трехфазные выпрямительные установки обеспечивают высокую стабильность горения дуги, особенно на малых силах тока.

Сварочные выпрямители с падающей внешней характеристикой в зависимости от того, для какого вида сварки они предназначаются, целесообразно разделить на две группы: 1) для ручной и автоматической сварки под флюсом и 2) для дуговой сварки в среде защитных газов.

К первой группе относят сварочные выпрямители, выпускаемые в СССР, типа ВСС, ВКС, ВД-101 и ВД-301.

19. Преобразователи с жесткими характеристиками

Параметры	ПСГ-350	ПСГ-500
Номинальная сила тока при ПР = 65%, А	350	500
Пределы регулирования силы тока, А	50—350	50—500
Пределы регулирования напряжения, В	15—35	15—40
Электродвигатель:		
тип	АВ-61/2	АВ-71/2
номинальная мощность, кВт	14	28
число оборотов в минуту	2900	2900
Размеры, мм:		
длина	1085	1055
ширина	555	580
высота	980	920
Масса, кг	400	500

20. Многопостовые агрегаты

Тип	Сварочный генератор		Двигатель		Агрегат			Исполнение	Масса, кг
	Тип	Номинальное напряжение, В	Номинальная сила тока, кА	Тип	Мощность	Число оборотов в минуту	Длина, мм		
ПСМ-1000-III ПСМ-1000-III АСДП-500Г	СГ-1000	60	1000	АВ-91-4 ЯАЗМ-204Г	75 кВт 60 л. с	1450 1500	1475	800	910
		60	500						Однокорпусное стационарное Двухмашинное на прицепе
									1600

21. Сварочные выпрямители с падающими внешними характеристиками

Параметры	ВСС-120-4		ВСС-300-3		ВКС-800		ВКС-500		ВД-101		ВД-301	
	380; 220	57—63	380; 220	58—65	380; 220	58—65	380; 220	65—74	380; 220	380; 220	65—68	380; 220
Напряжение питающей сети, В	380; 220	57—63	380; 220	58—65	380; 220	58—65	380; 220	65—74	380; 220	380; 220	65—68	380; 220
Выпрямленное напряжение холостого хода, В	57—63	25	58—65	30	57—62	25	58—65	40	65—74	25	30	65—68
Номинальное напряжение при нагрузке, В	120	120	30	300	25	120	30	500*	25	125	30	300
Номинальная сила сварочного тока при $\Pi P = 65\%$	15—130	8,6	35—330	13,2	15—130	5,0	30—330	20	20—130	64	72	40—330
Пределы регулирования силы сварочного тока, А	8,6	68	13,2	68	5,0	58	13,2	75	20	64	72	40—330
Потребная мощность, кВт	0,58	0,58	0,60	0,58	0,60	0,58	0,58	0,74	0,5	0,5	0,6	0,6
К. п. д., %	805	875	875	875	175	175	175	175	1125	1125	1125	1125
Коэффициент мощности	630	735	735	735	—	—	—	—	745	745	745	745
Габаритные размеры, мм:	953	900	900	900	—	—	—	—	836	836	836	836
длина	140	240	240	240	—	—	—	—	168	168	168	168
ширина	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
высота	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Масса, кг	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

* При $\Pi B = 60\%$.

Сварочные выпрямители типа ВСС выпускают на номинальную силу тока 300 и 120 А. Электрическая схема выпрямителя ВСС-300-3 на 300 А показана на рис. 49.

Выпрямитель обеспечивает преобразование напряжения трехфазной сети переменного тока в требуемое для процесса дуговой сварки напряжение постоянного тока с созданием необходимой падающей внешней характеристики и обеспечением возможности плавного регулирования силы сварочного тока в нужных пределах.

Выпрямитель представляет собой передвижную однопостовую сварочную установку, состоящую из понижающего трехфазного трансформатора, блока селеновых выпрямителей, вентилятора и пускорегулирующей аппаратуры, смонтированных в общем кожухе.

Понижающий трансформатор имеет повышенную индуктивность рассеивания, что обеспечивает падающую внешнюю характеристику.

Выпрямитель имеет два диапазона регулирования силы сварочного тока соответственно соединению первичной и вторичной обмоток трансформатора звезда—звезда или треугольник—треугольник. Плавного регулирования силы сварочного тока в каждом диапазоне достигают изменением индуктивности рассеивания понижающего трансформатора за счет изменения расстояния между первичной и вторичной обмотками.

Выпрямитель ВСС-120-4 на 120 А имеет такое же принципиальное устройство, как и выпрямитель ВСС-300-3.

Эти выпрямители предназначены для питания электрической дуги при ручной дуговой сварке, резке и наплавке металлов.

Сварочный выпрямитель типа ВКС-500 предназначен для ручной дуговой сварки, автоматической и полуавтоматической сварки под флюсом, резки и наплавки.

Выпрямитель ВКС-500 передвижной, в однокорпусном исполнении с трехфазным питанием. Он состоит из силового понижающего трехфазного трансформатора с подвижными катушками, выпрямительного кремниевых блока с вентилятором, пускорегулирующей и защитной аппаратуры (смонтирован в общем кожухе).

Падающая внешняя характеристика получается за счет повышенной индуктивности рассеивания. Силу сварочного тока регулируют изменением расстояния между первичной и вторичной обмотками — плавное регулирование. При соединении первичных и вторичных обмоток в звезду или треугольник — ступенчатое регулирование.

Технические характеристики выпрямителей типа ВСС, ВКС и ВД приведены в табл. 21.

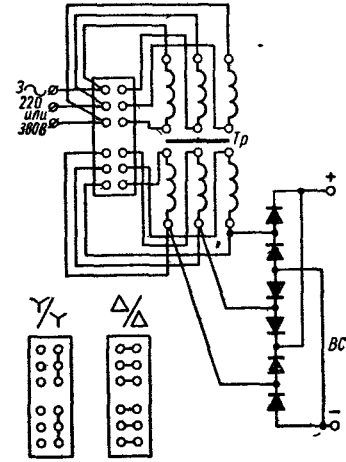


Рис. 49. Принципиальная электрическая схема сварочного выпрямителя ВСС-300-3

Вторая группа сварочных выпрямителей с падающей внешней характеристикой предназначена для питания дуги, горящей в среде защитных газов. К ним в основном относятся источники питания малоамперной дуги, горящей в аргоне.

Малоамперная дуга в аргоне имеет падающую вольтамперную характеристику, поэтому для устойчивого горения такой дуги источник питания также должен иметь крутопадающую внешнюю характеристику.

Наибольшее распространение в СССР получили две схемы сварочных выпрямительных установок, предназначенных для питания малоамперной дуги в аргоне: схема с дросселем насыщения, включенным до силового выпрямительного блока, и схема с полупроводниковым триодом в цепи дуги.

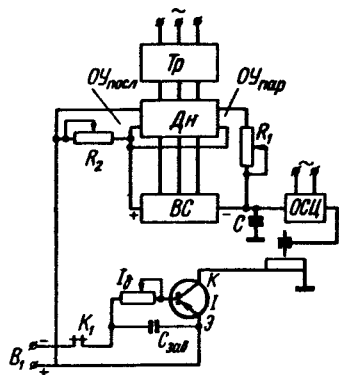


Рис. 50. Принципиальная схема источника питания АП-1

Принципиальная схема источника АП-1 с транзистором в цепи приведена на рис. 50. Этот источник питания предназначен для дуговой сварки в аргоне на силе тока 0,5—15 А.

Источник питания содержит трехфазный понижающий трансформатор T_p , трехфазный дроссель насыщения D_n и выпрямительный блок $BС$, собранный по трехфазной мостовой схеме. В цепи дуги имеется полупроводниковый регулятор сварочного тока, собранный из десяти параллельно включенных германиевых триодов типа П4 по схеме с общим эмиттером. Дуга возбуждается с помощью осциллятора последовательного включения. Падающая характеристика источника питания получается за счет дросселя насыщения D_n , который имеет две обмотки управления: одну включенную последовательно, а другую параллельно выходу выпрямительного блока $BС$. Сопротивлениями R_1 и R_2 подбирается нужная форма внешней характеристики.

Выпрямитель АП-1 имеет еще устройство для заварки кратера. Заварка кратера осуществляется от конденсаторной батареи $C_{зав}$.

В ИЭС им. Е. О. Патона разработаны транзисторные источники питания типа АП-4, АП-5, АП-6, предназначенные для аргоно-дуговой сварки неплавящимся электродом различных металлов и сплавов на постоянном токе в обычном и пульсирующем режимах. Диапазон сварочного тока серии транзисторных источников (0,5—300 А) обеспе-

чивает сварку металлов толщиной от десятков микрон до нескольких миллиметров. Принцип устройства транзисторных источников базируется на схеме выпускаемого ныне источника питания АП-2. Однако помимо резкого расширения диапазона сварочных токов введен ряд коренных усовершенствований, обеспечивающих высокую надежность в эксплуатации и улучшенные технологические свойства сварочной дуги.

Сварочные выпрямители с жесткими и пологопадающими внешними характеристиками. Эти выпрямители предназначены для дуговой сварки плавящимся электродом в защитных газах.

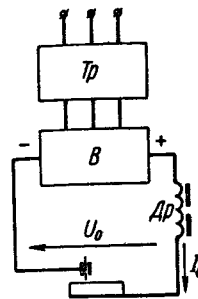


Рис. 51. Принципиальная схема сварочного выпрямителя типа ВС

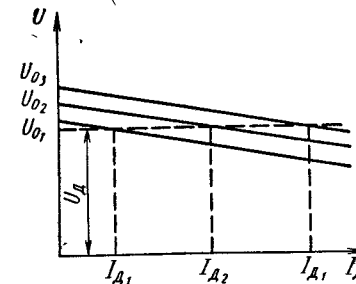


Рис. 52. Внешняя характеристика сварочного выпрямителя типа ВС

В сварочных выпрямителях с жесткими и пологопадающими внешними характеристиками применяют, за редким исключением, селеновые вентили, так как, обладая большей массой по сравнению с кремневыми или германиевыми, они менее чувствительны к перегрузкам, возникающим при коротких замыканиях во время сварки.

Принципиальная схема сварочного выпрямителя типа ВС для сварки плавящимся электродом в углекислом газе показана на рис. 51.

Выпрямитель типа ВС состоит из силового трехфазного понижающего трансформатора T_p и выпрямительного блока B , собранного из селеновых вентилях по трехфазной мостовой схеме. Выпрямитель имеет естественные пологопадающие внешние характеристики (рис. 52).

Регулирование напряжения на выходе выпрямительного блока производят путем ступенчатого переключения числа витков в первичной обмотке каждой фазы трехфазного трансформатора.

Для подбора необходимой скорости нарастания тока короткого замыкания и уменьшения разбрызгивания металла в сварочную цепь после выпрямительного блока включен дроссель D_p .

По данной схеме в СССР серийно выпускают выпрямительные установки типа ВС-300, ВС-500, ВС-1000 и ВС-1000-2. Все эти установки разработаны институтом электросварки им. Е. О. Патона АН УССР.

Выпрямитель ВС-300 предназначен для питания сварочных полуавтоматов при сварке в среде углекислого газа, а также может быть использован при сварке в среде аргона или гелия.

Выпрямитель ВС-500 предназначен для питания сварочных аппаратов при автоматической и полуавтоматической сварке под флюсом в газовых средах и открытой дугой (порошковой проволокой специальной проволокой сплошного сечения).

Выпрямитель изготавливают в однокорпусном исполнении с воздушным принудительным охлаждением.

Выпрямитель ВС-1000 предназначен для различных видов автоматической сварки металлов в среде защитных газов и под флюсом; выпрямитель ВС-1000-2 — для автоматической сварки в среде гелия и автоматической и полуавтоматической сварки под флюсом, а также для всех видов механизированной газоэлектрической сварки неплавящимся электродом.

Выпрямители ВС-1000 и ВС-1000-2 в однокорпусном исполнении состоят из трехфазного понижающего трансформатора, блока селеновых вентилей с вентилятором, индуктивного делителя напряжения (дресселя) и аппаратуры управления.

Выпрямители имеют плогопадающую внешнюю характеристику благодаря наличию дресселя.

Выпрямленное напряжение регулируется ступенчато переключателями.

Плавное регулирование напряжения в пределах каждой ступени осуществляют изменением воздушного зазора индуктивного делителя напряжения под нагрузкой в процессе сварки. Плавное регулирование можно производить также дистанционно.

Выпрямитель ВС-1000-2 отличается от выпрямителя ВС-1000 размерами и техническими данными.

Выпрямители ВС-300 и ВС-500 серийно выпускает Киевский завод электроизмерительной аппаратуры, а выпрямители ВС-1000 и ВС-1000-2 — Днепропетровский завод шахтной автоматики.

К сварочным выпрямителям с плогопадающими внешними характеристиками можно отнести также выпрямители, у которых для регулирования выходного напряжения применены вольтодобавочные трансформаторы.

По такой схеме Днепропетровский завод выпускает сварочные выпрямители типа ВСК-300.

По схеме, близкой к схеме сварочного выпрямителя типа ВСК, Ржевский завод выпускает сварочные выпрямители типа ИПП.

Схема сварочных выпрямителей типа ИПП отличается от схемы ВСК тем, что регулирование напряжения под нагрузкой у них производят при помощи согласного или встречного включения трехфазного вольтодобавочного трансформатора, первичное напряжение которого регулируют посредством трехфазного автотрансформатора типа «Латер».

Технические характеристики сварочных выпрямителей с жесткими и плогопадающими внешними характеристиками приведены в табл. 22.

Универсальные сварочные выпрямители типа ВСУ, разработанные ВНИИЭСО, имеют электрическую схему, которая позволяет путем переключения ее отдельных узлов получать как жесткие внешние характеристики для автоматической сварки плавящимся электродом в среде защитного газа, так и крутопадающие для ручной дуговой сварки и сварки под слоем флюса. Выпускает ВСУ Вильнюсский завод электросварочного оборудования на 300 и 500 А.

22. Сварочные выпрямители с жесткими и плогопадающими внешними характеристиками

Параметры	ВС-300	ВС-500	ВС-600	ВС-1000	ВС-1000-2	ВСК-300	ИПП-120	ИПП-300	ИППШ-600	ИППШ-1000
Напряжение питающей трехфазной сети, В	380	380	380	380	380	380; 220	380	380	380	380
Выпрямленное напряжение холостого хода, В	20—40	21—53	24—49	28—63	36—85	—	14—25	15—40	17—80	66
Номинальное напряжение при нагрузке, В	30	16—41	15—40	17—48	20—65	—	—	—	—	—
Номинальная сила сварочного тока (А) при ПВ = 60%	270 *	500	600	1000	1000	300 **	120 **	300 **	500 **	1000 **
Потребная мощность, кВт	—	31	32	75	92	—	3	11	27	60
К. п. д., %	70	—	75	75	75	78	94	90	91	92
Коэффициент мощности	0,9	—	—	0,85	0,85	0,82	—	—	—	—
Габаритные размеры, мм:										
длина	560	770	1070	880	880	—	800	950	956	925
ширина	720	600	880	700	700	—	640	700	700	925
высота	965	1150	1490	1375	1575	—	915	1045	1045	1300
Масса, кг	25	350	490	600	650	—	175	280	440	780

* При ПВ = 100%.

** При ПВ = 65%.

В состав ВСУ входят силовой понижающий трехфазный трансформатор, дроссель насыщения, силовой выпрямительный блок, магнитный усилитель и стабилизатор напряжения.

Технические характеристики универсальных сварочных выпрямителей ВСУ-300 и ВСУ-500 приведены в табл. 23.

23. Универсальные и многопостовые сварочные выпрямители

Параметры	ВСУ-300		ВСУ-500		ВКСМ-1000
	Жесткие	Падающие	Жесткие	Падающие	
Напряжение питающей сети, В	220; 380	220; 380	220, 380	220, 380	380
Номинальная сила сварочного тока при ПР-60%, А	300	240	500	350	1000 *
Напряжение холостого хода, В	40—60	60	50—68	60	70
Пределы регулирования напряжения, В	18—35	—	20—40	—	60 **
Пределы регулирования силы тока, А	50—330	40—260	100—550	50—380	—
Мощность, кВт	—	—	—	—	70
К. п. д., %	—	—	—	—	86
Габаритные размеры, мм:					
длина		830			
ширина		645			
высота		950			
Масса, кг		300		440	650

* При ПР = 100%
** При нагрузке.

В последние годы наша промышленность серийно выпускает многопостовые сварочные выпрямители типа ВКСМ на номинальные длительные силы тока 1000 и 3000 А. Количество постов определяют по номинальной силе тока одного поста и коэффициенту одновременности нагрузки, равному 0,6.

Сварочные выпрямители имеют жесткую внешнюю характеристику. Получение падающей внешней характеристики и регулирование силы сварочного тока поста осуществляют балластными реостатами типа РБ-300, поставляемыми комплектно с выпрямителями.

Выпрямители типа ВКСМ состоят из следующих основных элементов: силового трехфазного понижающего трансформатора, выпрямительного кремниевого блока с вентилятором, пускорегулирующей и защитной аппаратуры.

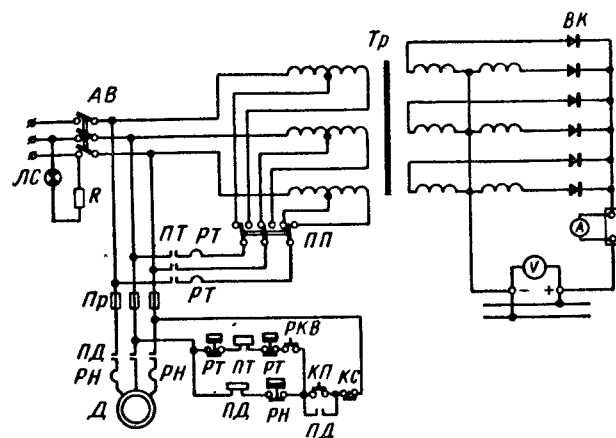


Рис. 53. Принципиальная электрическая схема многопостового сварочного выпрямителя ВКСМ-1000:

Тр — сварочный трансформатор, РКВ — реле контроля вентиляции; АВ — автомат воздушный; КП — кнопка управления «Пуск»; КС — кнопка управления «Стоп»; ВК — блок кремниевых вентилялей

Принципиальная упрощенная электрическая схема выпрямителя ВКСМ-1000 показана на рис. 53, а техническая характеристика приведена в табл. 23.

ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ

Параллельное включение сварочных машин применяют в тех случаях, когда мощность одного источника недостаточна для сварки.

Параллельная работа сварочных трансформаторов. При параллельном включении сварочных трансформаторов необходимо соблюдать следующее условие.

Напряжения холостого хода должны быть равны; это условие обычно выполняют только для однотипных трансформаторов.

В трансформаторах с увеличенным рассеянием напряжения холостого хода и коэффициент трансформации несколько меняется в зависимости от настройки режима и степени регулирования, как, например, в трансформаторах типа СТШ, ТС и др. Поэтому регулирующее устройство таких трансформаторов при параллельном включении должно быть предварительно настроено так, чтобы напряжения холостого хода трансформаторов были одинаковыми.

При параллельном включении первичные обмотки сварочных трансформаторов СТ подключают обязательно к одинаковым линейным проводам трехфазной питающей сети, с тем чтобы фазы э. д. с. во вторичных обмотках совпадали (рис. 54). С вторичной стороны попарно соединяют клеммы, имеющие в каждый данный момент времени одинаковую полярность (клеммы *a—a* и *b—b*).

Для определения правильной фазировки клемм при включенных трансформаторах в сеть и при разомкнутом рубильнике ГР к клеммам $b-b$ подключают контрольную лампу или вольтметр. Если лампа не загорается или стрелка вольтметра стоит на нуле, то полярность соединенных клемм одинаковая и трансформаторы включены правильно. После этого замыкают рубильник ГР и тем самым включают трансформаторы на параллельную работу.

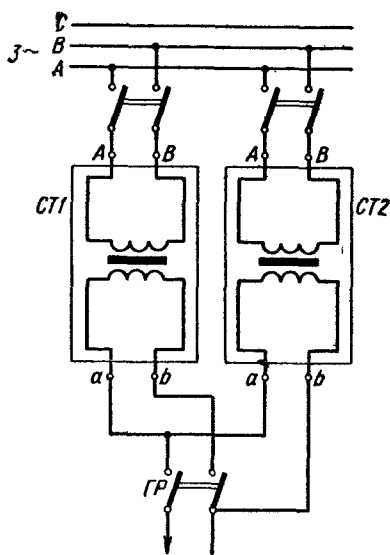


Рис. 54. Схема параллельной работы двух сварочных трансформаторов

Параллельная работа сварочных генераторов. При соединении генераторов на параллельную работу необходимо соблюдать следующие основные условия.

Генераторы должны быть одинаковыми по типу или с одинаковыми внешними характеристиками. Во избежание появления уравнительного тока генераторы должны иметь одинаковые напряжения холостого хода и соединяться с одинаковыми зажимами. После включения генераторов на параллельную работу необходимо по амперметрам установить одинаковую нагрузку обеих машин; этого достигают при помощи регулирующих устройств генераторов. При параллельной работе генераторов смешанного возбуждения, у которых последовательная обмотка действует согласно с параллельной обмоткой возбуждения (многопостовых и поперечного поля), клеммы на щитках генераторов должны быть соединены между собой уравнительным проводом. Без уравнительного провода, соединяющего последовательные обмотки генераторов, возможны колебания в распределении нагрузки между

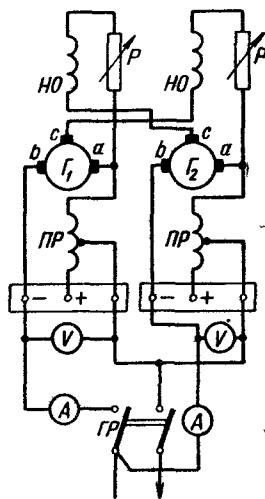


Рис. 55. Схема параллельной работы двух генераторов с намагничивающей параллельной и размагничивающей последовательной обмотками возбуждения

генераторами и, следовательно, нарушение устойчивости параллельной работы.

При параллельной работе двух генераторов с расщепленными полюсами и генераторов с намагничивающей параллельной и размагничивающей последовательной обмотками для устойчивой работы применяют перекрестное питание их цепей возбуждения. Схема параллельной работы двух генераторов с самовозбуждением типа ГС показана на рис. 55.

Аналогично включают на параллельную работу и сварочные выпрямители.

УХОД ЗА ИСТОЧНИКАМИ ПИТАНИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ

Уход за сварочными трансформаторами. Уход сводится к очистке сердечника и обмоток от пыли и грязи, к поддержанию нормального состояния контактов. Перед работой корпуса трансформатора и дросселя должны быть заземлены. Все зажимы должны быть затянуты, иначе это приведет к сильному нагреванию и обгоранию контактов. Все защитные кожухи должны быть всегда надеты и закреплены. Не следует ставить трансформатор, дроссель и осциллятор вблизи источников нагрева (печи, горна, паропровода и т. д.), так как перегрев вредно отражается на изоляции обмоток. При работе вне помещения надо защищать трансформатор и дроссель от осадков, так как при отсыревшей изоляции обмоток возможен пробой изоляции и замыкание между витками. Характерные неисправности в работе трансформаторов и дросселей, их причины и способы устранения приведены в табл. 24.

24. Характерные неисправности сварочных трансформаторов

Неисправность	Возможная причина	Способ устранения
Трансформатор сильно нагревается	Неправильно включен в сеть	Проверить включение первичной обмотки
	Сила сварочного тока выше допустимой	Уменьшить силу сварочного тока, работать электродом меньшего диаметра
	Замыкание между витками обмотки	Отправить трансформатор на ремонт

Продолжение табл. 24

Неисправность	Возможная причина	Способ устранения
Чрезмерный нагрев сердечника и шпилек, стягивающих сердечник	Порча изоляции и замыкание между собой стальных листов, из которых набраны сердечники трансформатора и регулятора, в местах прохождения шпилек	Восстановить исправность изоляции
Зажимы трансформатора сильно нагреваются	Слабо затянуты контактные болты	Подтянуть контактные болты
	Провод в месте контакта имеет недостаточное сечение	Заменить проводом нормального сечения
Сильное гудение трансформатора	Ослабление болтов, стягивающих сердечник, ослабление винтов, крепящих кожух	Подтянуть болты и затянуть винты
	Перекошен сердечник регулятора	Затянуть болты равномерно, без перекоса
	Расстроилось крепление сердечника и механизма перемещения катушек	Устранить перекосы в устройстве перемещения катушек Подтянуть шпильки
	Повреждена изоляция между обмотками и корпусом (обнаруживается проверкой с помощью мегомметра)	Исправить изоляцию
Трансформатор не обеспечивает нижний или верхний пределы регулирования	Подвижные вторичные катушки не доходят до упоров (заедание в ходовом винте, попадание посторонних предметов между катушкой и стержнем и т. д.)	Устранить причину заедания

Уход за сварочными генераторами. Необходимо систематически очищать все части сварочного генератора от пыли и грязи, особенно коллектор, щетки и контактные кольца. Во время работы генератора необходимо следить за температурой отдельных частей (обмоток, подшипников и др.). Чрезмерный нагрев обмотки вызывает разрушение изоляции. Допустимые температуры нагрева приведены ниже.

	Допустимая температура нагрева, °C
Обмотки асинхронного электродвигателя и машин постоянного тока	95
Стальные сердечники и другие части, соприкасающиеся с обмотками (статор)	100
Контактные кольца	100
Подшипник скольжения (с кольцевой смазкой)	80
Подшипники качения (шариковые и роликовые)	95

Подшипники должны быть защищены крышками от попадания пыли и грязи. Не реже одного раза в 3—6 месяцев необходимо менять смазку и промывать подшипники. Поверхность коллектора всегда должна быть чистой. Коллектор не должен искрить. Поверхность его должна быть гладко отполированной и не иметь царапин или прижогов. При чистке и полировке коллекторов необходимо руководствоваться специальными инструкциями. Угольные щетки должны иметь зеркально блестящую поверхность на всей площади соприкосновения с коллектором и работать бесшумно. Не допускается применение поломаных, выкрошившихся щеток, а также щеток несоответствующих марок. Щетки должны свободно перемещаться в щеткодержателях и должны быть соответствующим образом пригнаны к коллектору или к кольцам. Слишком сильное нажатие на щетки приводит к большому их нагреву и быстрому износу, слабое нажатие приводит к искрению под щетками. Характерные неисправности сварочных машин постоянного тока и способы их устранения приведены в табл. 25.

Уход за сварочными выпрямителями. Уход сводится в основном к тому же, что и за сварочными трансформаторами. Особое внимание необходимо обращать на работу вентиля и следить за тем, чтобы в них не было пробоа.

Возможные неисправности и их устранение приведены в табл. 26.

25. Неисправности сварочных машин постоянного тока

Неисправность	Возможная причина	Способ устранения
<i>При пуске асинхронных двигателей</i>		
Электродвигатель сварочной машины после включения не вращается, гудит или вращается очень медленно	Перегорел предохранитель в одной из фаз	Сменить плавкий предохранитель
	Разрыв в обмотках статора или ротора электродвигателя	Отключить электродвигатель, вызвать электрика и проверить целостность ротора и статора

Продолжение табл. 25

Неисправность	Возможная причина	Способ устранения
Электродвигатель сварочной машины после включения не вращается, гудит или вращается очень медленно	Обрыв в пусковом сопротивлении	Проверить целостность пускового сопротивления. В случае разрыва отправить двигатель на ремонт
	Плохой контакт в щетках	Проверить прилифованность щеток, нажатие пружин и состояние переходного контакта
Электродвигатель сварочной машины вращается в обратную сторону	Обмотки электродвигателя включены неправильно по отношению к фазам сети	Переключить любые две фазы
Электродвигатель сварочной машины трудно пускается и дает малое число оборотов	Плохой контакт щеток с кольцами	Пригнуть щетки или пришлифовать их с помощью стеклянной бумаги
Гудит двигатель, неравномерный нагрев обмотки статора, появление дыма из машины	Разрыв в обмотке ротора электродвигателя или в обмотке пускового реостата	Отправить машину в мастерскую для устранения разрыва
	Короткое замыкание между фазами статора внутри машины: замыкание между витками обмотки и задевание ротора о статор	Остановить двигатель, вызвать электрика, осмотреть и проверить, нет ли замыканий между фазами (при разъединенных обмотках фаз)
Генератор не возбуждается (нет напряжения)	<i>При работе сварочных генераторов</i>	
	Загрязнен коллектор	Прочистить коллектор мелкой стеклянной бумагой и продуть сжатым воздухом
	Разрыв в цепи возбуждения или в реостате обмотки возбуждения	Отправить машину на ремонт
	Размагнитился генератор (в машинах с самовозбуждением)	Под руководством специалистов намагнитить генератор путем присоединения к другой сварочной машине постоянного тока

Продолжение табл. 25

Неисправность	Возможная причина	Способ устранения
Перегрев обмотки якоря	Перегрузка машины: ухудшение вентиляции машины из-за уменьшения частоты вращения, короткие замыкания в обмотке якоря или в обмотке возбуждения	Остановить генератор, вызвать электрика, убедиться в отсутствии нагрузки и при нормальной частоте вращения электродвигателя проверить якорь на отсутствие короткого замыкания
Генератор сильно нагревается	Сила сварочного тока выше допустимого	Остановить машину и дать ей остыть
	Короткое замыкание между витками якоря	Отправить машину в ремонт для устранения повреждений
	Замыкание между коллекторными пластинами	
Перегрев коллектора и щеток	Загрязнен коллектор	Почистить коллектор
	Слишком сильный нажим щеток	Отрегулировать усилие нажатия пружин при остановленном генераторе
Перегрев коллектора и щеток	Слишком твердые щетки	Сменить щетки
	Недостаточное сечение щеток; плохой контакт щеток	Установить необходимое количество щеток при тщательной прилифовке их к коллектору
Искрение щеток	Перегрузка генератора	Отрегулировать нагрузку
	Загрязнение коллектора	Прочистить коллектор
	Неровный или бьющий коллектор	Отправить в мастерскую для проточки
Выступает слюда на коллекторе между пластинами		

Продолжение табл. 25

Неисправность	Возможная причина	Способ устранения
Искрение щеток	Щетки расположены не по нейтрали	Отрегулировать установку щеток согласно данным завода-изготовителя
	Слабое усилие нажатия пружин на щетки	Сменить или отрегулировать пружины
	Плохая шлифовка щеток или выкрашивание	Прошлифовать или сменить щетки
Повышение температуры подшипников	Загрязнение смазочных колец и подшипников, перекос оси агрегата	Осмотреть подшипники и в случае необходимости промыть
	Осевое давление на подшипник со стороны вращаемого электродвигателя	При обнаружении устранить перекос оси агрегата или давление на подшипник со стороны вращающегося электродвигателя
Разбрызгивание и течь масла из подшипников	Слишком большое количество смазки; недостаточный размер отверстий для стока масла в нижней половине вкладыша и сильное вентилирующее действие вращающихся частей машины	Остановить генератор, вызвать электрика, слить излишек масла из подшипников (проверить уровень масла при неподвижной машине); увеличить отверстие для стока масла, установить дополнительные кожаные или войлочные уплотнения у подшипников со стороны, обращенной к корпусу

26. Возможные неисправности выпрямителей и способы их устранения

Неисправность	Причина	Способ устранения
Выпрямительная установка не дает напряжения	Не работает вентилятор или воздух засасывается не со стороны жалюзи	Проверить работу вентилятора. Изменить направление вращения так, чтобы воздух засасывался сверху, для чего необходимо поменять местами любые два провода, питающие двигатель вентилятора

Продолжение табл. 26

Неисправность	Причина	Способ устранения
Выпрямительная установка не дает напряжения	Неисправно реле вентилятора	Проверить работу реле
	Вышел из строя один из вентиляей выпрямительного блока	Снять ошиновку, соединяющую выпрямительный блок. Проверить все вентиля с помощью тестера. Сопротивление вентиля в прямом и обратном направлениях должно резко различаться. Проверить отсутствие замыкания между корпусом вентиля и радиатором. Заменить неисправный вентилятор
При пуске с места двигатель вентилятора не работает, а гудит	Сгорел один из предохранителей в цепи двигателя	Проверить и заменить предохранители
	Обрыв в цепи одной из фаз двигателя	Проверить целостность цепи. Включить двигатель в соответствии со схемой включения
Сильное нагревание или даже расплавление частей обмотки трансформатора	Витковое замыкание в обмотках	Разобрать установку, ликвидировать витковое замыкание
Повышенное гудение трансформатора, большая сила тока холостого хода	Витковое замыкание в первичной обмотке трансформатора	Ликвидировать замыкание. Если нужно, перемотать обмотку вновь, при этом армированные медью концы отрезать и приварить вновь газовой сваркой
Чрезмерный нагрев сердечника и стягивающих его шпильки	Нарушена изоляция листов и шпильки	Разобрать сердечник и восстановить изоляцию листов и шпильки

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Браткова О. Н. Источники питания для дуговой сварки. М., НТО, Машпром, 1965, с. 32, 48, 52, 59—69.
2. Гадактионов А. Т., Пацкевич И. Р., Стадников Г. Д. Электросварщик. М., Машгиз, 1964, с. 17.
3. Патон Б. Е., Лебедев В. К. Электрооборудование для дуговой и шлаковой сварки. М., «Машиностроение», 1966, с. 316—320.
4. Печенин А. А. Новые сварочные трансформаторы для ручной дуговой сварки. М., ВНИИЭМ, 1965, с. 3—7 (Государственный комитет по электротехнике при Госплане СССР).
5. Рабинович В. Я. Оборудование для дуговой электрической сварки. М., Машгиз, 1959, с. 24, 33, 74—76.
6. Рывкин А. Л. Сварочные выпрямители для ручной дуговой сварки. М., ВНИИЭМ, 1965, с. 2, 4—6 (Государственный комитет по электротехнике при Госплане СССР).
7. Эсибян Э. М. Плазменно-дуговая аппаратура. Киев, «Техника», 1971, с. 122—127.

ГЛАВА 5

РУЧНАЯ ЭЛЕКТРОДУГОВАЯ СВАРКА

ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО МЕСТА СВАРЩИКА

Непрерывное совершенствование научной организации труда — одна из важнейших предпосылок ускоренного роста экономической эффективности общественного производства.

Научная организация труда (НОТ) на предприятии есть совокупность организационных, технических и санитарно-гигиенических мероприятий, обеспечивающих наиболее целесообразное использование рабочего времени, производственных навыков и творческих способностей каждого члена коллектива, устранение тяжелого ручного труда и неблагоприятных воздействий окружающей среды на организм работающего. НОТ базируется на научно обоснованных нормах труда, новейших достижениях науки и техники. Основной задачей НОТ является всемерное сокращение затрат труда на единицу выпускаемой продукции благодаря более полному использованию новейших достижений техники, широкому обобщению и распространению передового опыта, достижениям высшей производительности труда.

Внедрение научной организации труда должно осуществляться прежде всего на рабочих местах.

Рабочим местом называют закрепленный за рабочим или бригадой рабочих участок производственной площади, оснащенной в соответствии с требованиями определенного технологического процесса оборудованием, инструментом, приспособлениями и т. д.

При обслуживании рабочего места необходимо обращать внимание на определенный круг вопросов:

- своевременность получения сменных заданий, нарядов, чертежей;
- поддержание оборудования в работоспособном состоянии;
- своевременность и способы доставки на рабочее место материалов, заготовок, электродов и т. п.;

- контроль качества изготавливаемой на рабочем месте продукции;
- поддержание на рабочем месте надлежащего порядка.

Рабочие кабины. Для защиты рабочих от излучения дуги в постоянных местах сварки устанавливают для каждого сварщика отдельную кабину размером 2×2,5 м. Стенки кабины могут быть сделаны из тонкого железа, фанеры, брезента. Фанера и брезент должны быть пропитаны огнестойким составом, например раствором алюмокалиевых квасцов. Каркас кабины изготавливают из трубы или из угловой стали. Пол в кабине должен быть из огнестойкого материала (кирпич, бетон, цемент). Стенки окрашивают в светло-серый цвет красками, хорошо поглощающими ультрафиолетовые лучи (цинковые или титановые белила, желтый крон). Освещенность кабины должна быть не менее 80—100 лк. Кабину оборудуют местной вентиляцией с воздухообменом 40 м³/ч на каждого рабочего. Вентиляционный отсос должен располагаться так, чтобы газы, выделяющиеся при сварке, проходили мимо сварщика.

Сварку деталей производят на рабочем столе. Крышку стола изготовляют из чугуна толщиной 20—25 мм. Сварочный пост оснащен генератором, выпрямителем или сварочным трансформатором.

Щитки и шлемы (маски) применяют для защиты лица сварщика от вредного действия лучей сварочной дуги и брызг расплавленного металла. Их изготовляют по ГОСТ 1361—69 из фибры черного матового цвета или специально обработанной фанеры. Щитки и шлемы должны иметь массу не более 0,6 кг. В щиток или шлем вставляют специальный светофильтр, удерживаемый рамкой размером 120×60 мм.

Нельзя пользоваться случайными цветными стеклами, так как они не могут надежно защищать глаза от невидимых лучей сварочной дуги, вызывающих хроническое заболевание глаз.

Защитные светофильтры имеют различную плотность. Наиболее темное стекло имеет марку ЭС-500 и применяется при сварке током до 500 А, среднее ЭС-300 — для сварки током до 300 А, более светлое стекло ЭС-100 — для сварки током 100 А и менее. Снаружи светофильтр защищают от брызг расплавленного металла обычным прозрачным стеклом, которое нужно 2—3 раза в месяц заменять новым.

Электрододержатели применяют для закрепления электрода и подвода к нему тока при ручной электродуговой сварке.

Основные параметры электрододержателей должны соответствовать указанным в табл. 27.

27. Электрододержатели

Номинальная сила сварочного тока, А	Продолжительность цикла, мин	Отношение продолжительности рабочего периода к продолжительности цикла (ПР%)	Масса, кг	Диаметр электрода, мм	Сечение присоединенного сварочного провода, мм ²
125	5	60	0,35	1,5—3	25
315			0,50	2—6	50
500			0,70	4—10	70

Электрододержатели должны допускать возможность захвата электрода не менее чем в двух положениях: перпендикулярно и под углом не менее 115° к оси электрододержателя. Конструкция электрододержателя должна обеспечить время на смену электрода не более 4 с. Токоведущие части электрододержателей должны быть надежно изолированы от случайного соприкосновения со свариваемым изделием или руками сварщика. Соприкосновение изоляции должно быть не менее 5 Мом.

Изоляция рукоятки должна выдерживать без пробоя в течение 1 мин испытательное напряжение 1500 В при частоте 50 Гц.

Повышение температуры наружной поверхности рукоятки при номинальном режиме работы не должно быть более 55° С. Поперечное сечение рукоятки на длине, охватываемой ладонью сварщика, должно вписываться в круг диаметром не более 40 мм.

Электрододержатели должны обладать достаточной механической прочностью. Схемы некоторых конструкций электрододержателей показаны на рис. 56.

Дополнительный инструмент сварщика. Для присоединения провода к изделию применяют винтовые зажимы типа струбин, в которые конец провода впаивают твердым припоем. Зажимы должны обеспечивать плотный контакт со свариваемым изделием.

Для зачистки швов и удаления шлака применяют проволочные щетки — ручные и с электроприводом.

Для клеймения швов, вырубки дефектных мест, удаления брызг и шлака служат клейма, зубила и молотки.

Для хранения электродов при сварке на монтаже применяют брезентовые сумки длиной 300 мм, подвешиваемые к поясу сварщика. В цехо-

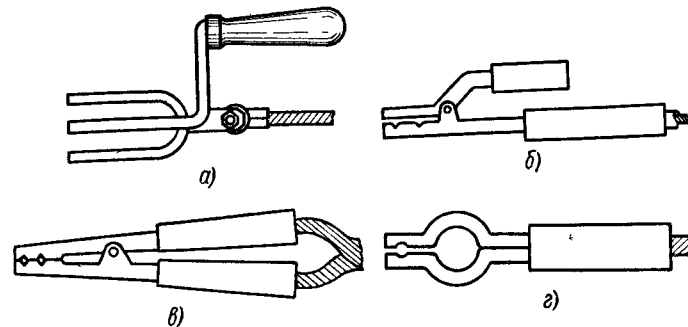


Рис. 56. Типы электрододержателей:

а — вилочный; б — щипцовый; в — завода «Электрик»; г — с пружиной кольцом

вых условиях для этой цели используют стаканы, изготовленные из отрезка трубы диаметром 50—75 мм, длиной 300 мм, с приваренным дюймовым-подставкой.

Сварочные провода служат для подвода тока от сварочной машины или трансформатора к электрододержателю и свариваемому изделию. Электрододержатели снабжают гибким изолированным проводом ПРГ (провод резиновый гибкий) или ПРГН (провод резиновый гибкий нейритовый), сплетенным из большого количества медных, отоженных и пролуженных проволочек диаметром 0,18—0,2 мм.

Рекомендуемые сечения сварочного провода приведены в табл. 28. Применять провод длиной более 30 м не рекомендуется; так как это вызывает значительное падение напряжения в сварочной цепи.

28. Сечения сварочного провода в зависимости от силы тока

Сила тока, А	Сечение провода, мм ²	
	одинарного	двойного
200	25	—
300	50	2×16
400	70	2×25
500	95	2×35

ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ СВАРКИ И НАПЛАВКИ

При электродуговой сварке плавлением применяют неплавящиеся и плавящиеся электродные стержни, покрытые электроды и некоторые другие вспомогательные материалы (флюсы, защитные газы и т. д.).

Неплавящиеся электродные стержни изготавливают из электротехнического угля, синтетического графита или из вольфрама.

Плавящиеся электродные стержни для сварки применяют в виде холоднотянутой калиброванной проволоки диаметром 0,3—12 мм, а также горячекатаной или порошковой проволоки, электродной ленты и электродных пластин.

Стальную сварочную проволоку изготавливают по ГОСТ 2246—70 и специальным техническим условиям. По ГОСТ 2246—70 сварочная проволока разделяется на низкоуглеродистую, легированную и высоколегированную. Условное обозначение легирующих элементов в проволоке приведено в табл. 29.

29. Условное обозначение легирующих элементов

Элемент	Условное обозначение		Элемент	Условное обозначение	
	в таблице Менделеева	в марке стали		в таблице Менделеева	в марке стали
Марганец	Mn	Г	Титан	Ti	Т
Кремний	Si	С	Ниобий	Nb	Б
Хром	Cr	Х	Ванадий	V	Ф
Никель	Ni	Н	Кобальт	Co	К
Молибден	Mo	М	Медь	Cu	Д
Вольфрам	W	В	Бор	B	Р
Селен	Se	Е	Азот	N	А*
Алюминий	Al	Ю			

* В высоколегированных сталях В конце обозначения марки не ставят

При содержании в проволоке менее 1% легирующего элемента ставят только букву этого элемента; если содержание легирующего элемента превышает 1%, то после буквы в целых единицах указывают содержание этого элемента.

Буква А в конце марки свидетельствует о том, что сталь высококачественная и содержит минимальное количество серы и фосфора.

Условное обозначение сварочной проволоки состоит: из цифры, которая соответствует диаметру проволоки в мм; букв Св — сварочная; из цифр, показывающих содержание углерода и буквенных обозначений элементов, входящих в состав проволоки.

Например, проволоку диаметром 2 мм из низкоуглеродистой кремне-марганцевой стали, содержащую 1,4—1,7 Мп и 0,60—0,85 Si, обозначают: проволока 2 Св-08ГС.

Сварочная проволока для сварки алюминия и его сплавов, согласно ГОСТ 7871—63, маркируется: АД1, АД, СВАМц, СВАМч3, СВАМ6, АЛ4, АЛ5, АЛ9, АК.

Для сварки меди и ее сплавов применяют медные проволоки марок М1 и М2, бронзовые — марок БрКМц3-1 и БрОЦ4-3 и латунные марок Л63, Л68, Л60-1 и др.

Для сварки титана применяют сварочную проволоку из сплава ВТ-1 и др.

При сварке чугуна применяют стержни, отлитые из серого чугуна марок А и Б.

Низкоуглеродистая и легированная проволока по особому требованию заказчика может быть изготовлена с омедненной поверхностью. Кроме того, по особому требованию изготавливают проволоку из стали, выплавленной электрошлаковым вакуум-дуговым или вакуум-индукционным методом.

Различные виды проволоки имеют условное обозначение для изготовления электродов — Э, омедненная — О, электрошлаковая — Ш, вакуум-дуговая — ВД, вакуум-индукционная — ВИ.

Проволоку поставляют потребителю в мотках (табл. 30), а по согласованию с поставщиком — в мотках прямоугольного сечения (табл. 31) или намотанной на катушки и в кассеты.

Поверхность ее должна быть чистой, без окалины, ржавчины, грязи и масла. Химический состав различных марок сварочной проволоки приведен в табл. 32. Характеристика электродных стержней, применяемых для сварки чугуна, цветных металлов и сплавов, приведены в соответствующих главах.

30. Размеры и масса мотков проволоки (ГОСТ 2246—70)

Диаметр проволоки, мм	Внутренний диаметр витков мотка проволоки, мм	Масса мотка проволоки, кг, не менее		
		из углеродистой стали	из легированной стали	из высоколегированной стали
0,3—0,8	150—300	2	2	1,5
1—1,2	250—400	20	15	10
1,4	250—500	25	15	10
1,6—2	250—600	30	20	15
4—10	450—700	40	30	20
12	600—750	—	—	—

31. Размеры мотков (мм) прямоугольного сечения

Диаметр проволоки	Диаметр мотка		Высота мотка
	наружный	внутренний	
0,8—1,6	175	100	50
1,6—2	250	175	
2—3	320	220	85
3		260	
4—5	600	400	90

32. Химический состав сталей

Вид стали	Марка проволоки	Химический состав, %			
		C	Si	Mn	Cr
Низкоуглеродистая	Св-08	≤0,10	≤0,03	0,35—0,60	≤0,15
	Св-08А	≤0,10	≤0,03	0,35—0,60	≤0,12
	Св-08АА	≤0,10	≤0,03	0,35—0,60	≤0,10
	Св-08ГА	≤0,10	≤0,03	0,80—1,10	≤0,10
	Св-10ГА	≤0,12	≤0,03	1,10—1,40	≤0,20
	Св-10Г2	≤0,12	≤0,03	1,50—1,90	≤0,20
Легированная	Св-08ГС	≤0,10	0,60—0,85	1,40—1,70	≤0,20
	Св-12ГС	≤0,14	0,60—0,90	0,80—1,10	≤0,20
	Св-08Г2С	0,05—0,11	0,70—0,95	1,80—2,10	≤0,20
	Св-10ГН	≤0,12	0,15—0,35	0,90—1,20	≤0,20
	Св-08СМТ	0,06—0,11	0,40—0,70	1,00—1,30	≤0,30
	Св-15ГСТЮЦА	0,12—0,18	0,45—0,85	0,60—1,00	≤0,30
	Св-20ГСТЮА	0,17—0,23	0,60—0,90	0,90—1,20	≤0,30
	Св-18ХГС	0,15—0,22	0,90—1,20	0,80—1,10	0,80—1,10
	Св-10НМА	0,07—0,12	0,12—0,35	0,40—0,70	≤0,20
	Св-08МХ	0,06—0,10	0,12—0,30	0,35—0,60	0,45—0,65
	Св-08ХМ	0,06—0,10	0,12—0,30	0,35—0,60	0,90—1,20
	Св-18ХМА	0,15—0,22	0,12—0,35	0,40—0,70	0,80—1,10
	Св-08ХНМ	≤0,10	0,12—0,35	0,50—0,80	0,70—0,90
	Св-08ХМФА	0,06—0,10	0,12—0,30	0,35—0,60	0,90—1,20
	Св-10ХМФТ	0,07—0,12	≤0,35	0,40—0,70	1,40—1,80
	Св-08ХГ2С	0,05—0,11	0,70—0,95	1,70—2,10	0,70—1,00
	Св-08ХГСМА	0,06—0,10	0,45—0,70	1,15—1,45	0,85—1,15
	Св-10ХГ2СМА	0,07—0,12	0,60—0,90	1,70—2,10	0,80—1,10
	Св-08ХГСМФА	0,06—0,10	0,45—0,70	1,20—1,50	0,95—1,25
	Св-04Х2МА	≤0,06	0,12—0,35	0,40—0,70	1,80—2,20
	Св-13Х2МФТ	0,10—0,15	≤0,35	0,40—0,70	1,70—2,20
	Св-08Х3Г2СМ	≤0,10	0,45—0,75	2,00—2,50	2,00—3,00
	Св-08ХМНФБА	0,06—0,10	0,12—0,30	0,35—0,60	1,10—1,40
	Высоколегированная	Св-08Х19Н10Г2Б	0,05—0,10	0,20—0,45	1,80—2,20
Св-06Х19Н10М3Т		≤0,08	0,30—0,80	1,00—2,00	18,00—20,00
Св-08Х19Н10М3Б		≤0,10	≤0,60	1,00—2,00	18,00—20,00
Св-04Х19Н11М3		≤0,06	≤0,60	1,00—2,00	18,00—20,00
Св-05Х20Н9ФБС		≤0,07	0,90—1,50	1,00—2,00	19,00—21,00
Св-08Х20Н9С2БТЮ		≤0,10	2,00—2,50	1,00—2,00	19,00—21,00
Св-06Х20Н11М3ТБ		≤0,08	0,50—1,00	≤0,80	19,00—21,00
Св-10Х20Н15		≤0,12	≤0,80	1,00—2,00	19,00—22,00
Св-07Х25Н12Г2Т		≤0,09	0,30—1,00	1,50—2,50	24,00—26,50
Св-06Х25Н12ТЮ		≤0,08	0,60—1,00	≤0,80	24,00—26,50
Св-07Х25Н13		≤0,09	0,50—1,00	1,00—2,00	24,00—26,50
Св-08Х25Н13БТЮ		≤0,10	0,60—1,00	≤0,55	24,00—26,50
Св-13Х25Н18		≤0,15	≤0,50	1,00—2,00	24,00—26,50
Св-08Х20Н9Г7Т		≤0,10	0,50—1,00	5,00—8,00	18,50—22,00
Св-08Х21Н10Г6		≤0,10	0,20—0,70	5,00—7,00	20,00—22,00
Св-30Х25Н16Г7		0,25—0,33	≤0,30	6,00—8,00	24,50—27,00
Св-10Х16Н25АМ6		0,08—0,12	≤0,60	1,00—2,00	15,00—17,00
Св-09Х16Н25М6АФ		0,07—0,11	≤0,40	1,00—2,00	15,00—17,00
Св-01Х23Н28М3Д3Т		≤0,03	≤0,55	≤0,55	22,00—25,00
Св-30Х15Н35В3Б3Т		0,27—0,33	≤0,60	0,50—1,00	14,00—16,00
Св-08Н50		≤0,10	≤0,50	≤0,50	≤0,30
Св-06Х15Н60М15		≤0,08	≤0,50	1,00—2,00	14,00—16,00

сварочной проволоки (ГОСТ 2246—70)

состав, %	Ni	Mo	Ti	S		Прочие элементы
				P	не более	
≤0,30	—	—	—	0,040	0,040	0,01 Al, (не более)
≤0,25	—	—	—	0,030	0,030	
≤0,25	—	—	—	0,020	0,020	
≤0,25	—	—	—	0,025	0,030	
≤0,30	—	—	—	0,025	0,030	
≤0,30	—	—	—	0,030	0,030	
≤0,25	—	—	—	0,025	0,030	—
≤0,30	—	—	—	0,025	0,030	
≤0,25	—	—	—	0,025	0,030	
0,90—1,20	—	—	—	0,025	0,030	
≤0,30	0,20—0,40	—	0,05—0,12	0,025	0,025	
≤0,40	—	—	0,05—0,20	0,025	0,025	
≤0,40	—	—	0,10—0,20	0,025	0,025	0,2—0,50 Al; 0,05—0,15 Zr; 0,40 Ce (не менее)
≤0,30	—	—	—	0,025	0,030	—
1,00—1,50	0,40—0,55	—	—	0,025	0,030	
≤0,30	0,40—0,60	—	—	0,025	0,030	
≤0,30	0,50—0,70	—	—	0,025	0,030	
≤0,30	0,15—0,30	—	—	0,025	0,025	
0,80—1,20	0,25—0,45	—	—	0,025	0,030	
≤0,30	0,50—0,70	—	—	0,025	0,025	0,15—0,30 V 0,20—0,35 V
≤0,30	0,40—0,60	—	—	0,030	0,030	
≤0,25	0,40—0,60	0,05—0,12	—	0,025	0,030	
≤0,30	0,40—0,60	—	—	0,025	0,025	
≤0,30	0,50—0,70	—	—	0,025	0,025	
≤0,25	0,50—0,70	—	—	0,020	0,025	
≤0,30	0,40—0,60	—	—	0,030	0,030	0,20—0,35 V
≤0,30	0,30—0,50	—	0,05—0,12	0,030	0,030	—
0,65—0,90	0,80—1,00	—	—	0,025	0,025	0,20—0,35 V 0,10—0,23 Nb
9,50—10,50	—	—	—	0,020	0,030	0,90—1,30 Nb
9,00—11,0	2,00—3,00	—	0,50—0,80	0,018	0,025	
9,00—11,00	2,00—3,00	—	—	0,018	0,025	
10,00—12,00	2,00—3,00	—	—	0,018	0,025	
8,00—40,00	—	—	—	0,020	0,030	
8,00—10,00	—	—	0,60—1,00	0,020	0,035	
10,00—12,00	2,50—3,00	—	0,60—1,10	0,018	0,030	0,60—1,00 Nb 0,30—0,70 Al 0,60—0,90 Nb
14,00—16,00	—	—	—	0,018	0,025	
11,00—13,00	—	—	0,60—1,00	0,020	0,035	
11,50—13,50	—	—	0,60—1,00	0,020	0,030	
12,00—14,00	—	—	—	0,018	0,025	
12,00—14,00	—	—	0,50—0,90	0,020	0,030	
17,00—20,00	—	—	—	0,015	0,025	—
8,00—10,00	—	—	0,60—0,90	0,018	0,035	
9,00—11,00	—	—	—	0,018	0,035	
15,00—17,00	—	—	—	0,018	0,030	
24,00—27,00	5,50—7,00	—	—	0,018	0,025	
24,00—27,00	5,50—7,00	—	—	0,018	0,018	
26,00—29,00	2,50—3,00	—	0,50—0,90	0,018	0,030	0,10—0,20 N 0,70—1,00 V 0,10—0,20 N 2,50—3,50 Cu 2,50—3,50 W 2,80—3,50 Nb
34,00—36,00	—	—	0,20—0,70	0,015	0,025	
48,00—53,00	—	—	—	0,020	0,030	
Основа	14,00—16,00	—	—	0,015	0,015	
—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	

Классификация и основные ГОСТы на электроды. Электроды классифицируют: по материалу, из которого они изготовлены; по металлу, для сварки которого они предназначены; по количеству покрытия, нанесенного на стержень; химическому составу стержня и покрытия; характеру шлака, образующегося при расплавлении покрытия; механическим свойствам металла шва.

Покрытия электродов подразделяют на тонкие (стабилизирующие) и качественные. Тонкие покрытия наносят слоем 0,1—0,3 мм на сторону, они не обеспечивают высоких механических свойств наплавленному металлу. Качественные (толстые) покрытия наносят слоем 0,5—2,5 мм на сторону, что составляет 20—40% от массы металла электродного стержня.

В состав качественных покрытий электродов входят следующие группы компонентов: стабилизирующие, шлакообразующие, газообразующие, раскисляющие, легирующие и клеящие или связующие. Обычно раскисляющие, шлакообразующие и клеящие вещества вводят почти во все качественные покрытия.

Стабилизирующие вещества вводят в покрытие для снижения потенциала ионизации паров металла и повышения устойчивости горения сварочной дуги.

Шлакообразующие составляющие служат для защиты расплавленного металла от воздействия кислорода и азота воздуха путем образования шлаковых оболочек на поверхности капель электродного металла, переходящих через дуговой промежуток, и для образования шлакового покрова на поверхности расплавленного металла шва. Шлакообразующие компоненты представляют собой окислы металлов и металлоидов, которые вводят в покрытие в виде титанового концентрата (ильменита), марганцевой руды (пиролюзита), полевого шпата, мрамора, мела, каолина, кварцевого песка, доломита и других веществ. Газообразующие вещества при сгорании создают газовую защитную атмосферу, предохраняющую расплавленный металл от воздействия кислорода и азота воздуха. Их вводят в покрытие в виде органических соединений: древесной муки, хлопчатобумажной пряжи, крахмала, пищевой муки, декстрина, оксидцеллюлозы и т. д. Раскисляющие элементы обладают большим сродством к кислороду, чем железо. К ним относятся: марганец, кремний, титан, алюминий, графит и др.

Эти элементы, находясь в расплавленном металле сварного шва, легче вступают в химические соединения с кислородом и, будучи саморастворимыми в стали или обладая ограниченной растворимостью, в виде окислов всплывают на поверхность сварочной ванны. Большинство раскислителей вводят в покрытие не в чистом виде, а в виде ферро-сплавов.

Легирующие вещества вводят в покрытие для придания специальных свойств наплавленному металлу, в основном для повышения механических свойств, износостойкости, жаростойкости, сопротивления коррозии. Наиболее часто применяемыми легирующими элементами являются: хром, никель, молибден, вольфрам, марганец, титан и др. Связующие вещества (клеящие) служат для скрепления составляющих покрытия между собой и со стержнем электрода. В качестве связующих веществ применяют жидкое стекло (содовое или калиевое), декстрин, желатин, пластмассы и др.

Стальные электроды изготовляют в соответствии с ГОСТ 9466—60, 9467—60, 10051—62, 10052—62*. ГОСТ 9466—60 подразделяет электроды на группы в зависимости от свариваемых сталей: а) углеродистых и легированных конструкционных; б) легированных теплоустойчивых; в) высоколегированных с особыми свойствами. Отдельную группу составляют электроды для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами. Размеры электродов приведены в табл. 33.

33. Размеры (мм) стальных электродов (ГОСТ 9466—60)

d_3	L при стержне из проволоки	
	углеродистой или легированной	высоколегированной
1,6, 2 2,5, 3 4	225, 250 350 400; 450	225; 250 250 350
5, 6, 8, 10, 12	450	350, 450

Примечания: 1. По согласованию сторон допускается изготовление электродов и других размеров.
2. Для безогарковой сварки и других назначений электроды изготовляют покрытиями по всей длине с зачисткой обоих торцов

Электроды для сварки углеродистых, легированных конструкционных и легированных жаропрочных сталей ГОСТ 9467—60 классифицирует в зависимости от механических характеристик металла шва и сварного соединения, выполненного этими электродами, на несколько типов. Каждому типу может соответствовать одна или несколько марок электродов. Марка электродов характеризуется определенным составом покрытия, маркой электродного стержня, технологическими свойствами, свойствами металла шва.

Общие требования к электродам, правила приемки, методы испытаний швов и сварных соединений, условия маркировки и упаковки, документация на электроды регламентированы ГОСТ 9466—60

Условное обозначение электродов для сварки конструкционных сталей состоит из обозначения марки электрода, типа электрода, диаметра стержня, типа покрытия и номера ГОСТа. Например, условное обозначение электрода УОНИ-13/45-Э42А-4,0-Ф ГОСТ 9467—60 расшифровывается: УОНИ-13/45 — марка электрода; Э42А — тип элек-

* К теплоустойчивым относят перлитные стали, предназначенные для изготовления энергетического оборудования, химической и нефтяной аппаратуры (например, стали 15ХМ, 30ХМ).

трода (Э — электрод для дуговой сварки; 42 — минимальный гарантируемый предел прочности металла шва в кгс/мм²; А — гарантируется получение повышенных пластических свойств металла шва); 4,0 — диаметр электродного стержня в мм; Ф — фтористокальциевый тип покрытия, и, наконец, номер ГОСТа, по которому стандартизован электрод.

Типы покрытий обозначают следующими буквами:

Р — руднокислое покрытие содержит в своем составе окислы железа и марганца, способные активно окислять металл. Металл шва отличается повышенной окисленностью. Электроды дают плотный металл швов и позволяют выполнять сварку на постоянном (прямой и обратной полярности) и переменном токе.

Т — рутиловое покрытие содержит в своем составе значительное количество двуокиси титана в виде рутила. Электроды дают плотный металл швов при увеличении массы покрытия и при наличии ржавчины на кромках изделия. При сварке на постоянном и переменном токе разбрызгивание незначительно. Устойчивость горения дуги высокая, формирование швов во всех пространственных положениях хорошее.

Ф — фтористокальциевое покрытие, имеющее в качестве основы фтористый кальций (плавиковый шпат) и карбонаты кальция (мрамор, мел). Сварку электродами с фтористокальциевым покрытием осуществляют на постоянном токе при обратной полярности. Вследствие малой склонности металла шва к образованию кристаллизационных и холодных трещин электроды с этим покрытием используют для сварки больших сечений.

О — органическое покрытие.

По международной классификации электроды подразделяют по следующим признакам: механическим свойствам металла шва, типу покрытия, положению шва в пространстве, роду тока и полярности. Тип покрытия по международной классификации условно обозначают следующими буквами: А — руднокислое (кислое), В — основное (фтористокальциевое), С — органическое (целлюлозное), О — окислительное, Р — рутиловое, V — специальное.

Состав главных компонентов электродных покрытий приведен в табл. 34 и 35.

Электроды для сварки конструкционных и низколегированных сталей. Для сталей обычной прочности предназначены электроды Э34, Э42, Э46, Э46А, Э50, Э50А, Э55, Э60, для конструкционных сталей повышенной прочности — электроды Э70, Э85, Э100, Э125, Э145. Механические свойства швов и сварных соединений при применении электродов для сварки конструкционных сталей должны соответствовать нормам, приведенным в табл. 36. Характеристика электродов дана в табл. 37.

Электроды для сварки теплоустойчивых сталей. Эти стали сваривают электродами восьми типов по ГОСТ 9467—60, которые классифицируют по механическим свойствам и химическому составу наплавленного металла. Буквы, стоящие после буквы Э, показывают гарантийное содержание легирующих элементов в наплавленном металле. Содержание легирующих элементов, если оно превышает 1%, ставят после соответствующей буквы в целых единицах (процентах); если содержание легирующего элемента менее 1%, то ставится только соответствующая буква. Например, электроды типа Э-Х2МФБ гарантируют в наплавленном металле шва более 2% хрома, до 1% молибдена, ванадия и ниобия. Характеристика электродов для сварки теплоустойчивых сталей приведена в табл. 38 и 39.

34. Химический состав (%) компонентов электродных покрытий

Компоненты	ГОСТ или ТУ	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaCO ₃	CaO	Na ₂ O + K ₂ O	Прочие	P	S
Концентрат ильменитовый титановый электродный	4414—48	≤5,0	—	—	—	—	—	≥38; ≤52	≤0,05	≤0,20
Марганцевая руда электродная	4418—48	≤10,0	≤3,0	—	—	—	—	≥45,0	≤0,20	≤0,10
Каолин	6138—61 **	43—48	34—43	—	—	—	—	0,3	≤0,01	—
Полевой шпат электродный	4422—48	64—70	17—21	≤1,5	—	≤1,5	≥10,0	1,0—0,5	—	—
Песок кварцевый	4417—48 *	≥97,0	—	—	—	—	—	—	—	—
Мрамор электродный*	4416—48 *	—	—	—	92,0	—	—	—	≤0,015	≤0,04
Мел	4415—48 *	—	—	≤0,5	≥96,0	—	—	—	≤0,015	≤0,06
Гранит	ТУ-ДИИИТ-МАШ	69—73	16—18	≤3,4	—	≤2,6	3,5—3,7	—	≤0,1	≤0,015
Плавиковый шпат	4421—73	≤5,0	—	—	—	—	—	≥92,0	Следы	≤0,1

* С 1 января 1976 г. вводится ГОСТ 4416—73.

35. Химический состав ферросплавов (%)

Ферросплав	ГОСТ	Марка	C	Si	P	S	Mn	Mo	Прочие
Ферромарганец малоугле- родистый		Мн0, сорт высший Мн0, сорт первый	≤0,50	≤1,50	≤0,20	≤0,03	85,0	—	—
			≤0,50	≤2,00	≤0,30	85,0	—	—	
Ферромарганец углеродистый электропечной	4755—70	Мн4, сорт высший Мн4, сорт первый	≤7,00	≤1,25	≤0,33	≤0,03	76,0	—	—
			≤7,00	≤2,00	≤0,33	76,0	—	—	
Ферромарганец среднеугле- родистый		ФМн-1,0А, сорт высший ФМн-1,0, сорт первый	≤1,00	≤2,00	≤0,20	≤0,03	85,0	—	—
			≤1,00	≤1,50	≤0,20	85,0	—	—	
Ферромарганец углеродистый доменный	5165—49*	Мн6, группа А	—	≤2,00	≤0,35	≤0,03	70,0	—	—
Ферросилиций	1415—70	ФСн75, сорт высший ФСн75, сорт первый ФСн75, сорт первый	—	74—80	≤0,03	≤0,03	0,6	—	0,3 Cr
			—	74—80	≤0,05	≤0,04	—	—	1,5 > Al
			—	74—80	≤0,05	≤0,04	—	—	1,5 Cr
Феррохром углеродистый	4757—67	Хр4, низкокремнистый Хр6, низкокремнистый	4,1—5,5	≤2,0	≤0,07	≤0,04	—	—	65,0 Cr
			6,6—8,0	≤2,0	≤0,07	≤0,04	—	—	65,0 Cr

Продолжение табл. 35

Ферросплав	ГОСТ	Марка	C	Si	P	S	Mn	Mo	Прочие
Ферротитан	4761—67*	Тн1, сорт высший	≤0,15	≥0,20	≤0,05	≤0,05	—	—	8,0 Ti, 3,0 Cu, 5,0 > Al
Ферромolibден	4759—69	ФМ-1, сорт высший ФМ-2, сорт первый ФМ-3, сорт первый	0,05	0,80	0,05	0,03	—	58,0	0,8 Cu
			0,10	1,50	0,10	0,03	—	55,0	1,5 > Cu
			0,20	2,0	0,20	0,03	—	55,0	7,0 Al
Ферроникобий	16773—71	ФН1 ФН2 ФН3	0,10	1,5	0,15	0,05	—	—	3,0 Al; 1,5 Ti
			0,25	2,0	0,15	0,05	—	—	6,0 Al; 3,0 Ti
			0,20	15,0	0,20	0,05	—	—	5,0 Al; 8,0 Ti
Феррованадий	4760—49*	Вд3, сорт первый	1,0	3,0	0,25	0,16	—	—	35 V, 2,0 > Al
Ферровольфрам	17293—71	В1 В2	0,3	0,5	0,04	0,08	0,4	—	72 W, 1,5 Mo
			0,5	0,8	0,06	0,10	0,5	—	71 W, 2,0 Mo

36. Электроды металлические для дуговой сварки конструкционных сталей (ГОСТ 9467—80)

Тип	Механические свойства шва или наплавленного металла при диаметре электрода				Содержание (%) в металле шва или в наплавленном металле		Основное назначение
	до 2,5 мм		св 2,5 мм		Сера	Фосфор	
	Временное сопротивление разрыву, кгс/мм ²	Угол загиба, градусы	Временное сопротивление разрыву, кгс/мм ²	Ударная вязкость, кгс·м/см ²			
Э34 Э42 Э42А Э46 Э46А	34 42 42 46 46	30 120 180 120 150	34 42 42 46 46	— 18 22 18 22	— 8 14 8 14	0,05 0,05 0,04 0,05 0,04	Сварка малоуглеродистых и низколегированных сталей
Э50 Э50А Э55	50 50 55	90 150 140	50 50 55	16 20 20	6 13 12	0,05 0,04 0,04	Сварка среднеуглеродистых и низколегированных сталей
Э60 Э60А Э70 Э85 Э100 Э125 Э145	— — — — — — —	— — — — — — —	60 60 70 85 100 125 145	16 18 12 12 10 6 5	6 10 6 5 5 4 4	0,04	Сварка легированных сталей повышенной прочности

Примечание. Для электродов типов Э85, Э100, Э125, Э145 механические свойства указаны после термической обработки соответственно паспорту на электроды

37. Характеристика электродов для сварки конструкционных сталей (ГОСТ 9467—80)

Тип	Марка	Род и полярность тока	Положение сварки	Коэффициент наплавки, г/Ач	Типичные механические свойства металла шва и сварного соединения																																				
					Временное сопротивление, кгс/см ²	Предел текучести, кгс/мм ²	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %	Ударная вязкость, кгс м/см ² при температуре, °С	Угол загиба, градуса																															
Э34-Р Э42-Р Э42-П Э42-Т Э42-О Э42-О	АН-1 ОММ-5 СМ-5 ЦМ-7 АНО-1 ОМА-2 ВСП-16	Переменный и постоянный, любая полярность	Все положения	9 7,2 7,2 10,6 15 10 10	38 48 45 48 46 46	— 37 32 36 38 — 38,5	6 22 25 22 28 19 25	— 55 60 55 60 — 68	1 10 12 10 13 — 13	— 5 8 4 8 — —	75 160 180 160 180 150 160																														
												Переменный и постоянный на электроде +	Все положения	10,5	47	37	28	60	9	—	180																				
																						Постоянный и постоянный на электроде +	Все положения	8,5	46	36	26	65	22	18	180										
																																То же, и переменный	Все положения	9,5	48	36	28	60	22	16	180
Переменный и постоянный, любая полярность	Нижнее	14	48	39	24	55	12	9	180																																
										Переменный и постоянный на электроде +	Нижнее	15	49	40	25	60	12	7	180																						
																				Переменный и постоянный, любая полярность	Нижнее	7,8	49	38,5	26	56	14	8	160												
																														Переменный и постоянный, любая полярность	Нижнее	9	47,5	38	21	56	14	8	150		
																																								Переменный и постоянный, любая полярность	Нижнее

Продолжение табл. 37

Тип	Марка	Род и полярность тока	Положение сварки	Коэффициент наплавки, г/А·ч	Типичные механические свойства металла шва и сварного соединения				Ударная вязкость, ктс·м/см ² при температуре, °С		Угол загиба, градуса								
					Временное сопротивление, ктс/см ²	Предел текучести, ктс/мм ²	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %	+20	-40									
Э46А-Ф	Э-138/45Н	Постоянный на электроде +	Все положения	8,5	47	35	22	—	15	3	180								
Э50-О	ВСЦ-3	Постоянный, любая полярность										9,5—13	51	41	21	57	—	—	105
Э50А-Ф	УОНИ-13/55	Постоянный на электроде +	Нижнее, вертикальное каленое Все положения Нижнее	9	52	42	24	62	20	—	165								
Э50А-Ф	ДСК-50	Постоянный на электроде +										10	52	—	28,6	—	20	14	180
Э50А-Ф	УП-1/55	Постоянный на электроде +										10	54	40	25	62,5	24	—	165
Э50А-Ф	УП-2/55	Переменный и переменный										10	54	40	25	62	24	—	165
Э55-Ф	УОНИ-13/55У*	Постоянный на электроде +	Все положения	9,5	57	48	22	60	16	—	160								
Э60А-Ф	УОНИ-13/65	Постоянный на электроде +										9	62	47	21	65	18	—	180
Э70-Ф	ЛКЗ 70	Постоянный на электроде +	Нижнее	9,5	80	60	16,5	53,5	9	5	—								
Э85-Ф**	УОНИ-13/85	Постоянный на электроде +										9,5	90	53	14	55	9	—	—
Э85-Ф**	УОНИ-13/85У*	Постоянный на электроде +	Все положения	10	90	79,5	15	—	9	—	—								
Э100-Ф**	ЦЛ-19-63	Постоянный на электроде +										9	106	101	13	48	7,5	—	—
Э145-Ф**	НИАТ-3	Постоянный на электроде +		10	160	—	10	—	5	—	40								

* Предназначены для вайной сварки стержней арматуры железобетонных конструкций и рельсов. Могут быть использованы для обычной дуговой сварки. Марка УОНИ-13/55У ранее обозначалась УОНИ-13/55А.
 ** Механические свойства указаны после термической обработки.

38. Электроды металлические для дуговой сварки теплоустойчивых сталей (ГОСТ 9467—80)

Тип	Механические свойства при температуре 20°С		Химический состав, %									
	Временное сопротивление разрыву, ктс/мм ²	Относительное удлинение, %	С	Si	Mn	Cr	Mo	V	Nb	S	P	
Э-М	50	18	0,06—0,12	Не более 0,35	0,40—0,80	—	0,40—0,70	—	—	0,05	0,05	
Э-МХ	50	18	0,06—0,12	Не более 0,35	0,40—0,80	0,30—0,60	0,40—0,70	—	—	0,04	0,04	
Э-ХМ	50	16	0,06—0,12	0,15—0,45	0,50—0,90	0,70—1,00	0,40—0,70	—	—	0,04	0,04	
Э-ХМФ	50	16	0,08—0,13	0,15—0,45	0,50—0,90	0,80—1,20	0,40—0,70	0,10—0,35	—	0,04	0,04	
Э-ХМФВ	55	14	0,08—0,13	0,15—0,45	0,50—0,90	1,00—1,40	0,70—1,00	0,15—0,40	0,10—0,25	0,04	0,04	
Э-Х2МФБ	55	14	0,08—0,13	0,15—0,45	0,50—0,90	2,40—3,00	0,70—1,00	0,25—0,50	0,35—0,65	0,04	0,04	
Э-Х5МФ	55	14	0,08—0,13	0,15—0,45	0,50—0,90	4,50—5,00	0,40—0,70	0,10—0,35	—	0,04	0,04	

Примечания: 1. Механические свойства и химический состав приведены для металла шва или наплавленного металла.
 2. Нормы механических свойств указаны после термообработки соответственно паспорту на электроды.

39. Характеристика электродов для
(ГОСТ

Тип	Марка	Положение сварки	Ток и полярность	Коэффициент наплавки, г/а·ч	Механические свойства		
					Временное сопротивление, кгс/мм ²	Относительное удлинение, %	Ударная вязкость, кгс·м/см ²
Э-М-Ф	ЦУ-2М	Все положения	Постоянный на электроде + То же, и переменный	9—10	60	19	15
Э-МХ-Р	ЦЛ-14			10,50	51	25,70	15
Э-МХ-Ф	ЦЛ-14	Нижнее и вертикальное	Постоянный на электроде +	8	53	19	9
Э-МХ-Ф	ЦЛ-30-63			10,40	65	16	12
Э-ХМФ-Ф	ЦЛ-20-63	Все положения	Постоянный на электроде +	10,30	59	20	14
Э-ХМФБ-Ф	ЦЛ-27			10—10,30	55	16	5
Э-Х2МФБ-Ф	ЦЛ-26М-63	Все положения	Постоянный на электроде +	10,50	64	18	12
Э-Х5МФ-Ф	ЦЛ-17-63			10,50	65	18	15

Примечание. Механические свойства и химический состав

Электроды для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами. Для сварки этих сталей применяют 27 типов электродов по ГОСТ 10052—62.

Электроды этой группы классифицируют по химическому составу наплавленного металла, содержанию ферритной фазы, по стойкости против межкристаллитной коррозии и по механическим свойствам наплавленного металла, испытанного при температуре +20° С.

Состав и свойства наплавленного металла приведены в табл. 40, а характеристика электродов — в табл. 41. В обозначении типа электрода буква А, стоящая после буквы Э относится к аустенитному, а буква Ф к ферритному металлу. Буквы, стоящие после дефиса, обозначают названия элементов, содержание которых гарантировано в наплавленном металле.

Электроды для наплавки поверхностных слоев. В ГОСТ 10051—62 приведено 25 типов электродов для этих целей.

Свойства электродов определяют: химический состав и диаметр электродного стержня; химический состав и массу покрытия. Химический состав электродного стержня оказывает значительное влияние на химический состав наплавленного металла и его механические свойства. Диаметр электродного стержня оказывает влияние на технологическую применимость электрода и определяет диапазон допустимых значений

сварки теплоустойчивых сталей
9467—60)

Химический состав, %									
C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Nb	S	P	не более
0,12	0,15—0,35	0,60—0,80	—	0,45—0,65	—	—	0,05	0,05	
0,09	0,20	0,75	0,40	0,50	—	—	0,04	0,04	
0,12	0,25	0,85	0,55	0,50	—	—	0,03	0,03	
0,10	0,10	0,50	1,10	0,50	—	—			
0,10	0,25	0,75	1	0,55	0,20	—			
0,08—0,13	0,15—0,35	0,60—0,90	1—1,40	0,75—1,00	0,15—0,30	0,10—0,20			0,04
0,10	0,25	0,75	2,70	0,30	0,35	0,50			
0,10	0,30	0,70	4,80	0,55	0,20	—			

приведены типичные для металла шва или наплавленного металла

силы сварочного тока, а следовательно, и нагрев свариваемого изделия, размеры и жидкотекучесть сварочной ванны. Состав и свойства наплавленного металла электродами этой группы приведены в табл. 42, а характеристика электродов — в табл. 43.

Расчет расхода электродов. Основными величинами, характеризующими процесс сварки и наплавки, являются коэффициенты расплавления α_p , наплавки α_n и потерь ϕ . От их величины в значительной степени зависит производительность сварки.

Коэффициент расплавления [г/(А·ч)]

$$\alpha_p = \frac{G_p}{It},$$

где G_p — масса расплавленного электродного металла, г;

I — сила сварочного тока, А;

t — время, ч.

Коэффициент наплавки [г/(А·ч)]

$$\alpha_n = \frac{G_n}{It},$$

где G_n — масса наплавленного металла, г.

Тип	Химический состав,						
	C, не более	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Nb
ЭА-2Г6	0,15—0,25	≤0,50	5,00—7,00	22—26	15—19	—	—
ЭА-2С2	≤0,14	1,20—2,20	≤2,00	22—25	12,80—15	—	—
ЭА-3М6	0,08—0,15	0,15—0,50	1,00—2,20	14—17	23,50—27,30	5—7	—
ЭА-3М9	0,08—0,15	0,15—0,50	1,00—2,00	13—17	22,50—27	7—10	—
ЭА-4ВЗБ2	0,25—0,32	≤0,50	1,50—1,50	14—16	34—36	—	1,90—2,50
ЭАФ-1	≤0,09	0,20—0,70	1,00—2,00	20,50—24,50	7—9,50	—	—
ЭАФ-1МФ	≤0,12	≤1,00	≤1,20	24—27	4,20—5,70	До 0,12	—
ЭФ-Х11МФ	0,09—0,15	0,30—0,80	0,50—1,00	0,50—11,50	0,60—0,90	0,60—0,90	—
ЭФ-Х11ВМНФ	0,09—0,15	0,30—0,80	0,50—1,10	9,50—11,50	0,60—0,90	0,60—0,90	—
ЭФ-Х12ВМНФ	0,11—0,16	≤0,50	0,30—0,80	10—12,50	0,70—1,20	0,90—1,20	—
ЭФ-Х13	0,08—0,16	0,40—1,00	0,50—1,50	11—14,50	≤0,60	—	—
ЭФ-Х17	≤0,14	≤1,00	≤1,50	15—18	≤2	—	—

Примечания: 1. Норма содержания ферритной фазы, а также данного типа могут быть ограничены соответственно их паспортам, но не
2. Для электродов ЭФ-Х13, ЭФ-Х11МНФ, ЭФ-Х11ВМНФ и термической обработки в соответствии с паспортами электродов; для остальных
3. Для электродов диаметром 2,5 мм и менее механические свойства

Продолжение табл. 40

%			Возможно дополнительное легирование	Содержание ферритной фазы, %	Стойкость против межкристаллитной коррозии при испытании по ГОСТ 6032—58	Механические свойства при температуре 20° С		
P	S	Прочие элементы				Временное сопротивление разрыву, кгс/мм ²	Относительное удлинение, %	Ударная вязкость, кгс·м/см ²
не более					не менее			
0,035	0,020	—	—	Не нормируется 2,50	55	25	9	
0,030	—	—	—	—	60	24	6	
0,030	—	—	—	—	60	30	10	
0,030	—	—	—	—	60	30	10	
0,025	1,015	2,4—3,4 W	4—5	—	62	18	6	
0,030	0,020	—	—	Не нормируется	65	20	7	
—	—	до 0,12 V	—	—	70	18	4	
—	—	0,20—0,40 V	—	—	75	15	5	
—	—	0,40—0,80 V	—	—	80	14	5	
—	—	1,30 W	—	—	—	—	—	
—	—	0,20—0,40 V	—	—	75	12	4	
—	—	0,90—1,40 W	—	—	—	—	—	
—	—	0,20—0,40 V	—	—	60	16	5	
—	—	—	—	—	—	—	—	
—	0,025	—	—	—	65	Не нормируется	—	

химический состав наплавленного металла для отдельных марок электродов должны выходить за пределы величин, указанных в таблице.

ЭФ-Х12ВМНФ нормы показателей механических свойств указаны после сварки электродов — в состоянии после сварки

металла швов не являются прямо-сдаточной характеристикой.

41 Характеристика электродов для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами

Тип	Марка	Род и полярность тока	Положение сварки	Коэффициент наплавки		
<i>Электроды по ГОСТ 10052—62</i>						
ЭА-1	ЦЛ-33	Постоянный, на электроде + То же и переменный		—		
	ОЗЛ-14			10—12		
ЭА-1а	ОЗЛ 8 ОЗЛ 12 ЗИО-2	Постоянный, на электроде +	Все положения	12—14 12—14 —		
ЭА-1Б	ЦЛ-11 ОЗЛ-7 ЦТ-15 1			12—13 11—12 11—13		
ЭА-1Ба	ЦТ-15 ЗИО-3			11—13 11,5— 13,5		
ЭА-1В2Б ЭА-1В2Ба ЭА 1Г6 ЭА-1М2Ф ЭА-1М2Фа	ЦТ-16-1 ЦТ-16 НИИ 48Г ЦТ-7-1 ЦТ-7			10—12 10,5 11—13 11—13 11—12		
ЭА-1М2	ЦЛ-4 ЭНТУ-ЭМ			Все положения 10—13 10—12		
ЭА-1М2Ба	НЖ-13			Нижнее и вертикальное Все положения 12—13		
ЭА-1Ф2	ЭА-606/11			11,5— 12,5		
ЭА-2	ОЗЛ-4				Все положения	11,5— 12,5 10,5 11,5 10—11 13,3
	ЦЛ-16 ОЗЛ-6 ЦЛ-25 ЗИО-2					
ЭА-2Б	ЦЛ-9 ЗИО-7					11,5 11,5— 13,5

Продолжение табл 41

Тип	Марка	Род и полярность тока	Положение сварки	Коэффициент наплавки
ЭА 2Г6	ОЗЛ 9А	Постоянный на электроде +	Нижнее и вертикальное	13—14
ЭА 2С2	ОЗЛ-9 ОЗЛ 5 ЦТ 17		Все положения	13—14 12—13 10,5
ЭА-3М6	НИАТ-5 ЭА-395/9		Нижнее и вертикальное Все положения	12,5— 14,4 10,9
ЭА-4В3Б2 ЭАФ I	КТИ-7-62 ЦЛ-33		Нижнее	11,2 13
ЭАФ-1МФ	08Х25Н5ТМФ Н-48		То же, и переменный	Все положения
ЭФ-Х11ВМНФ	КТИ-10 КТИ-9	Постоянный, на электроде +	Нижнее	— —
ЭФ-Х12ВМНФ ЭФ-Х13 ЭФ-Х13	ЦЛ-32 ЛМЗ-1 УОНИ/10Х13		Нижнее и вертикальное Все положения	11 11
ЭФ-Х17	УОНИ/10Х17			
<i>Электроды, не предусмотренные ГОСТ 10052—62</i>				
<i>Для сварки коррозионно-стойких сталей</i>				
—	ОЗЛ-3 15М	Постоянный, на электроде +	Все положения	12 11
—	ОЗЛ-11		Нижнее и вертикальное	11,5
<i>Для сварки жаростойких сталей и сплавов</i>				
—	ОЗЛ-2	Постоянный, на электроде +	Все положения	12
—	ЦЧМ-3			
—	ОЗЛ-16 — 16 АНЖ		Нижнее и вертикальное	13,5 14,8

Продолжение табл. 41

Тип	Марка	Род и полярность тока	Положение сварки	Коэффициент наплавки
Для сварки жаропрочных сталей и сплавов				
— — —	АЖ-13-18 ЦТ-23 ЦТ-13	Постоянный, на электроде +	Все положения	14,4 10,5 13,8
— — — —	ЦТ-22 НИАТ-7 ИМЕТ-4 НИАТ-8 НИАТ-8А		Нижнее и вертикальное	10,5 15 13,5 14 14
—	ЦТ-28		Все положения	10,5
— —	ИМЕТ-10 ИМЕТ-4-П		Нижнее и вертикальное	14 15,5

Коэффициент наплавки обычно меньше коэффициента расплавления на 3—5 г/(А·ч), так как часть расплавленного электродного металла теряется на окисление, испарение и разбрызгивание.

Коэффициент наплавки α_n характеризует производительность процесса сварки и наплавки. Чем больше величина α_n , тем больше производительность сварки.

Производительность сварки (г/ч)

$$P_{\text{напл}} = \alpha_n I.$$

Коэффициент потерь

$$\varphi = \frac{\alpha_p - \alpha_n}{\alpha_p} 100\%.$$

Расход покрытых электродов ($G_{\text{эл}}$) определяют по расходу проволоки ($G_{\text{пр}}$) или наплавленному металлу (G_n):

$$G_{\text{эл}} = G_{\text{пр}} (1 + K_1) = G_{\text{пр}} (1 + 0,9K);$$

$$G_{\text{пр}} = \frac{G_n}{\alpha_3} = \lambda \frac{G_n}{1 - \varphi},$$

где

$$G_{\text{пр}} = \rho F_n L.$$

42. Электроды металлические для дуговой наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами (ГОСТ 10051—62)

Тип	Химический состав, %										Твердость НКС в рабочем состоянии	
	C	Mn	Si	Cr	Mo	N	Прочие элементы					
ЭН-70Х11-25 *	0,50—0,80	—	—	10—12	—	—	—	—	—	—	—	95—35
ЭН-70Х11Н3-25 *	0,50—0,80	—	—	10—12	—	—	—	—	—	—	—	25—33
ЭН-15Г3-25 *	0,12—0,17	2,50—3,70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	27—38
ЭН-14Г2Х-30 *	0,16—0,20	1,60—2,00	—	1—1,5	—	—	—	—	—	—	—	35—40
ЭН-18Г4-35 *	0,18—0,22	3,50—4,20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	39—47
ЭН-20Г4-40 *	0,18—0,22	4,00—4,70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40
ЭН-25Х12-40 *	1,00—1,40	0,30—1,00	—	10—14	—	—	—	—	—	—	—	40
ЭН-У12Х12ГФС-55	1,00—1,40	1,60—2,40	1,00—1,70	10,50—13,50	—	—	—	—	—	—	—	54 (г)
ЭН-60Х2СМ-50 *	0,50—0,90	—	0,50—1,20	2,30—3,20	0,30—0,70	7,00—9,00	—	—	—	—	—	52—60
ЭН-30Х12В8-40	0,20—0,40	—	—	2,00—3,50	—	—	—	—	—	—	—	40
ЭН-38Г6-50	0,25—0,45	5,50—6,50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	50
ЭН-30Х12Г2С2-55	0,20—0,45	1,60—2,40	1,50—2,50	10,50—13,50	—	—	—	—	—	—	—	56 (г)
ЭН-35Х12В3ФС-50	0,25—0,45	—	1,00—1,60	10,50—13,50	—	—	—	—	—	—	—	50
ЭН-08Х17Н8С7-45	До 0,15	—	6,80—8,00	16—18	—	—	—	—	—	—	—	45
ЭН-80В18Х4Ф-60	0,70—0,85	—	—	3,8—4,5	—	—	—	—	—	—	—	57—62
ЭН-90В9Х4Ф2-60	0,85—1,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	(48—52) *
ЭН-У10Г5Х7С-25 *	0,80—1,10	4,00—5,00	1,20—1,80	4—5	—	—	—	—	—	—	—	25—32
ЭН-У30Х28С4Н4-50 *	2,50—3,40	—	2,80—4,20	6—8	—	—	—	—	—	—	—	48—54
ЭН-80Х4СГ-55 *	0,70—0,90	0,60—1,00	1,00—1,50	25—31	—	—	—	—	—	—	—	56—62
ЭН-У30Х23Р2С2Г-55 *	3,00—3,50	1,00—1,50	2,00—2,50	3,5—4	—	—	—	—	—	—	—	55—62
ЭН-У30Х25Р2СГ-60 *	3,00—3,50	1,00—1,50	2,00—2,50	22—24	—	—	—	—	—	—	—	57—65
ЭН-08Х17Н7С5Г-30	До 0,12	1,00—2,00	5,00—5,80	22—27	—	—	—	—	—	—	—	27—33
ЭН-У18К2Х30В9С2-40	1,60—2,30	—	1,50—2,00	16—18	—	—	—	—	—	—	—	40
ЭН-У20Х30Н6Г2-40	1,60—2,30	1,50—3,00	1,50—2,00	26—32	—	—	—	—	—	—	—	40
ЭН-08Х20Н11С9Г2-45	До 0,17	1,00—2,00	8,00—9,00	19—23	—	—	—	—	—	—	—	40

* Твердость наплавленного металла после термообработки, в скобках указана твердость для молотовых штампов.

Примечания: 1. Содержание серы и фосфора для всех типов электродов не более 0,04% каждого. 2. Обозначение типа электрода расшифровывается: ЭН — электрод наплавочный, далее — принятое условное обозначение химического состава по содержанию главных элементов в стадах на марки сталей, принятое условное обозначение содержания углерода в десятых долях процента. При содержании углерода в сотых долях буквы У не дают; цифра, стоящая после условного обозначения, указывает твердость.

48. Характеристика электродов для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами (по ГОСТ 10051—62)

Тип	Примерная марка	Род и полярность тока	Положение сварки	Твердость HRC наплавленного металла после отжига, не более
ЭН-70Х11-25 ЭН-70Х11НЗ-25	ОМГ ОМГ-Н	Предпочтительно постоянный на электроде + и переменный	Нижнее и наклонное	1
ЭН-15ГЗ-25	ОЭН-300	Постоянный на электроде +, возможно переменный		
ЭН-14Г2Х-30	К-2-55	Постоянный на электроде +, возможно переменный	Нижнее и слегка наклонное Нижнее и вертикальное	25
ЭН-18Г4-35	ОЭН-350	Постоянный на электроде +, возможно переменный		
ЭН-20Г4-40	ОЭН-400	Переменный и постоянный	Нижнее и наклонное	20 30
ЭН-25Х12-40	ЦН-5 НЖ-2			
ЭН-У12Х12Г2ФС-55 ЭН-60Х2СМ-50	ЦШ-1 ЭН-60М	Постоянный на электроде + и переменный	Нижнее и наклонное	25 30
ЭН-30Х3Б8-40 ЭН-35Г6-50	ЦШ-1 ЦН-4			
ЭН-30Х12Г2С2-55 ЭН-35Х12Б3ФС-50 ЭН-08Х17Н8С7-45	НЖ-3 Ш-16 ЦН-7	Переменный на электроде + Постоянный на электроде +	Нижнее и наклонное	25 20 35 35 —
ЭН-80В18Х4Ф-60 ЭН-90В9Х4Ф2-60 ЭН-У10Г5Х7С-25	ЦШ-1М ЦШ-2У 12АН/ЛИВТ	Постоянный и переменный Постоянный на электроде + и переменный		
ЭН-У30Х28С4Н4-50 ЭН-80Х4СГ-55	ЦС-1 13КН/ЛИВТ	Постоянный на электроде +	Нижнее и наклонное	Наплавленный металл не отжигают
ЭН-У30Х25РС2Г-60 ЭН-У30Х23Р2С2ГГ-55	Т-590 Т-620	Постоянный и переменный		
ЭН-08Х17Н7СГ2-30 ЭН-У18К62Х30Б5С2-40 ЭН-У20Х30Н6Г2-40 ЭН-08Х20Н11С9Г2-45	ЦН-6 ЦН-2 ЦН-3 ЦН-8	Постоянный на электроде +	Нижнее и наклонное	Наплавленный металл не отжигают

Следовательно,

$$G_{эп} = (1 + K_1) \frac{\lambda G_n}{1 - \varphi} = (1 - 0,9K) \frac{\lambda G_n}{1 - \varphi_1},$$

где K — коэффициент массы покрытия;
 K_1 — отношение массы покрытия к массе всего электродного стержня;
 α_3 — коэффициент использования стержня;
 φ — коэффициент потерь;
 λ — отношение длины стержня электрода к длине расплавляемой его части;
 ρ — плотность наплавленного металла, г/см³; при сварке толстопокрытыми электродами принимают $\rho = 7,8$ г/см³;
 L — длина шва, мм;
 F_n — площадь наплавки, мм².
 Коэффициенты K и K_1 определяют по формулам:

$$K = \frac{G_3 - mL_3}{mL_0};$$

$$K_1 = \frac{C_3 - mL_3}{mL_3},$$

где G_3 — масса электрода, г;
 L_3 — длина электрода, см;
 L_0 — длина покрытой части электрода, см;
 m — масса 1 см электродной проволоки, г/см.
 Коэффициент потерь φ для различных электродов различен (потери 6—25%), его обычно принимают в пределах 1,1—1,25.

ТЕХНОЛОГИЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СВАРКИ

Техника выполнения шва и режим сварки

Зажигание сварочной дуги. Зажигание (возбуждение) производится двумя способами (рис. 57). При первом способе электрод перпендикулярно подводят к месту начала сварки и после сравнительно легкого прикосновения к изделию отводят вверх на расстояние 2—5 мм. Второй способ напоминает процесс зажигания спички. При обрыве дуги повторное зажигание ее осуществляется впереди кратера на основном металле с возвратом к наплавленному металлу для вывода на поверхность загрязнений, скопившихся в кратере. После этого сварку ведут в нужном направлении.

Положение и перемещение электрода при сварке. Положение электрода зависит от положения шва в пространстве. Различают следующие положения швов (рис. 58): нижнее 1, вертикальное и горизонтальное на вертикальной плоскости 2, потолочное 3. Сварку вертикальных швов можно выполнять сверху вниз и снизу вверх. Схема сварки вертикальных швов показана на рис. 59.

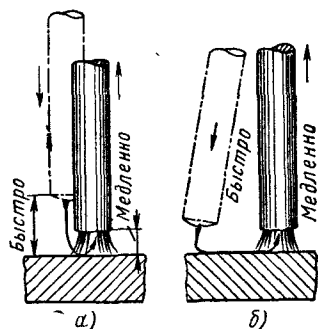


Рис. 57. Схема зажигания сварочной дуги:

a — прикосновением электрода в точке; *b* — чирканьем концом электрода о поверхность металла

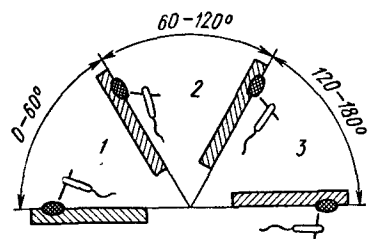


Рис. 58. Расположение сварного шва в пространстве:

1 — нижнее; 2 — вертикальное или горизонтальное; 3 — потолочное

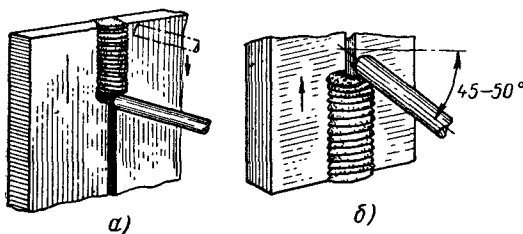


Рис. 59. Схема сварки вертикальных швов:
a — сверху вниз; *b* — снизу вверх

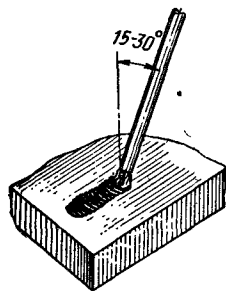


Рис. 60. Наклон электрода при сварке в нижнем положении

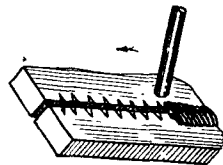


Рис. 61. Перемещение электрода при сварке «к себе»

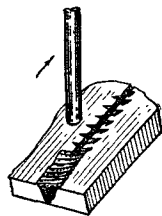


Рис. 62. Перемещение электрода при сварке «от себя»

При сварке в нижнем положении электрод имеет наклон от вертикали в сторону направления сварки (рис. 60). Перемещение электрода при сварке может осуществляться способами «к себе» (рис. 61) и «от себя» (рис. 62).

При отсутствии поперечных колебательных движений конца электрода ширина валика равна $(0,8 \div 1,5) d$ электрода. Такие швы или валики называют узкими или ниточными; их применяют при сварке тонкого металла и при наложении первого слоя в многослойном шве.

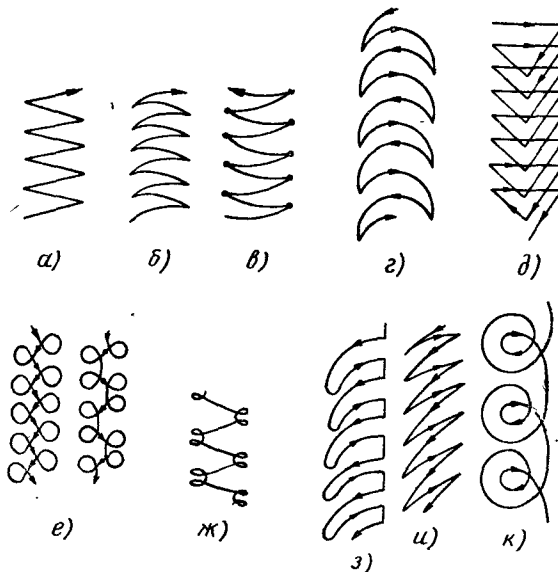


Рис. 63. Основные виды траекторий поперечных движений рабочего конца электрода

Получение уширенных швов, или валиков, ширина которых обычно не более $(2 \div 4) d$ электрода, возможно за счет колебательных движений конца электрода. Основные варианты колебательных движений конца электрода показаны на рис. 63. Движения, не способствующие усиленному прогреву свариваемых кромок, показаны на рис. 63, *a*—*б*; способствующие усиленному прогреву обеих свариваемых кромок — на рис. 63, *в*—*ж*; способствующие усиленному прогреву одной кромки — на рис. 63, *з*, *и*; способствующие прогреву корня шва — на рис. 63, *к*.

Порядок выполнения швов (рис. 64). В зависимости от длины различают швы: короткие (250—300 мм), средние (350—1000 мм), длинные (более 1000 мм). Порядок выполнения длинных швов показан на рис. 64, *в*. Шов выполняют короткими отрезками 1—4.

В зависимости от размеров сечения швы выполняют однопроходными, или однослойными, и многопроходными, или многослойными (рис. 65). Однопроходная сварка производительна и экономична, но

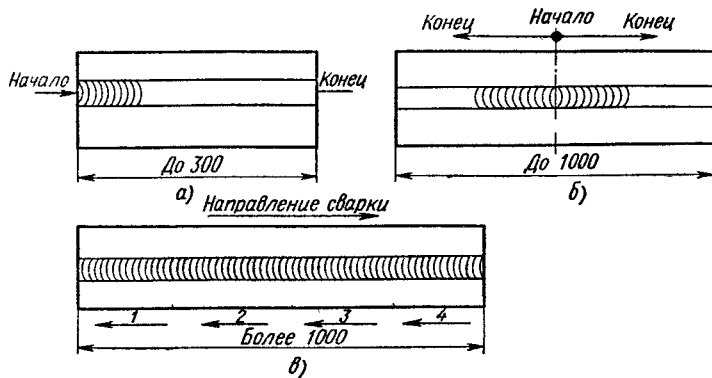


Рис. 64. Выполнение шва в зависимости от его длины:
а — напроход, б — от середины к краям, в — обратно-ступенчатым способом

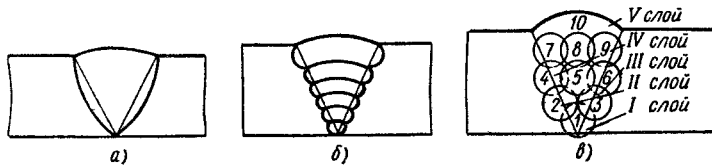


Рис. 65. Схема сварного шва:
а — однопроводный, б — многослойный; в — многопроводный

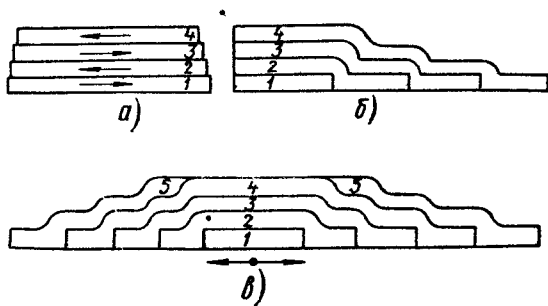


Рис. 66. Схема многослойной сварки.
а — последовательное наложение; б — «каскадный» метод, в — метод «горки»

металл шва недостаточно пластичен вследствие грубой столбчатой структуры металла шва и увеличенной зоны перегрева. В случае многослойной сварки каждый нижележащий валик проходит термообработку при наложении последующего валика, что позволяет получить измельченную структуру металла шва и соответственно повышенные механические свойства шва и сварочного соединения.

Расположение слоев (1—5) при многослойной сварке бывает трех видов (рис. 66): последовательное наложение каждого слоя по всей длине шва, наложение «каскадным» способом и наложение способом «горки». Оба последних способа применяют при сварке металла значительной толщины (свыше 20—25 мм). При выполнении многослойных швов особое внимание следует уделять качественному выполнению первого слоя в корне шва. Провар корня шва определяет прочность всего многослойного шва.

Подбор силы тока и диаметра электрода. Силу сварочного тока выбирают в зависимости от марки и диаметра электрода, при этом учитывают; положение шва в пространстве, вид соединения, толщину и химический состав свариваемого металла, температуру окружающей среды. При учете всех факторов необходимо стремиться работать на максимально возможной силе тока.

Для подбора силы сварочного тока используют зависимости

$$I_{св} = 50d_э; \quad I_{св} = (20 + 6d_э) d_э,$$

где $d_э$ — диаметр электродного стержня, соблюдая при этом определенные поправки. Если толщина металла $< 1,5d_э$ при сварке в нижнем положении, то $I_{св}$ уменьшают на 10—15% по сравнению с расчетным. Если толщина металла $> 3d_э$, то $I_{св}$ необходимо увеличить на 10—15% по сравнению с расчетным. При сварке на вертикальной плоскости $I_{св}$ уменьшают на 10—15%, в потолочном положении — на 15—20% по сравнению с нормально выбранной силой тока для сварки в нижнем положении.

Ориентировочные режимы сварки приведены в табл. 44.

44. Зависимость силы сварочного тока от диаметра электрода

Диаметр электрода, мм	Сила сварочного тока, А	Диаметр электрода, мм	Сила сварочного тока, А
1,5	25—40	6	280—360
2	60—70	7	370—450
3	100—140	8	450—560
4	160—200	10	750—850
5	220—280		

При выполнении сварки качественными электродами силу тока следует устанавливать в соответствии с данными, указанными в паспортах или сертификатах на эти электроды.

Диаметр электрода выбирают в зависимости от толщины свариваемого металла, типа сварного соединения, положения шва в пространстве, размеров детали, состава свариваемого металла. При сварке

встык металла толщиной до 4 мм применяют электроды диаметром, равным толщине свариваемого металла. При сварке металла большой толщины применяют электроды диаметром 4—8 мм при условии обеспечения провара основного металла. В многослойных стыковых швах первый слой выполняют электродом диаметром 3—4 мм, последующие слои выполняют электродами большего диаметра. Сварку в вертикальном положении производят с применением электродов диаметром не более 5 мм. Потолочные швы выполняют электродами диаметром не более 4 мм.

Сварка низкоуглеродистых сталей

Низкоуглеродистые стали, содержащие до 0,25% углерода, обладают хорошей свариваемостью. Сварные соединения при этом легко обрабатываются режущим инструментом. Сварку следует вести на максимально допустимых режимах. Подготовку кромок под сварку производят согласно ГОСТ 5264—69.

Сварка углеродистых сталей

К углеродистым сталям относятся среднеуглеродистые стали с содержанием углерода 0,3—0,5% и высокоуглеродистые с содержанием углерода 0,5—1,0%.

При сварке среднеуглеродистых сталей возможно образование трещин как в основном, так и в наплавленном металле. Для получения доброкачественных соединений перед сваркой необходимо подогреть изделия до температуры 200—350° С. После сварки изделие вновь помещают в печь, нагревают до температуры 675—700° С и медленно охлаждают вместе с печью до температуры 100—150° С. Дальнейшее охлаждение изделия возможно на воздухе. При сварке среднеуглеродистых сталей применяют электроды марок УОНИ-13/45, УОНИ-13/55, ЦУ-1, УП-1, УП-2, К51, К5, К5А, СКУ и др. Сварку электродами УОНИ-13, К5 и ЦУ-1 можно выполнять только на постоянном токе при обратной полярности. Применение электродов К51, УП и К5А дает возможность использовать любой род тока.

Высокоуглеродистые стали используют при изготовлении режущего, врубного, бурильного и другого инструмента. Технология сварки этих сталей обязательно предусматривает предварительный подогрев, иногда сопутствующий подогрев и последующую термообработку. Сварку производят узкими валиками и небольшими участками. Обязательно заправляют кратеры или выводят их на технологическую пластинку. Сварку при температуре окружающей среды ниже +5° С и на сквозняках производить нельзя.

Сварка легированных сталей

При сварке легированных сталей необходимо тщательно очищать кромки от окалины, пыли, грязи, шлака, а также удалить влагу с поверхности металла путем подогрева кромок до 110—120° С газовой горелкой. Для уменьшения опасности закалки основного металла применяют многопроходную сварку швами одинакового сечения, а также метод отжигающего валика, причем валик не должен касаться основного металла. Для предупреждения появления трещин необходим предварительный подогрев изделия перед сваркой до 100—350° С.

Низколегированные стали. К этим сталям относят наиболее распространенные стали марок 15ХСНД (НЛ-2) ГОСТ 5058—65* и некоторые другие. Сталь 15ХСНД при сварке склонна образовывать закалочные структуры. Для предупреждения перегрева и образования закалочных структур рекомендуется многослойная сварка с большим интервалом времени между наложением слоев. Электродуговую сварку металла толщиной 2 мм и выше производят электродами марок УОНИ-13/45, УОНИ-13/55, К5 на постоянном токе обратной полярности.

Для изделия толщиной более 15 мм после сварки необходима термообработка — высокотемпературный отпуск (550—650° С).

Хромокремнемарганцовистые стали марок 15ХГС, 25ХГС, 30ХГС и 35ХГС относятся к низколегированным конструкционным сталям повышенной прочности. При сварке они образуют закалочные структуры. В зависимости от толщины металла применяют однослойную и многослойную сварку с малыми интервалами времени между наложением слоев. Для сварки применяют электроды со стержнями из сталей Св-20ХГСА, Св-20ХМА, Св-30ХГСА или из низкоуглеродистой проволоки Св-08А. Марки покрытий электродов: ВИАМ-25, ВИАМ-100, ВИАМ-101, ЦЛ-18, ЦЛ-19, ЦЛ-18М, УОНИ-13/55, УОНИ-13/65, УОНИ-13/85, К7 и аустенитовые электроды ВИАМ-НЖ-1, УОНИ-13/нж. Ориентировочные режимы сварки даны в табл. 45.

45. Ориентировочные режимы сварки сталей типа 30ХГС

Толщина металла, мм	Число слоев или проходов в шве	Диаметр электрода, мм	Сила тока при сварке встык, А
0,5 1,0 2,0	1	1,5—2,0 2,0—2,5 2,5—3,0	10—20 20—50 40—100
3,0 4,0		3—4	80—120 90—120
6,0—8,0 10,0	1—2 3	4—5	120—160 140—180
20,0	5—6	4—5—6	140—220

Примечание Силу тока для сварки тавровых соединений принимают на 10—15% выше, чем для сварки встык

Изделия, сваренные из стали 25ХГС и 30ХГС, нагревают до температуры 650—680° С с выдержкой в течение 1 ч на каждые 25 мм толщины и охлаждают на воздухе или в горячей воде. Если изделия из такой стали сварены аустенитовыми электродами, то термической обработке их можно не подвергать.

Среднелегированные стали. Стали 12М, 12ХМ, 15ХМ, 20ХМ предназначены для изготовления деталей, работающих в условиях высоких температур (400—600° С) и при давлении газа или пара до 300 ат (трубчатые элементы паровых котлов, элементы нефтепереработки и химической аппаратуры и т. д.). Эти стали имеют склонность к образованию трещин в зоне термического влияния. Поэтому требуют предварительного подогрева до температуры 200—300° С и последующей термической обработки (отпуска). Отпуск проводят по режиму: нагрев изделия до 650° С, выдержка при этой температуре не менее 5 мин на каждый миллиметр толщины металла с последующим медленным охлаждением. Иногда эти стали отжигают при температуре 750—800° С.

Для сварки сталей 20М, 12МХ и 20МХЛ применяют электроды марок ЦЛ-6 и ЦЛ-14. Режимы сварки — обычные. Для сталей 15М, 20М и 15ХМ применяют электроды марок ЦУ-2М, ЦУ-2ХМ и ЦМ-2МХ на постоянном токе обратной полярности.

Высоколегированные стали. К этим сталям относят стали типа Х18Н9, применяемые в химическом и пищевом машиностроении. Эти стали обладают высокой прочностью, вязкостью и пластичностью. При сварке необходимо учитывать, что эти стали имеют пониженную электропроводность и теплопроводность, что ведет к значительным короблениям, а также склонность к межкристаллитной коррозии. Поэтому строгое соблюдение режимов сварки особенно важно. Для сварки применяют электроды марок ЦЛ-2, ЦЛ-4, УОНИ-13/нж, НТУ-3, ЦЛ-11, ЦТ-1 и др. Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности, применяя медные подкладки или ускоренное охлаждение швов водой или сжатым воздухом.

К окалиностойким сталям относят стали типа Х25Н12 и Х25Н20, применяющиеся при изготовлении трубопроводов, деталей турбин, котлов, высокого давления, химической аппаратуры и др. Они имеют повышенное сопротивление коррозии и выдерживают длительные нагрузки при высоких температурах. Эти стали имеют склонность к образованию горячих трещин. Для сварки сталей этого типа применяют электроды марок ЦЛ-8, ЦТ-1, ЦТ-7А, ЦТ-12А и НИИ-48. Сварку производят на постоянном токе обратной полярности. Для снятия напряжений после сварки стали подвергают термообработке (отпуск при 650° С).

Хромистые стали марок Х6СМ, 4Х9С2, Х5М, Х5МФ, 1Х13 (ЭЖ-1) и др. с содержанием хрома 4—14% относятся к мартенситному классу. Эти стали применяют для изготовления конструкций повышенной прочности в агрессивной среде (аппаратуре нефтеперерабатывающей промышленности). Стали Х28, 1Х17Ю5 и др. с содержанием хрома 18—30% относят к ферритному классу. Эти стали хорошо сопротивляются окислению при высоких температурах.

Склонность хромистых сталей к закаливанию на воздухе с образованием мартенситной структуры и рост зерен в зоне термического влияния составляют основные трудности при сварке этих сталей. Сварку хромистых сталей необходимо выполнять с предварительным подогревом до температуры 200—400° С.

После сварки изделие охлаждают на спокойном воздухе до 150—200° С, а затем подвергают высокому отпуску: нагрев в печи до температуры 720—750° С с выдержкой в течение 5 мин на 1 мм толщины металла, но не менее 1 ч, с последующим медленным охлаждением на спокойном воздухе. Стали с содержанием хрома 7—10% в печи выдерживают в те-

чение 10 мин на 1 мм толщины металла. Рекомендуются марки электродов: НЗЛ, НИИ-48, ЦТ-1, ЦТ-2, НТУ-3 и др. Сварку производят на постоянном токе обратной полярности.

Высокомарганцовистые стали типа Г13Л, содержащие 11—16% марганца, относятся к сталям аустенитного класса. Стали обладают высокой износостойкостью, их применяют для изготовления железнодорожных крестовин, зубьев экскаваторов, ковшей землечерпалок и других деталей. Для сварки применяют электроды трех типов: никелемарганцовистые, содержащие 4—4,5% никеля, 11—13% марганца, 0,6—1,0% углерода. На стержни наносят покрытие основного типа;

нержавеющие марок УОНИ-13/нж, ЦЛ-2, ЦЛ-11, ЦТ-1 и др.; малоуглеродистые стали ОЗН-250, ОЗН-350 с покрытием, содержащим до 60—65% феррохрома. Сварку производят на постоянном токе обратной полярности. Сталь сваривают в закаленном состоянии. Закалку проверяют с помощью магнита (закаленная сталь немагнитна).

Инструментальные стали Р18, Р9 и их заменители ХВГ, 9ХВГ, 9ХС и др. применяют для изготовления режущего инструмента. Режущий инструмент с помощью электродуговой сварки можно изготавливать двумя способами: приваркой пластин быстрорежущей стали к державкам из поделочной стали и наплавкой быстрорежущей стали или ее заменителей на заготовку из углеродистой стали.

Наплавка целесообразна в случае использования для изготовления электродов отходов быстрорежущей стали (поломанных сверл, резцов, зенкеров, разверток и др.), иногда изготавливают специальные электроды из быстрорежущей стали, из катаной проволоки или из кованых стержней. Наплавляют в земляных формах, где формируется одновременно несколько заготовок. Наплавку ведут в один прием, не прерывая по мере оплавления. Перед обрывом дуги выводят на металл заготовки. После наплавки инструмент подвергают отжигу, затем обрабатывают механическим путем и, наконец, подвергают закалке и трехкратному отпуску, после чего твердость наплавленного металла достигнет HRC 61—64.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

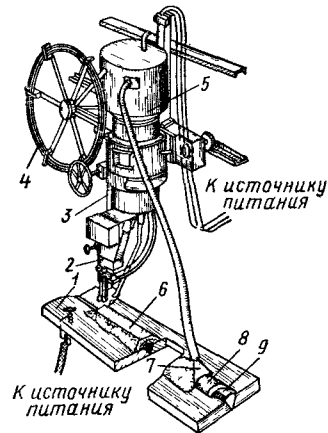
1. *Технология электрической сварки плавления* Под ред. Б. Е. Патона. М.—Киев, Машгиз, 1962, с. 240—293, 345—350, 425—439, 463—470, 475—494, 503—543.
2. *Справочник по специальным работам*. Т. 1. Под ред. В. Д. Тарана. М., Стройиздат, 1971, с. 219—246.
3. *Фоминных В. П. Оборудование и технология дуговой сварки* М. «Машиностроение», 1966, с. 66—99, 150—169.

ГЛАВА 6

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СВАРКА ПОД ФЛЮСОМ

СУЩНОСТЬ И ПРЕИМУЩЕСТВА
АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ

При сварке под флюсом сварочная дуга горит под слоем сыпучего вещества. Высота слоя флюса на основном металле 20—80 мм. Схема процесса сварки под флюсом показана на рис. 67. Электродная проволока из бухты подается в зону сварки через флюс с помощью специального подающего механизма сварочного автомата. Процесс сварки под флюсом начинают с возбуждения дуги. Для этой цели применяют несколько способов. Наиболее часто дугу возбуждают посредством закорачивания электрода на изделие. При этом закороченный конец проволоки засыпают слоем флюса, подаваемого из бункера.



В зоне горения сварочной дуги под действием высокой температуры выделяется большое количество газов и

Рис. 67. Схема автоматической сварки под флюсом:

1 — свариваемое изделие, 2 — сварочная головка, 3 — штанга головки, 4 — электродная проволока, 5 — бункер, 6 — флюс; 7 — флюсоотсос, 8 — шлаковая корка; 9 — наплавленный металл

паров, которые образуют своеобразный газовый пузырь, оболочкой которого служит тонкий слой расплавленного флюса.

При автоматической сварке под флюсом обычно автоматизируют не только подачу электродной проволоки в зону горения дуги, но и возбуждение, устойчивое поддержание горения дуги, перемещение дуги относительно изделия со скоростью сварки, заварку конечного кратера и разрыв дуги.

Применение автоматической сварки под флюсом по сравнению с ручной электродуговой сваркой имеет ряд преимуществ, главные из них приведены ниже.

Производительность сварки под слоем флюса в 5—20 и более раз выше по сравнению с ручной. Это достигается за счет увеличения плотности тока, увеличения скорости сварки и повышения коэффициента использования сварочной дуги, повышения коэффициента наплавки и уменьшения количества присадочного металла.

Высокое качество сварного шва достигают защитой расплавленного металла флюсом от воздействия кислорода и азота воздуха, легированием металла шва, увеличением плотности металла шва и лучшим его формированием.

Экономия сварочных материалов получают за счет уменьшения расхода электродной проволоки на угар, разбрызгивание и сварку, отсутствует покрытие на сварочной проволоке. По сравнению с ручной дуговой сваркой экономия электроэнергии при автоматической сварке достигает 30—40%.

Эксплуатационные преимущества заключаются в полной автоматизации процесса сварки. Кроме того, автоматическая сварка под слоем флюса значительно улучшает условия труда сварщика, повышает культуру производства.

ФЛЮСЫ И ЭЛЕКТРОДНАЯ ПРОВОЛОКА
ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ

Требования к флюсам

Необходимый состав металла шва можно получить при соответствующем выборе состава флюса и электродной проволоки, а также режимов сварки, определяющих долю основного металла в металле шва. В процессе образования шва, кроме расплавленного флюса и металла, участвуют газы.

В результате взаимодействия в сварочной зоне металла, флюса и газов образуется сварной шов, металл которого имеет определенный химический состав, во многом предопределяющий его свойства. В связи с этим к сварочным флюсам предъявляют ряд требований.

Сварочные флюсы должны обеспечивать: устойчивость процесса сварки, отсутствие горячих трещин и пор в сварном шве, высокие механические свойства металла шва, легкую отделимость шлаковой корки, хорошее формирование шва и отсутствие выделения вредных газов при сварке.

Устойчивость процесса сварки. Под устойчивостью горения дуги обычно понимают постоянство во времени ее основных электрических параметров: силы сварочного тока $I_{св}$ и напряжения дуги $U_{д}$. Устойчивость горения дуги зависит от состава газа в сварочной зоне и в первую очередь от количества фтористых газов. Фтористые газы, гонимые устойчивостью горения дуги, образуются из фтористых соединений, находящихся во флюсах.

Горячие трещины образуются в результате высокого содержания серы, фосфора, углерода, кремния и других легирующих элементов в металле шва. Большое влияние на образование горячих трещин оказывает форма шва, доля участия основного металла в шве, а также технологические параметры и термический цикл сварки.

Поры в сварных швах появляются при кристаллизации сварочной ванны, когда газовые пузыри не успевают выйти из жидкого металла на поверхность ванны до ее затвердевания. Основные технологические причины появления пористости:

наличие ржавчины или толстой окалины на кромках свариваемых изделий или на электродной проволоке;

чрезмерная влажность флюса или свариваемых изделий; недостаточная защита зоны сварки от воздуха (малый слой флюса, большие свободные зазоры между свариваемыми кромками), загрязнение свариваемых кромок органическими веществами;

плохие технологические свойства флюса или несоответствие выбранной марки флюса основному металлу и электродной проволоке.

Роль флюса в предотвращении пор состоит в надежной защите зоны сварки от воздуха, а также в выделении в зоне сварки фтора и кислорода, которые связывают водород в соединения, не растворимые в жидком металле. Фтор образует с водородом фтористый водород HF, а кислород — гидроксил OH, в связи с чем пористость, вызываемая водородом, значительно снижается. Причиной пористости сварных швов может служить также высокое содержание азота, серы и других элементов в неплавленном металле.

Механические свойства металла шва определяются прежде всего его химическим составом, а также в большой мере его структурой. Химический состав и структура металла шва зависят не только от состава основного и электродного металла, но и от состава флюса.

Кислород в металле шва снижает механические свойства, способствует повышению количества неметаллических включений и приводит к окислению легирующих элементов. Кислород попадает в сварочную ванну из флюса и влаги, ржавчины и окалины основного и электродного металла.

Повышенное содержание серы и фосфора снижает ударную вязкость.

Отделимость шлаковой корки весьма заметно влияет на производительность сварочных работ. Большое влияние на отделимость шлаковой корки оказывают свойства сварочного флюса и прежде всего его окисленность. Флюсы с высокой окисленностью способны образовывать на поверхности шлаковой корки, примыкающей к сварному шву, соединения, называемые шпинелями. Эти соединения прочно удерживают шлаковую корку на поверхности сварных швов. Поэтому правильный выбор марки флюса и его высокое качество являются непременным условием, обуславливающим хорошую отделимость шлаковой корки особенно в прогретом состоянии.

Отделимость шлаковой корки в большей мере зависит также от коэффициента теплового расширения и сжатия шлака. Чем он больше, тем лучше отделимость шлаковой корки. Однако непременным условием при этом должно быть отсутствие заклинивания шлаковой корки.

Формирование шва во многом зависит от флюса. Форма шва определяется прежде всего режимом сварки. Однако химический состав флюса, его грануляция, а также его состояние оказывают определенное влияние на форму и внешний вид шва. При сварке под крупным флюсом дуга подвижнее, чем при сварке под мелким, и вследствие этого в первом случае шов получается более широким, чем во втором. Чем больше толщина слоя флюса, тем шов уже.

Отсутствие выделения вредных газов при сварке является важным требованием к флюсам. Выделение фтора и других газов флюсами ухудшает условия труда сварщика.

Классификация флюсов

Флюсы классифицируют по следующим признакам: назначению (общего назначения, специальные), химическому составу, способу изготовления и строению частиц. Флюсы общего назначения наиболее широко используют для автоматической и полуавтоматической сварки низкоуглеродистых и некоторых низколегированных сталей. Флюсы специального назначения применяют для сварки высоколегированных сталей, некоторых марок низколегированных сталей, цветных металлов или для особых видов работ (наплавка износостойких поверхностей, сварка с принудительным формированием шва, сварка металла большой толщины, сварка на больших скоростях и т. д.).

В зависимости от химического состава флюсы классифицируют по содержанию кремния и марганца. Низкокремнистые флюсы содержат кремнезема SiO_2 менее 35%, а высококремнистые 35—50%. Первые из них обычно применяют для сварки легированных сталей, вторые — для сварки низкоуглеродистых сталей. Марганцевые флюсы содержат более 1% MnO , а безмарганцевые — менее 1%. Особую группу при классификации по химическому составу занимают бескислородные флюсы.

В зависимости от способа изготовления сварочные флюсы разделяют на плавленные и неплавленные. Первые изготовляют путем сплавления природных минералов и руд в электрических или пламенных печах, вторые — чаще всего путем скрепления размолотых компонентов жидким стеклом. Наибольшее применение имеют флюсы плавленные (ГОСТ 9087—69*). По строению частиц плавленные флюсы могут быть стекловидными, пемзовидными и кристаллическими.

Система флюсов и электродной проволоки

При сварке углеродистых сталей применяют в основном две системы флюсов и электродной проволоки. Первая система — марганцевый высококремнистый флюс в сочетании с низкоуглеродистой или марганцевой электродной проволокой. Вторая система — безмарганцевый высококремнистый флюс в сочетании с высокомарганцевой проволокой. Общим для этих систем является высокое содержание кремнезема во флюсе и применение электродной проволоки из кипящих и полуспокойных сталей. При этих системах легирование металла шва кремнием достигают за счет флюса, легирование марганцем — за счет или флюса (первая система), или электродной проволоки (вторая система).

Первая система находит наибольшее применение и предназначена для сварки сталей Ст3, ВСт3, Ст2, ВСт3кп по ГОСТ 380—71, сталей 15Г, 20Г2 по ГОСТ 1050—60** и некоторых марок низколегированных сталей. При этой системе используют флюсы марок ОСЦ-45 АН-348А и др. в сочетании с проволокой Св-08, Св-08А, а также Св-08Г и Св-08ГА. Легирование металла шва марганцем в основном идет за счет флюса. При использовании проволоки Св-08Г и Св-08ГА марганец переходит в металл шва из проволоки.

Для сварки легированных сталей применяют низкокремнистые флюсы, содержащие не более 35% SiO_2 , в сочетании или с низкоуглеродистой проволокой, или с соответствующей легированной электродной проволокой. Особенностью низкокремнистых флюсов является повышенная склонность сварных швов к пористости. Области применения и химический состав сварочных флюсов приведены в табл. 46 и 47.

46. Применение сварочных флюсов

Марка флюса	Марка стали, для сварки которой может быть применен флюс	Марка электродной проволоки, с которой рекомендуется применять флюс	Области преимущественного применения
АН-348А	Ст1, Ст2, Ст3	Св-0,8, Св-08А	Автоматическая и полуавтоматическая сварки всех типов соединений
ОСЦ-45	Ст1, Ст2, Ст3, Ст4	Св-0,8, Св-08А, Св-15	Автоматическая сварка всех типов соединений, за исключением кольцевых швов малого диаметра
ФЦ-7	Ст1, Ст2, Ст3, 15М	Св-08, Св-08А	Многопроходная сварка трехфазной дугой Электрошлаковая сварка
ТКЗД-7	22К	Св-08ГА, Св-15Г, Св-15ГС, Св-10Г ²	Автоматическая сварка толсто-стенных котлов (флюс не содержит фтористых соединений)
АН-10	Ст1, Ст2, Ст3	Св-08, Св-08А	Автоматическая сварка конструктивных сталей
АН-60	Ст1, Ст2, Ст3, 15М	Св-08, Св-08А	Двухдуговая сварка на больших скоростях
ФЦЛ-1 АН-26	Х18Н9, 0Х18Н10, Х18Н9Т	Св-0Х18Н9 с повышенным содержанием ферритообразующих примесей	Автоматическая и полуавтоматическая сварка высоколегированных сталей аустенитного класса
ФЦЛ-2	Х18Н9Б, Х18Н9Т, Х18Н9М	Св-0Х18Н9ФБС, Св-Х18Н11М	Автоматическая сварка хромоникелевых сталей аустенитного класса Возможно использование для сварки ферритных и полуперлитных хромистых сталей

Продолжение табл. 46

Марка флюса	Марка стали, для сварки которой может быть применен флюс	Марка электродной проволоки, с которой рекомендуется применять флюс	Области преимущественного применения
АН-20	Легированные стали и медь	Соответствующая электродная проволока	Автоматическая и полуавтоматическая сварки и наплавка высоколегированных сталей и меди
АН-30	Легированные стали	Соответствующая порошковая проволока	Автоматическая и полуавтоматическая наплавка высокоуглеродистых и высоколегированных сталей типа Х12, 3Х2В8, ЭИ262, высокомарганцевистых сталей типа Г13Л и др.
АН-22	30ХГСА, 30ХГН3МА	Св-18ХМА, ЭН-581	Электрошлаковая сварка металла толщиной до 100 мм
ФЦ-9	Высоколегированные стали аустенитного класса	Соответствующая электродная проволока	Дуговая сварка
АН-51	Ст1, Ст2, Ст3, Ст4 и низколегированные стали	Св-08, Св-08А Св-10Г ²	Шлаковая полуавтоматическая сварка
АН-8 АНФ-1	Х18Н9Т	Св-0Х18Н9, Св-0Х18Н9С2, Св-0Х18Н9Т и др.	Электрошлаковая сварка
48-ОФ-6 48-ОФ-10	Высоколегированные стали аустенитного класса	Соответствующие проволоки	Дуговая и электрошлаковая сварка высоколегированных аустенитных сталей

*

47. Химический состав (%) некоторых марок плавящихся флюсов

Марка флюса	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	CaO	MgO	K ₂ O, # Na ₂ O	FeO	CaF ₂	S	P	Прочие
АН-348А	41—43,5	3	—	34,5— 37,5	5,0	5,5—7,5	—	—	4—5,5* 3,5— 4,5**	0,15	0,12	—
ОСЦ-45	42—45	2,5	—	38—43	5	16—18	—	1,5	6—8	0,15	0,15	—
ФЦЛ-7	46—48	3	—	24—26	3	—	0,6—0,8	1,5	5—6	0,15	0,10	—
ТКЗЛ-1	46,5	—	4,5	44,1	3—7	1,2	0,4—0,6	1,2	18—24	0,15	0,20	—
АН-10	20—23	19—21	—	29,5— 35,5	8—12	—	—	1,5	5,5—7,5	—	—	—
АН-60	44—46	3	9,7	33—38	28—30	16—18	—	1,2	—	—	—	—
ФЦЛ-1	27—28	10—14	10,2	—	32—34	15—18	—	1,2	6—7,5	—	—	—
ФЦЛ-2	35—36,5	6—7	—	39,8	3,5	0,9	—	0,5	8,6	—	—	—
ФЦЛ-9	39,5	11,7	—	5—6,5	12—15	14—17	—	1,5	7,0—8,5	0,15	0,05	—
АН-51	31—33	21—23	1,5—2,5	21—26	4—7	5—7	—	1,5	13—19	0,15	0,15	—
АН-8	33—36	11—15	—	7—9	12—15	11,5—15	1,3—1,7	1,0	20—24	0,05	0,05	—
АН-22	18—21,5	19—23	—	0,5	16—20,5	13—16	—	1,0	19—23	0,05	0,05	—
АН-30	2—5	39—44	—	3,7	9—13	3,0	2,4—3	1,0	25—33	0,08	0,05	—
АН-20	21—23	28—32	—	19,5	3,0	17	—	1,0	52,4	0,05	0,05	—
48-ОФ-6	≤4,0	23,5	—	≤3,0	—	—	—	1,0	92	—	—	—
АН-26	≤5,0	20	—	—	—	—	—	1,0	36	0,10	—	—
АН-25	7,0	—	—	—	—	—	—	—	75—80	0,10	—	—
АНФ-5	≤2,0	—	35—40	—	13,5	3,0	—	—	—	0,05	0,02	17,25NaF

* Крупный
** Мелкий

Керамические флюсы

Керамические флюсы, впервые предложенные для дуговой сварки К. К. Хреновым, представляют собой разновидность неплавящихся флюсов. В керамическом флюсе составляющие его компоненты прочно связаны механически в одно целое посредством водного раствора жидкого стекла. При этом каждое зерно содержит в необходимом соотношении все составные части флюса. Благодаря отсутствию операции сплавления компонентов керамических флюсов могут быть представлены не только в виде окислов, как в плавящихся флюсах, но и в виде чистых элементов, ферросплавов, карбидов и т. д.

Керамические флюсы позволяют легировать шов практически любыми элементами и в достаточно широких пределах. Используя керамические флюсы, практически можно получить наплавленный металл любого химического состава, применяя при этом обычную стандартную электродную проволоку.

Керамические флюсы разделяют на три группы: для сварки низкоуглеродистых сталей, для сварки легированных сталей и для наплавочных работ.

Для сварки низкоуглеродистой стали применяют флюсы К-2 и К-3 (табл. 48). Флюс К-2 дает хорошее формирование шва, нечувствителен к ржавчине, окалине и влаге на поверхности изделий, обеспечивает высокую стабильность дуги. Для сварки низколегированных сталей можно использовать флюс К-3. Однако флюсы К-2 и К-3 обладают одним недостатком: в связи с высоким содержанием титанового концентрата, имеющего до 55% TiO₂, происходит интенсивное окисление металла сварочной ванны и ферросплавов флюса.

Более совершенными для сварки углеродистых сталей являются флюсы типа КВС-19 и К-11 (табл. 49). Эти флюсы применяют также в сочетании с низкоуглеродистыми проволоками Св-08 и Св-08А и др.

Для сварки легированных сталей и для наплавочных работ применяют специальные керамические флюсы КС, основой которых является так называемый пассивный флюс, обеспечивающий получение наплав-

48. Состав (%) керамических флюсов для сварки

Компоненты	К-2	К-3
Титановый концентрат	55	59
Полевой шпат	13	15
Плавленый шпат	10	10
Ферромарганец (Mn 1)	14	8
Ферросилиций (Si 75)	8	8
Силикат натрия (раствор плотностью 1,35 в процентах от массы сухой смеси)	13	13

49. Состав (%) керамических флюсов КВС-19 и К-11

Компоненты	КВС-19	К-11
Марганцевая руда	54	60
Кварцевый песок	30	20
Плавленый шпат	7	10
Ферросилиций (Si 75)	7	10
Алюминиевая пудра	2	—
Силикат натрия (в процентах от массы сухой смеси)	15—17	25

ленного металла при использовании низкоуглеродистой проволоки, мало отличающегося от проволоки по составу. Введение в пассивный флюс соответствующих легирующих компонентов позволило создать флюсы для сварки и наплавки легированных сталей. Сам по себе пассивный флюс может быть использован для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей особенно ответственных конструкций. Три состава пассивных флюсов, разработанных различными авторами, приведены в табл. 50.

50. Состав (%) пассивных флюсов

Компоненты	Авторы		
	К. К. Хренов, Д. М. Кушнеров	К. В. Петрань, В. Г. Малышев	Е. И. Бобров
Мрамор	57,7	72,5	69
Плавиковый шпат	20,0	10	20
Диоксид титана	15,0	—	—
Ферроалюминий	—	3,0	3
Ферротитан	6,0	2,0	5
Ферромарганец	0,5	0,5	—
Ферросилиций (Си 75)	0,8	2,0	3
Силикат натрия (в процентах от массы сухой смеси)	20	20	20
	(плотность 1,35)	(плотность 1,5)	(плотность 1,5)

На основе приведенных пассивных флюсов разработаны флюсы для сварки легированных сталей. В табл. 51 приведен в качестве примера флюс КС-30ХГСНА для сварки стали 30ХГСНА низкоуглеродистой проволокой. Механические свойства сварного соединения из стали 30ХГСНА и наплавленного металла, выполненных под флюсом КС-30ХГСНА низкоуглеродистой проволокой, после соответствующей термообработки близки к механическим свойствам основного металла.

Для сварки легированных сталей применяют также флюсы типа К-8 и ФЦК. Флюс используют для сварки и наплавки нержавеющей сталей

51. Состав флюса КС-30ХГСНА

Компоненты	Содержание, %	Компоненты	Содержание, %
Титановый концентрат	15	Феррохром	1,4
Полевый шпат	—	Никель металлический	1,4
Плавиковый шпат	20	Графит	0,2
Ферромарганец (Мн 1)	1,7	Силикат натрия (раствор плотностью 1,35) в процентах от массы сухой смеси	20
Ферросилиций (Си 75)	1,42		
Мрамор	50,1		
Ферротитан	6		

проволоками марки Св-1Х18Н9Т или Св-05Х19Н9Ф3С2. Имея высокие технологические свойства, флюс К-8 обеспечивает высокую стойкость против общей и межкристаллитной коррозии наплавленного металла.

Флюс ФЦК, шлакообразующей основой которого являются фториды и хлориды щелочных и щелочно-земельных металлов и глинозем, в отличие от других керамических флюсов изготовляют спеканием порошкообразных смесей без жидкого стекла. Флюс ФЦК практически пассивен по отношению к легко окисляющимся добавкам электродных проволок.

Для наплавки износостойких сплавов применяют специальные керамические флюсы.

Электродная проволока

Для сварки под флюсом обычно применяют электродную проволоку сплошного сечения, изготовленную по ГОСТ•2246—70. Химический состав электродной проволоки различных марок приведен в табл. 32 (гл. 5). Наплавочную стальную проволоку изготовляют по ГОСТ 10543—63.

Для автоматической сварки под флюсом обычно употребляют тянутую проволоку диаметром 1—6 мм.

Электродная проволока должна поставляться в кассетах определенного размера и массы (табл. 30 гл. 5).

Для автоматической и полуавтоматической сварки и наплавки лучше применять проволоку с омедненной поверхностью.

Помимо обычной сварочной проволоки можно применять порошковую проволоку.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ

В простейшем виде сварочный дуговой автомат состоит из трех основных частей: сварочной головки, источника питания сварочной дуги и аппаратного ящика с пультом управления.

Сварочная головка в процессе сварки выполняет следующие основные функции: подачу электродной проволоки в зону сварки и регулирование дуги, зажигание сварочной дуги в начале сварки и разрывание в конце сварки, подвод сварочного тока к электродной проволоке.

Сварочную головку оснащают механизмами: передвижения сварочной головки или изделия, укладки изделия и направления движения сварочной головки, корректировки электрода (изменение вылета, углов наклона, поперечной корректировки электрода и т. д.), буктодержателем электродной проволоки, плавки электродной проволоки, флюсовой или газовой аппаратурой и др. Такую сварочную головку называют сварочным автоматом.

Сварочные головки могут быть с постоянной или с регулируемой скоростью подачи электрода.

Типы сварочных автоматов

В основу классификации современных автоматов для сварки под флюсом можно положить два основных признака: способ передвижения головки и назначение установки в целом.

В зависимости от способа передвижения различают следующие виды автоматов: подвесные сварочные головки, самоходные сварочные головки, сварочные тракторы, сварочные полуавтоматы.

Установки могут быть предназначены для сварки: а) плоскостных секций; б) балок, колонн или других изделий, имеющих один или несколько параллельных швов; в) цилиндрических изделий, имеющих круговые и прямолинейные швы; г) однотипных узлов массового или серийного производства (специальные установки).

Сварочные головки применяют двух типов: самоходные (САГ-4, АБС и др.) и несамходные с отдельным ходовым механизмом (А-80, А, АБ — Институт электросварки; Б, В, Г, Л — ЦНИИТМАШ, трехфазные УЗТМ-УПИ, АТТ-3, ТКЗ-1, ТГЦ-1, двухдуговые А-228, А-300 и др.)

Для работы сварочных головок необходимы специальные рельсовые пути и несущие конструкции, смонтированные в виде стационарной или полустационарной установки. Сварочные тракторы, являясь автоматами переносного типа, не нуждаются в этом.

Подвесные сварочные головки. Большинство подвесных сварочных головок выпускают с постоянной скоростью подачи электрода. Технические характеристики однодуговых подвесных сварочных головок приведены в табл. 52

Самоходные сварочные головки. Эти головки в отличие от подвесных имеют самостоятельное движение по специальным несущим рельсовым

52. Подвесные сварочные головки

Параметры	Институт электросварки			
	А	АБ	А-384	А-409
Сила сварочного тока, А . . .	400—2000	400—2000	≤1000	100—400
Диаметр электродной проволоки, мм	5—6	5—6	3—5	1,5—2
Скорость подачи электродной проволоки, м/мин	0,5—3,75	0,5—3,75	0,43—3,65	1,3—10
Величина поперечной корректировки, мм	±75	±75	±75	±40
Вертикальная настройка, мм . . .	Нет	200	250	200
Копирное устройство	Есть	Есть	Нет	Нет
Правильный механизм	»	»	Есть	»
Настройка на заданную скорость подачи проволоки	Сменными зубчатыми колесами			
Масса головки (без флюса и проволоки), кг	50	120	135	60
Габаритные размеры, мм				
длина	300	610	610	200
ширина	425	583	700	500
высота	700	1765	1840	1150

путям, располагающимся над свариваемым изделием. Для этой цели используют общий или отдельный от подачи электродной проволоки привод. Технические характеристики самоходных сварочных головок, выпущенных Институтом электросварки, приведены в табл. 53

Многодуговые сварочные головки могут быть подвесными и самоходными. В большинстве случаев в этих головках используют две или три электродные проволоки. Наиболее распространены двухдуговые и трехфазные головки. В первых используют две дуги, горящие или в общем плавильном пространстве, или раздвинутые на некоторое расстояние одна от другой, во вторых — трехфазную сварочную дугу. Многодуговые головки имеют целый ряд технологических преимуществ в сравнении с однодуговыми. Основные из них следующие:

более высокая производительность сварки (по объему наплавленного металла в единицу времени);

высокое качество сварных соединений;

лучшее формирование шва при больших токах и скоростях сварки;

более равномерная нагрузка фаз питающей сети и меньший расход электроэнергии.

Технические характеристики многодуговых сварочных головок приведены в табл. 54.

Сварочные тракторы делят на универсальные и на специализированные. Технические характеристики сварочных тракторов приведены в табл. 55 и 56.

для однодуговой сварки

	Завод «Электрик»			ЦНИИТМАШ			
	А 580	АГЭ-3-26	АГЭ-5 2	Б	Г	В	Л
100—600	≤1500	≤1200	300—1300	300—2000	600—3000	≤1750	
1—3	4—8	4—6	3—6	3—8	6—10	4—6	
0,8—6,8	0,15—2,5	0,8—2,5	0,3—1,65	0,6—4,8	0,5—2,0	0,9—7,2	
±40	±30	±20	—	±75	—	—	
245	Нет	200	Нет	Нет	Нет	—	
Нет	»	Нет	Есть	»	»	Есть	
»	Есть	Есть	Нет	Есть	Есть	»	
—	Автоматически (тиatronное управление)	Автоматически	Изменением оборотов двигателя и парой сменных шестерен	Механическим варнатором	Механическим варнатором и сменными шестернями	Изменением оборотов двигателя	
84	—	60	16	30	150	175	
925	—	—	—	535	—	655	
1200	—	—	—	410	—	580	
1250	—	—	—	215	—	1115	

53. Сварочные автоматы конструкции Института электросварки, передвигающиеся по направляющим, расположенным в вертикальной плоскости

Характеристика	Унифицированный сварочный автомат УСА-2	Самоходная автосварочная головка САГ-4	Унифицированный сварочный автомат АБС
Основные узлы комплекта	Устройство с совмещенным механизмом для подачи электрода и передвижения аппарата, мундштука, кассета, бункер с отсасывающим устройством и кнопочный пульт	Устройство с совмещенным механизмом для подачи электрода и передвижения аппарата, мундштука, кассета, бункер и кнопочный пульт	Сварочная головка, самоходная тележка, бункер с отсасывающим устройством, кассета и кнопочный пульт
Диаметр электродной проволоки, мм	5 и 6	4, 5 и 6	3—6
Сила сварочного тока, А	400—1500	300—1500	400—2000
Скорость подачи электрода, м/мин	0,25—2,0	0,66—2,5	0,5—3,75
Способ регулирования скорости подачи электрода	Независимая скорость подачи регулируется кнопочными роликами	Независимая скорость подачи регулируется сменными зубчатыми колесами	Независимая скорость подачи регулируется сменными зубчатыми колесами
Плавка электродной проволоки	Отсутствует	Имеется	Имеется

Продолжение табл. 53

Характеристика	Унифицированный сварочный автомат УСА-2	Самоходная автосварочная головка САГ-4	Унифицированный сварочный автомат АБС
Скорость передвижения при сварке, м/ч	10—98	20—75	13,5—112
Способ регулирования скорости передвижения при сварке	Сменными зубчатыми колесами		
Маршевое передвижение	Вручную		
Вылет оси электрода от рельса, мм	160±100	190±30	410±74
Расстояние (по вертикали) между нижним рельсом и свариваемыми кройками, мм	360±100	425±75	880±200
Масса комплекта, кг Объем бункера, л	60 15	62 15	160 20
Направление электрода по шву	Посредством копира или указателя	Посредством указателя	Посредством копира или указателя

54. Головка для многодуговой сварки

Характеристика	Завод «Красный котельщик»	Минтяж-маш	Уральский политехнический институт — Уралмашзавод		ЦНИИТМАШ	Институт электросварки			
			УПИ-УЗТМ-II	УПИ-УЗТМ-III		ТЛЦ-2	A-330	A-639	A-513
Назначение	Для сварки трехфазной дугой тремя электродами или проволоками стыковых швов изделий толщиной 20 мм и более со скоростью 20—30 м/ч, а также для сварки изделий толщиной менее 20 мм со скоростью до 320 м/ч	Для сварки трехфазной дугой двумя электродами тродными проволоками или проволоками с подачей третьей присп. дочной проволоки	Для сварки трехфазной дугой двумя электродами тродными проволоками	Для сварки трехфазной дугой двумя электродами тродными проволоками с подачей третьей присп. дочной проволоки	Для сварки трехфазной дугой двумя электродами тродными проволоками	Для сварки дуговой и трехфазной сварки и наплавка	Наплавка на скользящих электродами	Сварка и наплавка трехфазной дугой	
Диаметр электродной проволоки, мм	≤10	5—8	4—6	4—6	3—8	3—5	2—6	2—4	3—4

Продолжение табл. 54

Характеристика	Завод «Красный котельщик»	Минтяж-маш	Уральский политехнический институт — Уралмашзавод		ЦНИИТМАШ	Институт электросварки			
			УПИ-УЗТМ-II	УПИ-УЗТМ-III		ТЛЦ-2	A-330	A-639	A-513
Скорость подачи проволоки, м/мин	0,45—1,8	0,62—2,9	1,12—4,0	0,83—4,3	0,55—4,6 и 1,7—17	0,67—5,15	0,48—3,65	0,5—2,5	3,3—10
Способ настройки на заданную скорость подачи проволоки	Ступенчатый — сменными зубчатыми колесами, а в пределах ступеней — вариатором скорости	Сменные зубчатые колеса и подающие ролики	Ступенчатый — сменными зубчатыми колесами, а в пределах ступеней — вариатором скорости	Ступенчатый — сменными зубчатыми колесами, а в пределах ступеней — вариатором скорости	Бесступенчатый — механическим вариатором и сменных зубчатых колес (при переходе с одного диапазона скорости на другой)	Сменными зубчатыми колесами			Коробкой скоростей

Продолжение табл. 54

Характеристика	Завод «Красный котельщик»	Минтяж-маш	Уральский политехнический институт — Уралмашзавод		ЦНИИТМАШ	Институт электросварки			
			УПИ-УЭТМ-II	УПИ-УЭТМ-III		ТЦ-2	A-330	A-639	A-513
Сила сварочного тока на каждую электродную проволоку, А	1	1500—1800	600—2500	600—2500	300—2000	≤1500	≤1500	≤3000 (суммарно)	≤120
Скорость сварки, м/ч	Подвесные головки				—	40—120	14—110	Подвесная головка	5,3—49,6
Расположение электродов	Вдоль	Вдоль и поперек			Вдоль	Вдоль и поперек		Поперек	Вдоль и поперек

55. Универсальные сварочные тракторы

Характеристика	ЦНИИТМАШ			Институт электросварки		Завод «Электрик»					
	УТ-2000М-1	УТ-1250-1	УТ-1250-3	ТС-17М	ТС-17Р	ТС-26	АДС-1000-2	АДС-500	АДФ-500	АДПТ-500	АДСП-2
Сила сварочного тока, А	300—2000	300—1250	150—1250	200—1200	200—1200	300—1500	400—1200	160—500	150—500	150—500	≤400
Диаметр электродной проволоки, мм	3,0—8,0	2,5—6,0	1,6—6,0	1,6—5,0	1,6—5,0	3—6	3—6	1,6—2	1,2—2,5	1,2—2,5	1,0—3,0
Скорость подачи электродной проволоки, м/мин	0,6—4,8	0,5—3,0	0,75—16	0,84—6,7	0,95—7,3	0,7—7,8	0,5—2,0	1,9—7	1,5—16	1,5—16	1,7—20
Скорость передвижения при сварке, м/ч	10—320	13—83	10—80	16—126	16—126	9—80	10—70	15—70	15—80	15—80	12—120
Габаритные размеры (длина × ширина × высота), мм	1600 × 350 × 800	1220 × 350 × 590	1220 × 350 × 550	740 × 350 × 520	740 × 300 × 620	820 × 400 × 555	1010 × 350 × 660	515 × 320 × 435	570 × 260 × 420	600 × 250 × 356	1600 × 625 × 620

Характеристика	ЦНИИТМАШ			Институт электросварки			Завод «Электрик»			
	VT-2000M-1	VT-1250-1	VT-1220-3	TC-17M	TC-17P	TC-26	АДС-1000-2	АДС 500	А ПТ-50	АДСП-2
Масса (без флюса и проволоки), кг	130	44	50	42	42	50	65	75	26	63
Способ защиты сварочной ванны	Флюс	Флюс или газ	Флюс	Флюс	Газ	Флюс	Флюс	Газ	Газ	Газ
Способ настройки скорости подачи	Фрикцион-ным вариатором	Изменением числа оборотов двигателя	Сменными зубчатыми колесами	Автоматическим изменением оборотов двигателя	Изменением числа оборотов двигателя	Автоматическим изменением оборотов двигателя	Изменением числа оборотов двигателя	Изменением числа оборотов двигателя	Изменением числа оборотов двигателя	Изменением числа оборотов двигателя

Примечание Скорость подачи электродной проволоки для всех тракторов, кроме АДС-1000-2, постоянная

56. Специализированные сварочные тракторы

Характеристика	Институт электросварки						ПНИИ-МСП	УПИ-УЭТМ-2	ВНИИСО
	ТС-22	ТС-32	ТС-31	ДТС-24	АСУ-138	УПИ-УЭТМ-2			
Назначение	Сварка прерывистых швов	Односторонняя сварка с зазором между листами и со скользким ползунком	Сварка алюминия и его сплавов	Двухдуговая сварка	Сварка швов наклонном электродомом	Сварка угловых швов наклонном электродомом	Трехфазная сварка стальных швов	Двухэлектродная сварка и наплавка под флюсом	
Способ настройки на заданную скорость подачи	Бесступенчатый — изменением частоты вращения электродного двигателя	Ступенчатый — сменными зубчатыми колесами	Ступенчатый — сменными зубчатыми колесами	Двухдуговая сварка	Бесступенчатый — изменением частоты вращения электродного двигателя	Бесступенчатый — изменением частоты вращения электродного двигателя	Ступенчатый — сменными зубчатыми колесами	Изменением частоты вращения электродного двигателя	
Сила сварочного тока, А	250—1000	250—900	Постоянный ток до 800	≤800 (на дугу) 2—4	250—650	250—650	300—1000 (на дугу) 3—6	≤500 (на электрод) 1,6—2,0	
Диаметр электродной проволоки, мм	2—5	φ—5	Один электрод 3—4 мм, два электродов 1,6—2	—	1,6—2	1,6—2	—	—	
Скорость подачи электрода, м/мин	≤5	2,3—4,7	—	—	1,5—6	1,5—6	0,5—5,0	2,5—10	
Скорость сварки, м/ч	20—80, маршевый ход 100 м/ч	24—50	8—42	20—75	25—75	25—75	7,2—63,8	8—40	
Масса трактора, кг	50	68	—	50	40	40	30	—	

Специализированные сварочные автоматы

Автоматы для сварки кольцевых швов. Технические характеристики автоматов приведены в табл. 57.

57. Автоматы для сварки кольцевых швов

Характеристика	ССГ-3	АОШ-1	АОС-4
Система подачи электрода	Независимая скорость подачи электрода		
Диаметр электродной проволоки, мм	3—6	3—6	4—5
Сила сварочного тока, А	300—1000	300—1000	450—900
Скорость подачи электродной проволоки, м/мин	0,5—3,0	0,5—3,0	—
Скорость передвижения при сварке, м/ч	10—60	4—11	—
Способ регулирования скорости сварки и подачи электродной проволоки	Плавное, бесступенчатой передачей		Сменными зубчатыми колесами
Плавка электродной проволоки	Имеется		Не нужна
Диаметр свариваемого кольцевого шва, мм	800 и более	25—110	20—0
Характеристика электродвигателя головки	Трехфазный, 100 Вт, 2800 об/мин		
Габаритные размеры головки (длина × ширина × высота), мм	628 × 460 × 272	368 × 430 × 770	250 × 410 × 155
Масса головки (без проволоки и флюса), кг	32	32	18

Шланговые полуавтоматы и автоматы. При шланговой сварке электродную проволоку диаметром 1,0—2,5 мм подают механизмом в зону сварки. Шланговая сварка под флюсом позволяет выполнять сплошные прерывистые, криволинейные швы, а также швы в труднодоступных местах. Техническая характеристика шланговых автоматов и полуавтоматов приведена в табл. 58.

58. Шланговые автоматы и полуавтоматы

Характеристика	Завод «Электрик»		Институт электросварки		Изменение частоты вращения электродвигателя
	АОШ-500	АОШ-500	А-519-В	А-547-Р	
Система подачи электрода	Зависимая скорость подачи		Постоянная скорость подачи		Коробочных скоростей
	150—600 1,2—2,5	150—600 1,2—2,5	150—600 1,2—2,5	150—600 1,2—2,5	
Сила сварочного тока, А	90—450	100—420	79—600	1,6—2,0	2—16
	90—450	100—420	79—600	1,6—2,0	2—16
Диаметр электродной проволоки, мм	1,2—2,5	1,2—2,5	1,2—2,5	1,2—2,5	1,6—2,0
	1,2—2,5	1,2—2,5	1,2—2,5	1,2—2,5	1,6—2,0
Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	90—450	100—420	81—598	1,3—10	1,5—16
	90—450	100—420	81—598	1,3—10	1,5—16
Способ регулирования скорости подачи проволоки	Электрическим регулированием частоты вращения электродвигателя постоянного тока		Сменными зубчатыми колесами		Коробочных скоростей
	Электрическим регулированием частоты вращения электродвигателя постоянного тока		Сменными зубчатыми колесами		

В зону сварки флюс подается из бункеров автоматов самотеком. При этом угол наклона трубы, по которой сыпается флюс, не должен быть менее 45° к горизонту. Для отсоса флюса применяют специальные пневматические флюсоаппараты, которые могут быть двух систем: всасывающего действия и всасывающе-нагнетательного (смешанного) действия. Обе эти системы работают от сети сжатого воздуха с давлением 3—5 кгс/см².

Флюсоаппарат всасывающего действия (рис. 68), у которого полость бункера находится под разрежением, применяют в тех случаях, когда не требуется одновременное действие ссыпки и отсоса флюса. Чаще всего эти аппараты используют для обслуживания переносных автоматов и полуавтоматов и монтируют на легких тележках. Флюсоаппарат всасывающего действия представляет собой цилиндрический корпус с пневматическим эжектором, создающим разрежение в полости бункера, и флюсоотделяющим устройством — сепаратором. Флюс под действием разрежения по всасывающей трубе отсасывается с поверхности шва и подается в бункер. В бункере происходит отделение воздуха от флюса и пыли. Производительность аппарата при высоте всасывания до 4 м, длине всасывающей трубы до 7 м и давлении сети 4,5—5 кгс/см² достигает 10—12 кг/мин (при насыпной массе флюса 1,5—1,6 кг/л).

Флюсоаппараты смешанного действия (рис. 69), у которых всасывающая труба находится под вакуумом, а полость бункера под атмосферным или даже под избыточным давлением, целесообразно применять при сварке длинных швов, при непрерывном процессе сварки или когда необходим одновременный отсос и засыпка флюса. У флюсоаппаратов этого типа эжектор находится непосредственно у входа всасывающей трубы, вследствие чего в полости бункера устанавливается некоторое избыточное давление, устраняющее зависание флюса в бункере и в сыпной трубе.

Флюсоаппараты смешанного действия имеют существенные недостатки. В них наблюдается большее дробление флюса и износ деталей бункера вследствие больших скоростей движения флюса, а также заметное увлажнение флюса вследствие соприкосновения с расширяющейся струей сжатого воздуха. Поэтому на аппараты смешанного действия в подводящей воздушной трубе желательнее ставить осушители воздуха.

Самоходные тележки

Для перемещения сварочных головок, удобства работы и максимальной загрузки оборудования при автоматической сварке очень часто используют самоходные тележки, типы и конструкции которых выбирают прежде всего в зависимости от назначения установки. Наибольшее применение на заводах имеют самоходные тележки глагольного и велосипедного типа.

Примером тележки глагольного типа является тележка Т-38 (рис. 70). Эту тележку применяют на универсальных установках для маршевого и рабочего хода сварочной головки. Тележка Т-38 представляет собой самоходную трехосную платформу, перемещающуюся по рельсовому пути. На платформе укреплена колонна с подъемной крестовиной и выдвигной консолью, на которую подвешивают сварочную головку. Подъем и изменение вылета консоли производят посредством ручных приводов в широких пределах: по высоте 1300 мм, по горизонтали

1000 мм. Скорость движения тележки 16—80 м/ч изменяется посредством сменных зубчатых колес или коробкой скоростей. Маршевая скорость тележки 700 м/ч.

Примером тележки велосипедного типа может служить тележка Т-3 (рис. 71), применяемая преимущественно для сварки продольных и коль-

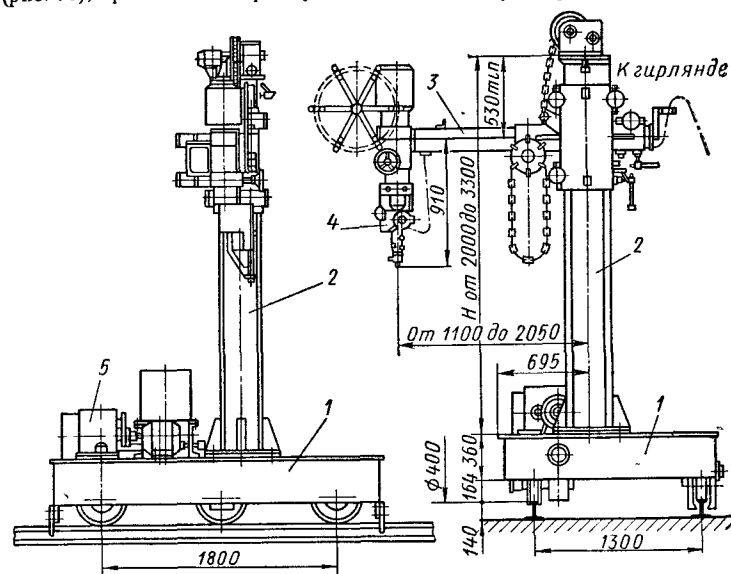


Рис. 70. Самоходная тележка глагольного типа:

1 — самоходная платформа; 2 — колонна; 3 — подъемная консоль; 4 — сварочная головка; 5 — электропривод ходовой части тележки

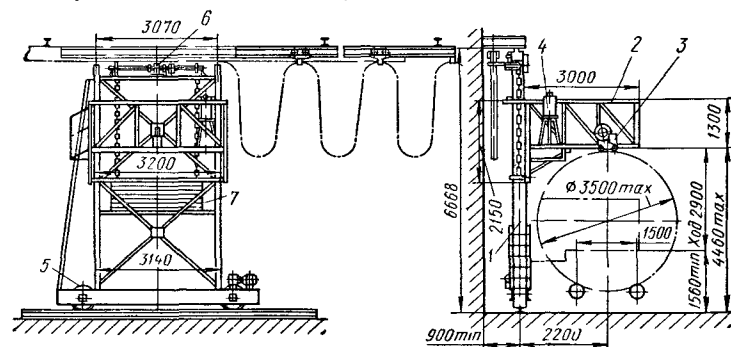


Рис. 71. Велосипедная тележка типа Т-3:

1 — тележка; 2 — балкон тележки; 3 — сварочный трансформатор; 4 — флюсоаппарат; 5 — бегунки тележки; 6 — механизм подъема балкона; 7 — противовес

цевых швов цилиндрических изделий диаметром до 3,5 м. Тележка передвигается по двум рельсам, расположенным в вертикальной плоскости; обычно ее оборудуют подъемным балконом, на котором находится сварщик и сварочный автомат. На балконе может укрепляться рельсовый путь для самоходной головки или площадка для сварочного трактора. Белотележка обычно обеспечивает только маршевый ход. Подъем балкона на нужную высоту производят специальным подъемным механизмом с электрическим или ручным приводом. Обычно под балконом велотележки устанавливают роликовый стенд, обеспечивающий вращение изделия при сварке кольцевых швов.

Кантователи и манипуляторы

Тип кантователя и манипулятора определяется прежде всего размерами изделия, его массой, технологией сборки и сварки и конкретными условиями производства. Наибольшее применение на заводах получили центные кантователи, центровые вращатели и манипуляторы.

Для кантовки длинных балок и колонн очень часто применяют цепной кантователь (рис. 72), допускающий поворот изделия на любой угол. Для поворота коротких балок и колонн целесообразно применять центровые вращатели.

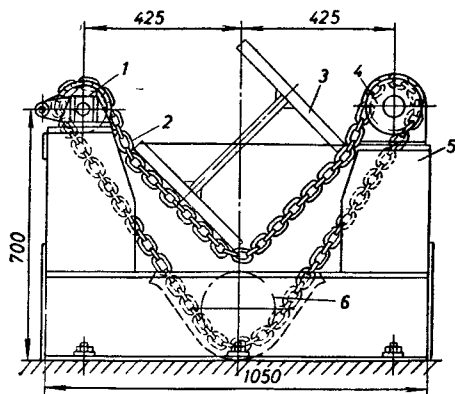


Рис. 72. Цепной кантователь для балок:

1 — холостая звездочка; 2 — цепь калиброванная; 3 — свариваемая балка; 4 — ведущая звездочка; 5 — поперечная рама-стойка; 6 — холостой блок

Для вращения цилиндрических изделий с необходимой для сварки скоростью, а также для их поворота в удобное для сварки положение применяют роликовые стенды (табл. 59). Вращение осуществляется сцеплением приводных опорных роликов с изделием.

59. Роликовые стенды

Тип	Масса изделий, т не более	Форма свариваемых изделий
T-15	10	Длинные
T-16	5	Короткие
T-17	10	Длинные со смещенным центром тяжести
T-18	5	Короткие со смещенным центром тяжести
T-19	5	Короткие конические и цилиндрические
T-30	10	Длинные цилиндрические с перекидной роликоопорой

Примечание
Рабочая окружная скорость 0,32—1,3 м/мин, маршевая 11 м/мин, диаметр изделий 300 мм и более

60. Сварочные манипуляторы

Параметры	T-25	УСМ-500	СМ-1000М	УСМ-1200	M-636	УСМ-3000	УСМ-5000	УСМ-10000
Грузоподъемность, кг	500	500	1000	1200	1500	3000	5000	10 000
Наибольшие габаритные размеры свариваемых изделий, мм	1000 X 1000	1700 X 1700 X 700	2500 X 2500 X 1000	2500 X 2500 X 1000	2200 X 2200 X 800	3000 X 3000 X 1200	3500 X 3500 X 1500	5000 X 5000 X 2500
Диаметр свариваемых круглых швов, мм	400—750	50—1500	≤2000	50—2000	500—2000	150—3000	200—3500	350—5000
Угол поворота (наклона) стола вокруг горизонтальной оси, градусы	135	±360	360	145	90	180	135—110	135
Частота вращения планшайбы, об/мин:	0,2—1,0	0,0355—3,2	2	0,56—2,26 6,03	0,04—0,26	0,018—1,26 1,65	0,0264—0,942 1,6	0,01—0,6
Способ регулировки скорости сварки	Сменные зубчатые колесами	Потенциотром	—	Потенциотром	Коробочной скоростей и сменными зубчатыми колесами	Потенциотром	Потенциотром	Гидравлическим дросселем
Допускаемый момент на оси стола на цапфах	200 200	50 50	200 200	175 700	1387	750 400	2750 500	15 000 4 000
Размеры манипулятора, мм	1000 1100 1030	1980 1200 1000	—	2350 1400 1160 2370	2500 2700 1670 4000	2680 1560 1280 2336	1800 3350 1500 5350	1800 3350 1500 5200
Масса, кг	1530	670	—	—	—	—	—	—

Расстояние между роlikоопорами в продольном и поперечном направлениях, а также их количество определяются конструкцией, массой и размерами свариваемых изделий. При массе изделий 5—10 т применяют роlikоопоры с диаметром роликoв 410 мм, при меньшей массе — диаметром 270 мм.

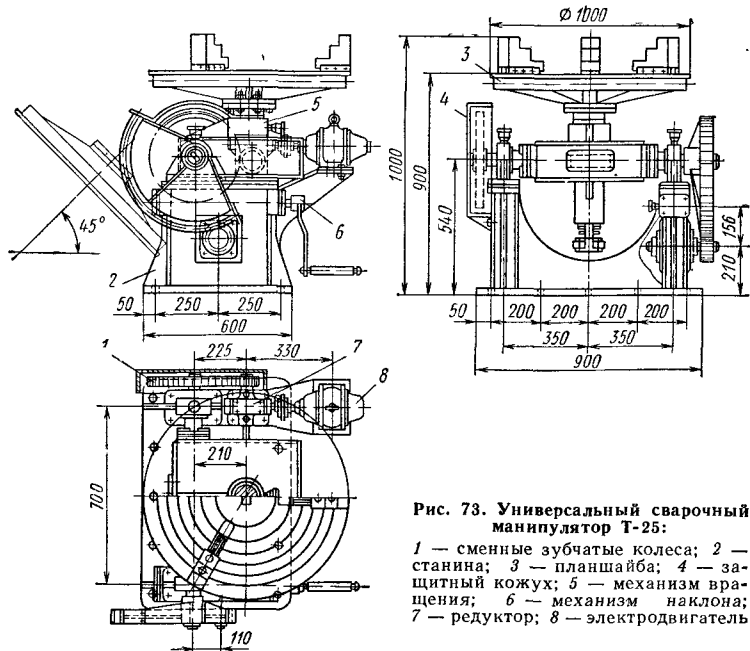


Рис. 73. Универсальный сварочный манипулятор Т-25:

1 — сменные зубчатые колеса; 2 — станция; 3 — планшайба; 4 — защитный кожух; 5 — механизм вращения; 6 — механизм наклона; 7 — редуктор; 8 — электродвигатель

Для сварки и наплавки круговых швов широкое применение получили сварочные манипуляторы (табл. 60). Универсальный сварочный манипулятор Т-25 показан на рис. 73.

Сварочные манипуляторы рассчитаны на вращение изделий с необходимой скоростью, а также на установку оси вращения изделия под различными углами.

Манипуляторы типа УСМ обеспечивают плавное изменение скорости сварки, механизированный наклон и подъем свариваемых изделий и имеют дистанционное управление.

ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ ПОД ФЛЮСОМ

Влияние технологических факторов на форму швов

Размеры и форма сварных швов. Под формой шва понимают обычно характер очертания поперечного сечения сварного шва.

Формы шва, наиболее часто встречающиеся при автоматической сварке под флюсом, показаны на рис. 74.

В сварочной технике существует достаточное число разнообразных практических приемов и технологических вариантов, позволяющих получить необходимую форму шва. При выборе формы шва необходимо учитывать не только его назначение, но и условия работы изделий.

От формы и размеров сварного шва в большей мере зависит его стойкость против образования горячих трещин и вероятность образования дефектов формирования: подрезов, непроваров, наплывов и др. Сварные швы с большой глубиной провара обычно имеют большую склонность к горячим трещинам, чем швы с малой глубиной.



Рис. 74. Форма швов при автоматической сварке под флюсом

Форму большинства сварных швов можно характеризовать тремя основными размерами: $h_{пр}$ — глубиной проплавления основного металла; $h_{ус}$ — высотой усиления сварного шва и b — шириной проплавления.

Кроме того, для характеристики формы шва используют два коэффициента:

$\psi_{пр} = \frac{b}{h_{пр}}$ — коэффициент формы проплавления; $\psi_{ус} = \frac{b}{h_{ус}}$ — коэффициент формы усиления.

Соотношение наплавленного и расплавленного металла в сварном шве характеризуют обычно коэффициентом γ , называемым долей участия основного металла в шве,

$$\gamma = \frac{F_0}{F_H + F_0},$$

где F_0 — площадь проплавления основного металла;

F_H — площадь наплавленного металла.

Коэффициенты формы шва и доля участия основного металла в шве в значительной мере влияют на химический состав шва и его структуру. Вследствие этого от коэффициентов формы шва и доли участия основного металла в шве становятся весьма зависимыми свойства сварных соединений.

При данных исходных материалах (электродах, сварочной проволоке, флюсе, основном металле) коэффициенты формы шва ($\psi_{пр}$ и $\psi_{ус}$), а также доля участия основного металла в шве (γ) в основном зависят от режимов сварки, способа сварки, подготовки кромок под сварку и мало, практически, зависят от типа сварного соединения.

Поэтому приводимые ниже данные, полученные при наплавке валиков на пластины, могут быть использованы при выборе режимов сварки стыковых и угловых швов.

Влияние режима сварки на форму швов

Величина силы сварочного тока. Наиболее существенное влияние на форму шва оказывает величина силы сварочного тока. При увеличении силы сварочного тока возрастает расход тепла на плавление основного и электродного металла, что вызывает увеличение объема жидкой сварочной ванны. С увеличением силы сварочного тока возрастает давление сварочной дуги на поверхность жидкой ванны. Вследствие этого расплавленный металл ванны более интенсивно оттесняется из-под электрода и сварочная дуга углубляется в основной металл. Глубина проплавления ($h_{пр}$) основного металла повышается и находится в прямой зависимости от величины сварочного тока ($I_{св}$):

$$h_{пр} = KI_{св},$$

где K — коэффициент пропорциональности, зависящий от рода тока и полярности, диаметра электрода, а также от марки флюса (табл. 61).

61. Значения коэффициента K в зависимости от марки флюса и диаметра электрода

Марка флюса	Ток	Диаметр электрода, мм	Значения K , мм/100А	
			Тавр. стык с разделкой кромок	Наплавка, стык без разделки кромок
АН 348А АН-348А	Переменный	5	1,5	1,1
		2	2,0	1,0
АН-348А ОСЦ-45	Постоянный, обратной полярности Переменный	5	1,25	1,0
		5	1,55	1,15

При сварке под современными флюсами глубина проплавления с изменением полярности с прямой на обратную возрастает. Сварка на переменном токе дает значения глубины проплавления, средние между прямой и обратной полярностью.

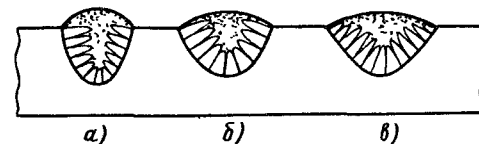
При изменении величины силы сварочного тока ширина проплавления основного металла остается практически неизменной, так как погружение дуги в основной металл с возрастанием силы тока вызывает укорочение дуги, а значит, и уменьшение ее подвижности. Поэтому коэффициент формы проплавления с возрастанием силы тока уменьшается. С уменьшением коэффициента формы проплавления ниже оптимальных значений заметно ухудшаются условия дегазации сварочной ванны, повышается склонность металла сварных швов к образованию горячих трещин. Кроме того, увеличение силы тока вызывает обычно возрастание количества наплавленного металла. При неизменной ширине шва это обуславливает резкое уменьшение коэффициента формы усиления. В результате образуется резкий переход от наплавленного металла к основному, что снижает работоспособность сварных соединений, особенно при ударных и знакопеременных нагрузках, ухудшается поверхность шва и затрудняется отделимость шлаковой корки.

Поэтому для большинства сварных соединений, особенно из углеродистых, высокоуглеродистых и легированных сталей, нижний предел коэффициента формы проплавления ($\psi_{пр}$) ограничивается величиной 1,0. В связи с этим при переходе на сварку большой силой тока для соблюдения оптимальных значений коэффициента формы шва соответственно повышают напряжение сварочной дуги.

Диаметр электрода. Существенное влияние на форму шва и долю участия основного металла в сварном шве оказывает диаметр электрод-

Рис. 75. Влияние напряжения дуги на ширину шва:

а — $U_d = 30 \div 32$ В; б — $U_d = 40 \div 42$ В; в — $U_d = 50 \div 52$ В; флюс АН-348А, $I_{св} = 1100$ А



ной проволоки. Изменение диаметра электрода ($d_э$) при неизменной силе сварочного тока ($I_{св}$) вызывает пропорциональное изменение плотности тока:

$$i = \frac{I_{св}}{\frac{\pi d_э^2}{4}},$$

где i — плотность тока А/мм².

Данные по влиянию плотности тока на глубину провара и коэффициенты формы шва приведены в табл. 62.

Одну и ту же глубину проплавления можно получить при разных силах сварочного тока, изменяя диаметр электродной проволоки (табл. 63 и 64).

Применение электродной проволоки малых диаметров при сварке под флюсом металла заданной толщины является важной мерой, направленной на снижение величины сварочного тока и расхода электроэнергии. Это обстоятельство наряду с другими преимуществами обусловило широкое применение сварки под флюсом тонкой проволокой.

Напряжение дуги. Большое влияние на форму шва, а также на долю участия основного металла в металле шва оказывает напряжение на дуге (U_d), зависящее в основном от длины дуги и состава дуговых газов. Для сварочной дуги под флюсом справедливо уравнение

$$U_d = a + bl_d,$$

где a — падение напряжения на аноде и катоде, В;

b — падение напряжения на единицу длины столба дуги, В/мм;

l_d — длина дуги, мм.

Из этого уравнения видно, что чем больше длина дуги, тем выше ее напряжение.

Длина дуги (l_d) определяет прежде всего ее подвижность. Увеличение длины дуги вызывает большую ее подвижность. Поэтому повышение напряжения дуги обуславливает увеличение ширины проплавления основного металла (рис. 75). При прочих равных условиях повышение

62. Влияние плотности тока (диаметра электрода) на форму шва

Параметры	Сила сварочного тока, А							
	700—750		1000—1100		1300—1400			
	Диаметр электрода, мм							
	6	5	4	6	5	4	6	5
Средняя плотность тока, А/мм ²	26	36	58	38	52	84	48	68
Глубина провара, мм	7,0	8,5	11,5	10,5	12,0	16,5	17,5	19,0
Ширина провара, мм	22	21	19	26	24	22	27	24
Коэффициент формы	3,1	2,5	1,7	2,5	2,0	1,3	1,5	1,3

63. Влияние силы тока и диаметра электродной проволоки на глубину провара

Диаметр электродной проволоки, мм	Характеристика режима	Глубина проплавления, мм						
		3	4	5	6	8	10	12
5	Сила сварочного тока, А	450	500	550	600	725	825	930
	Плотность тока, А/мм ²	23	26	28	31	37	42	47
4	Сила сварочного тока, А	375	425	500	550	675	800	925
	Плотность тока, А/мм ²	29	35	40	44	53	64	73
3	Сила сварочного тока, А	300	350	400	500	625	750	875
	Плотность тока, А/мм ²	43	50	57	71	89	107	127
2	Сила сварочного тока, А	200	300	350	400	500	600	700
	Плотность тока, А/мм ²	64	104	127	143	157	200	224

Примечание Флюс АН-348А, проволока Св-08

64. Значение силы сварочного тока, при которой достигают одинаковую глубину проплавления при разных диаметрах электродов

Диаметр электрода и глубина проплавления, мм	Сила сварочного тока (А) при глубине проплавления, мм				
	9,0	10,5	12,5	14,0	15,5
6	950	1050	1200	1300	1400
5	850	950	1100	1200	1300
4	700	800	900	1000	1100

Примечание Флюс АН-348, проволока Св-08 Скорость сварки 40 м/ч.

напряжения дуги способствует получению сварных швов с малой высотой усиления. Глубина проплавления с изменением длины дуги (напряжения на дуге) при сварке на больших силах тока изменяется практически незначительно.

Если, например, при автоматической сварке под флюсом при силе тока 1000А и скорости сварки 20 м/ч изменить напряжение на дуге с 30 на 50 В, то глубина проплавления изменится всего на 3—4 мм. Но при сварке тонких листов (например, 2—6 мм), когда применяют малые силы сварочного тока, влияние напряжения дуги на глубину проплавления необходимо учитывать.

Повышение напряжения на дуге при неизменной силе сварочного тока вызывают возрастание коэффициентов формы шва ($\psi_{пр}$ и $\psi_{св}$) и доли участия основного металла в металле шва и наоборот. Напряжение на дуге при сварке под флюсом выбирают обычно по опытным данным, отражающим изменение напряжения дуги в зависимости от величины сварочного тока, диаметра электрода, марки и других параметров (табл. 65).

65. Напряжение дуги в зависимости от силы тока и диаметра электрода

Сила сварочного тока, А	Напряжение, В, при диаметре электрода	
	2 мм, флюс АН-348А	5 мм, флюсы АН-348А и ОСЦ-45
180—300	32—34	—
300—400	32—34	—
500—600	36—40	—
600—700	—	38—40
700—850	—	40—42
850—1000	—	40—43
1000—1200	—	40—44

66. Влияние напряжения дуги на ширину проплавления при сварке на постоянном токе

Напряжение дуги, В	Ширина проплавления, мм, при полярности	
	прямой	обратной
30—32	21	22
40—42	25	28
53—55	25	33

Примечание.
 $I_{св} = 550$ А; $v_{св} = 24$ м/ч;
 $d_э = 5$ мм, флюс АН-348

Рассматривая влияние напряжения на дуге на ширину проплавления основного металла, необходимо знать, что оно зависит также от рода тока и полярности (табл. 66).

При сварке под обычными флюсами ширина провара на обратной полярности (плюс — на электроде, минус — на изделии) больше, чем на прямой; причем чем выше напряжение дуги, тем больше разница в ширине провара. Ширина провара при сварке на переменном токе в тех же условиях получает средние значения — меньше, чем при обратной, и больше, чем при прямой полярности.

Скорость сварки. Форма шва и доля основного металла в шве в большей мере зависят от скорости сварки ($v_{св}$), оказывающей влияние на положение столба дуги по отношению к поверхности сварочной ванны. Чем больше скорость сварки, тем больше отклоняется столб дуги.

Отклонение столба дуги происходит в сторону, обратную движению электрода. Вследствие этого с возрастанием скорости сварки растет отклонение сварочной дуги от оси электрода. Наклон дуги в сторону, обратную движению электрода, вызывает некоторое увеличение горизонтальной составляющей давления дуги на расплавленную ванну, а значит, и оттеснение ванны из-под оси электрода.

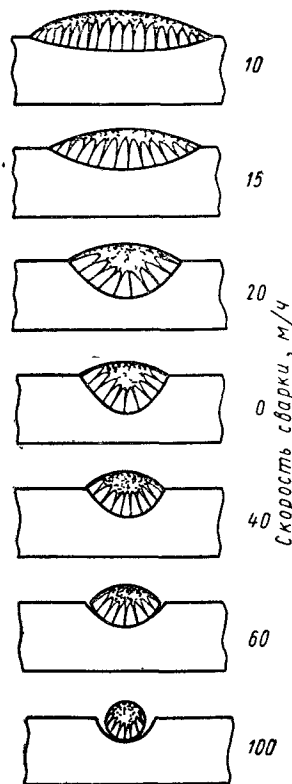


Рис. 76. Влияние скорости сварки на форму шва

Углы наклона электрода (α) и изделия (β) существенно влияют на общую высоту H , а значит, и на $h_{пр}$. Так, при возрастании угла наклона от 0 до $6-8^\circ$, т. е. от вертикального положения до 8° в сторону движения электрода, высота шва увеличивается и $h_{пр}$ имеет максимальное значение. При дальнейшем увеличении α высота шва начинает падать.

При сварке на подъем глубина проплавления увеличивается, а ширина проплавления падает, при сварке на спуск — наоборот.

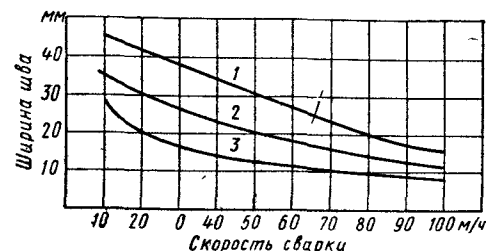
Влияние подготовки кромок и типа соединения на форму шва и долю участия основного металла в шве. Экспериментальными исследованиями

доказано, что форма проплавления основного металла практически не зависит от типа шва и соединения от параметров разделки. Поэтом у глубина проплавления основного металла растет (рис. 76) Но так как увеличение скорости сварки при той же мощности дуги обуславливает пропорциональное уменьшение погонной энергии (энергии, выделенной на единицу длины шва), то при дальнейшем увеличении скорости сварки картина изменяется; глубина проплавления начинает убывать. Величина скорости сварки, при которой изменяется характер влияния на глубину провара, зависит от диаметра электрода, напряжения и силы тока в дуге, наклона электрода и т. д. и лежит в пределах около $30-40$ м/ч. Ширина проплавления с увеличением скорости сварки непрерывно падает (рис 77), причем в относительно больших размерах, чем глубина провара. Поэтому коэффициент формы проплавления шва с увеличением скорости сварки снижается. Вследствие уменьшения ширины проплавления увеличивается высота шва, а значит, коэффициент формы усиления снижается. Но доля участия основного металла в шве с возрастанием скорости сварки непрерывно растет.

Влияние углов наклона электрода и изделия на форму шва. Заданную форму шва можно получить не только изменением режима сварки, но и применением некоторых технологических приемов. К таким технологическим приемам относят обычно наклон электрода или изделия по отношению к горизонту каждого по отдельности или совместно (рис. 78 и 79).

ниями доказано, что форма проплавления основного металла практически не зависит от типа шва и соединения от параметров разделки.

Рис. 77. Влияние скорости сварки и напряжения дуги на ширину шва ($I_{св} = 900$ А; флюс АН-348А):
1 — $U_d = 50 \div 52$ В; 2 — $U_d = 40 \div 42$ В; 3 — $U_d = 30 \div 32$ В



Форма проплавления основного металла определяется прежде всего основными составляющими режима сварки, т. е. величиной силы сварочного тока, напряжением на дуге и скоростью сварки. Как показано

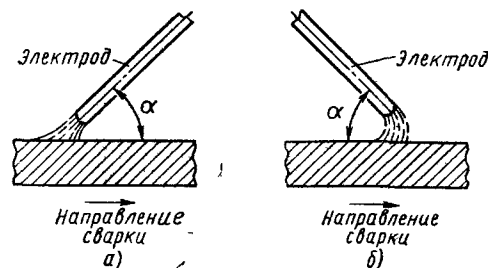
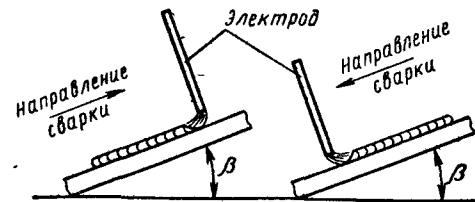


Рис. 78. Наклон электрода вдоль шва: а — углом назад, б — углом вперед

на рис. 80, тип шва и соединения и параметры разделки кромок определяют прежде всего форму усиления шва и долю участия основного металла в сварном шве, а также в некоторой мере создают пределы для

Рис. 79. Сварка с наклоном изделия: а — на подъем; б — на спуск



формы проплавления. При угле между свариваемыми кромками 90° , при условии получения полного проплавления вершины угла, $\psi_{пр}$ не должен быть больше 2. При $\alpha = 60^\circ$ будет $\psi_{пр} = 1,73$ и т. д.

Верхний предел $\psi_{пр}$ при подобных сварных швах ограничивается необходимостью получения полного проплавления вершины угла. Уве-

личивать ширину шва в этом случае не рекомендуется, так как имеется опасность подрезов на кромках. Поэтому при малых углах скоса кромок для получения полного проплавления вершины угла устанавливают зазор между свариваемыми листами или применяют специальный тип

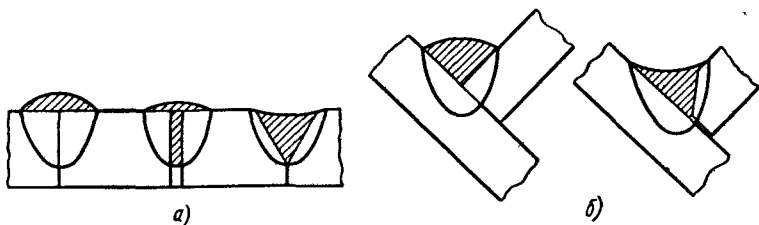


Рис. 80. Влияние подготовки кромок на форму шва: а — стыковое соединение; б — угловое соединение

разделки кромок (например, U-образную разделку) или специальные технологические приемы (например, первый слой выполняют электродом малого диаметра).

Величина зазора, угол скоса кромок и глубина разделки определяют в основном, при данном режиме сварки, форму усиления и долю участия основного металла в сварном шве. Чем больше зазор, угол скоса кромок и глубина разделки, тем меньше усиление шва и доля участия основного металла в шве.

Приближенный расчет режимов автоматической сварки под флюсом

Данные, приводимые ниже, относятся к автоматической сварке низкоуглеродистой стали проволокой марки Св-08 и Св-08А. В этой методике расчета не учитывается влияние химического состава основного и наплавленного металла на свойства и сопротивляемость образованию трещин.

Влияние химического состава основного металла из углеродистых и низколегированных сталей на сопротивляемость образованию трещин выражается эквивалентом углерода C_3 . СЭвом рекомендована эмпирическая формула для приближенной оценки свариваемости стали:

$$C_3 = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{15} + \frac{Mo}{4} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} + 0,0024\delta,$$

где символ каждого элемента означает его максимальное содержание в процентах для данной марки стали; δ — толщина свариваемых в стык деталей, мм.

При содержании в стали углерода $\geq 0,22\%$ и эквиваленте углерода $\geq 0,50\%$ для предотвращения трещин и получения благоприятных свойств в зоне термического влияния необходим предварительный подогрев основного металла. При выборе режимов сварки таких сталей необходимо рассчитать или проверять скорость охлаждения околшовной зоны по методике, разработанной Н. Н. Рыкалиным [3].

Расчет режима рекомендуется проводить в следующей последовательности:

1. При данной толщине свариваемых листов задаемся подготовкой кромок под сварку. При этом учитывают толщину свариваемых листов, тип сварного соединения, наличие сварочного оборудования, его мощность и показатели производительности. Выбор подготовки кромок и типа сварных швов ведут в соответствии с ГОСТ 8713—70, действующими заводскими нормами или техническими условиями. Выбранный тип соединения, тип сварного шва и подготовку кромок вычерчивают на миллиметровой бумаге в натуральную величину или в определенном масштабе.

2. На выполненном чертеже наносят контуры сечения сварного шва (рис. 81). При этом должны быть учтены следующие соображения:

автоматическая сварка под флюсом рекомендуется при толщине свариваемых листов 5—50 мм;

максимальное сечение однопроходного автоматного шва обычно не превышает 100 мм²;

максимальная толщина металла, свариваемого в один слой, должна соответствовать табл. 67;

67. Максимальная толщина металла (мм), свариваемого в один слой

Тип шва	Характер подготовки кромок (зазоры в мм)	Способы сварки				
		Вручную покрытыми электродами		В защитных газах	Под флюсом	
		Обычная технология	С глубоким провалом		Полуавтоматом	Автоматом
Односторонний	С зазором (0—3)	4	7	6	8	14
	С разделкой кромок	8	11	9	12	28
	С обязательным зазором (4—12)	—	—	—	—	28
Двусторонний	С зазором (0—3)	7	10	9	12	20
	С разделкой кромок	13	18	16	20	50
	С обязательным зазором (4—12)	—	—	—	—	50

глубину проплавления при односторонней сварке принимают 0,7—0,8 толщины свариваемых листов; при двусторонней сварке одинаковыми швами глубину проплавления принимают 0,6 δ ; коэффициент формы провара при автоматической сварке под флюсом лежит в пределах 1,0—3,0. При вычерчивании контуров сечения шва необходимо помнить, что коэффициент формы провара оказывает большое влияние на образование трещин в сварных швах (рис. 82);

для стыковых автоматных швов оптимальный коэффициент формы усиления принимают равным 0,3.

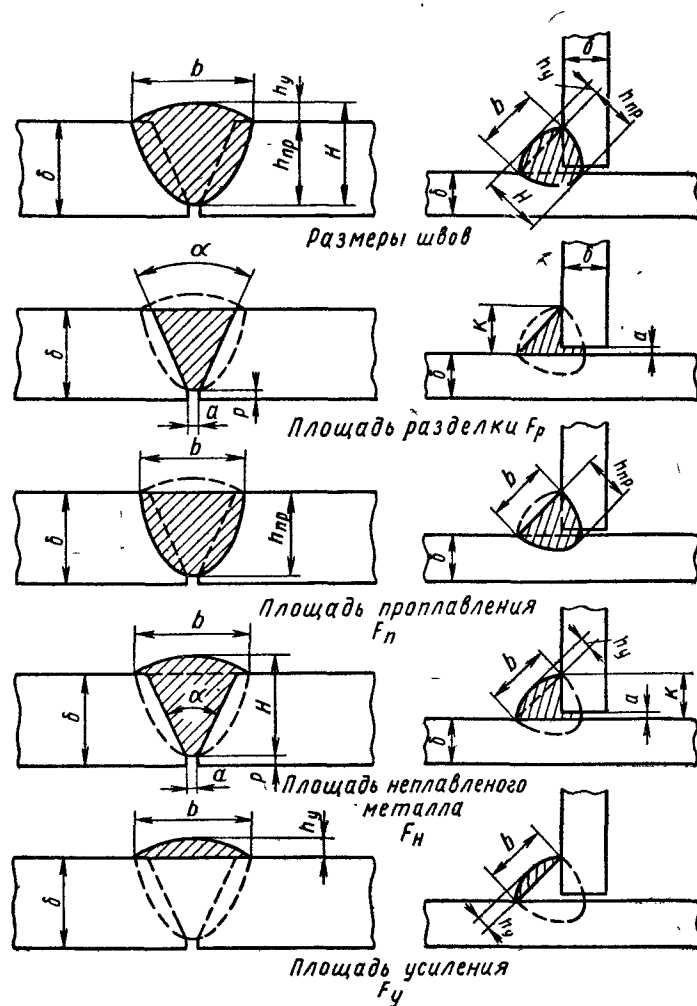


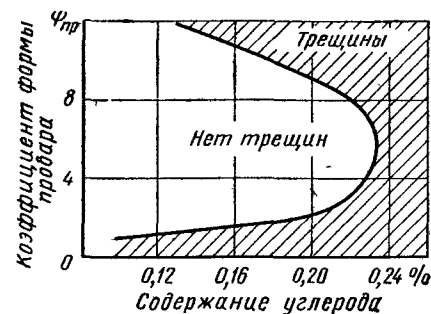
Рис. 81. Размеры и площади сечения сварных швов

По чертежу определяют основные параметры шва: $h_{пр}$; b ; h_{yc} ; F_H и $F_{пр}$.

3. Определяют величину силы сварочного тока, необходимого для получения заданной глубины проплавления основного металла, $I_{св} = K I_{св}$, где $h_{пр}$ — полученная из чертежа глубина проплавления, мм; K выбирают по табл. 61.

4. Задаются диаметром электродной проволоки. Для автоматической сварки обычно применяют электродную проволоку диаметром 2; 3; 4; 5; 6 мм. При этом учитывают толщину свариваемых элементов, форму разделки, наличие соответствующих автоматов, флюсов и другие сооб-

Рис. 82. Влияние коэффициента формы провара на критическое содержание углерода в металле шва при сварке углеродистых сталей. Содержание Si до 0,4%, S до 0,04%



ражения, изложенные ранее. Выбранный диаметр можно проверить по допустимой плотности тока для данного размера (табл. 68).

Диаметр электродной проволоки также можно приблизительно определить по формуле

$$I_{св} = 110d_э + 10d_э^2,$$

где $d_э$ — диаметр электродной проволоки, мм.

5. В зависимости от силы сварочного тока и диаметра электродной проволоки определяют ее скорость подачи по графику, приведенному на рис. 83. Скорость подачи электродной проволоки можно определить или проверить по уравнению

$$V_{под} = \frac{K_p I_{св} (1 - \varphi)}{\gamma F_э},$$

так как

$$F_H = \frac{K_p I_{св} (1 - \varphi)}{\gamma v_{св}} \text{ и } F_H v_{св} \approx F_э v_{под}.$$

Для приближенных расчетов коэффициент потерь электродного металла на угар и разрабатывание φ можно принять равным нулю.

Тогда

$$v_{под} = \frac{K_p I_{св}}{\gamma F_э}.$$

Коэффициент K_p можно определить по графику, показанному на рис 84.

6. По скорости подачи электродной проволоки и сечению наплавленного металла и электродной проволоки определяют скорость сварки:

$$v_{св} = \frac{F_{э} v_{под}}{F_H}$$

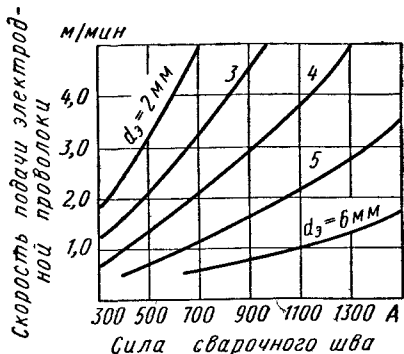


Рис. 83. Зависимость сварочного тока от диаметра и скорости подачи электродной проволоки

68. Допустимые плотности тока, А/мм²

Диаметр электрода, мм	Стыковые швы	Угловые швы (в лодочку)
2	65—200	60—150
3	49—90	50—85
4	35—60	40—60
5	30—50	30—40
6	25—45	—

Скорость сварки в нормальных условиях обычно лежит в пределах 20—60 м/ч. Скорость сварки оказывает существенное влияние на образование так называемой зоны несплавления. В связи с этим желательнее проверить ее значение по величине коэффициента формы провара (рис. 85).

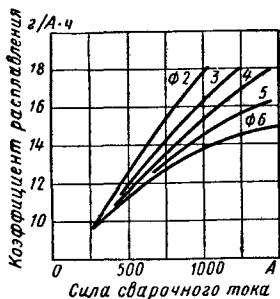


Рис. 84. Зависимость коэффициента расплавления от силы сварочного тока при разных диаметрах электродной проволоки

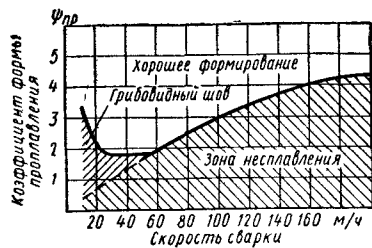


Рис. 85. Влияние скорости сварки на критическое значение формы провара

7. Напряжение на дуге зависит от силы сварочного тока, диаметра электродной проволоки, марки флюса и других параметров и может быть выбрано по табл. 65 и 66.

8. По выбранным параметрам режима определяют действительную площадь провара:

$$F'_{пр} = \eta_{пр} \frac{0,24 I_{св} U_{д}}{\gamma_{св} \cdot 500}$$

где $\eta_{пр}$ — коэффициент проплавления; $\eta_{пр} = 0,1 \div 0,3$, его можно определить по графикам, показанным на рис. 86.

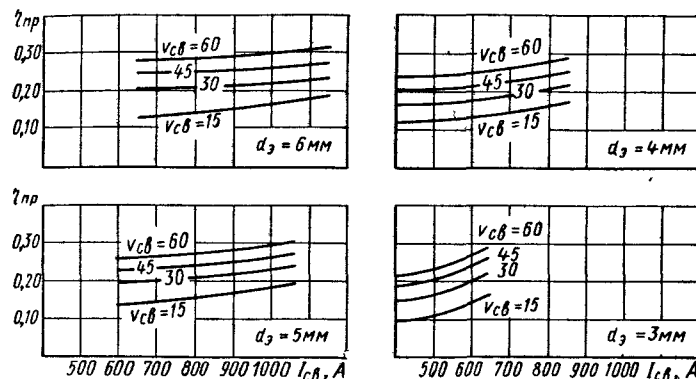


Рис. 86. Зависимость полного теплового коэффициента проплавления от параметра режима сварки

9. Полученное значение площади провара сравниваем с площадью провара на чертеже (см. рис. 81). Ошибка не должна превышать $\pm 10\%$. Если $F_{пр}$ более значительно отличается от $F'_{пр}$, то необходимо прокорректировать выбранные значения напряжения дуги и скорости сварки.

Подготовка и сборка под сварку

Подготовку деталей и сборку конструкций под автоматическую сварку производят более тщательно, чем под ручную. Глубокий провар и жидкотекучесть расплавленного металла при автоматической сварке требуют выдерживать при сборке одинаковые размеры зазоров и разделок фасок, что обеспечивает получение высокого качества сварных швов и высокую производительность процесса. Резку и скос кромок листов под автоматическую сварку производят механическим способом или механизированной кислородной резкой. Перед сборкой конструкций места наложения швов шириной 25—30 мм по всей их длине должны быть очищены от ржавчины, масла и других загрязнений.

Сборка элементов со стыковыми швами. Во время сборки изделий стыковые соединения закрепляют струбцинами, скобами или другим способом. Сборочные прихватки длиной 50—80 мм выполняют электродами с качественным покрытием. Расстояние между прихватками не должно быть более 500 мм. Крайние прихватки располагают на расстоянии не

менее 200 мм от края листов. Все прихватки перед сваркой тщательно зачищают от шлака, брызг, и продувают стык по всей длине сжатым воздухом. К концу стыка приваривают начальные и выводные технологические планки длиной 100—120 мм и шириной 60—120 мм. Форма разделки кромок выводных планок должна строго соответствовать форме разделки основного стыка. При сборке конструкций следует стремиться к тому, чтобы превышение кромок стыкуемых элементов было минимальным (табл. 69).

69. Допустимые колебания зазора и превышение кромок при сварке стыковых швов под флюсом

Размеры в мм

Толщина свариваемых листов	Швы, свариваемые без разделки кромок		Швы, свариваемые с разделкой кромок	
	Колебание зазора	Превышение кромок	Колебание зазора	Превышение кромок
10—15	1—3	2,0	—	—
16—20	2—4	2,5	—	—
21—30	3—6	3,0	2,0—4,0	3,0

Сборка элементов с угловыми швами. Перед сборкой места наложения швов должны быть зачищены. Зазор между свариваемыми элементами должен быть не более 1 мм. Сварку тавровых соединений наклонным электродом (не в лодочку) можно производить при зазорах до 2 мм. Сборочные прихватки выполняют качественными электродами. Сварку угловых швов начинают и заканчивают на выводных технологических планках.

Технологические способы выполнения сварных соединений

Стыковые соединения выполняют несколькими методами. Сварку односторонних стыковых швов можно производить как без разделки, так и с разделкой кромок. Для получения полного провара и предотвращения от протекания жидкого металла через разделку одностороннюю сварку стыковых швов выполняют на флюсовой подушке, медной и флюсо-медной подкладке, на остающейся стальной подкладке или с ручной подваркой корня шва, а также на вису.

Сварку на флюсовой подушке применяют довольно часто. Флюсовую подушку используют для поджатия флюса с нижней стороны свариваемых листов и удержания сварочной ванны. Флюс к изделию поджимают гибким шлангом, соединенным с магистралью сжатого воздуха, винтовыми, рычажными, эксцентриковыми и иными прижимами. Широко применяют магнитные стелды с флюсовой постелью, флюс поджимается магнитами.

При сварке кольцевых швов внутри сосудов флюс снаружи поджимают флюсоремненной подушкой. Движение бесконечного ремня происходит вследствие трения, возникающего при вращении сосуда.

На флюсовой подушке сваривают стыковые швы без разделки и с разделкой кромок. Разделка может быть односторонняя V-образная, двусторонняя X-образная и др. Режимы односторонней сварки стыковых швов с обязательным зазором на флюсовой подушке приведены в табл. 70.

70. Режимы односторонней сварки стыковых швов с обязательным зазором на флюсовой подушке

Толщина листов, мм	Ширина зазора в стыке, мм	Сила сварочного тока, А	Скорость подачи электрода, м/ч	Напряжение дуги, В		Скорость сварки, м/ч
				Переменный ток	Постоянный ток обратной полярности	
10	3—4	700—750	62	34—36	32—34	30
12	4—4	750—800	67	36—40	34—36	27
14	4—4	850—900	78	36—40	34—36	25
16	5—6	900—950	84	38—42	36—38	20
18	5—6	950—1000	92	40—44	36—40	17
20	5—6	950—1000	92	40—44	36—40	15

Сварка на медной и флюсо-медной подкладке является также весьма распространенным способом сварки. Гладкая медная подкладка позволяет производить одностороннюю сварку только при условии плотного поджатия и полного отсутствия зазора. Этот недостаток устраняют применением флюсо-медных подкладок, имеющих канавки треугольной формы для флюса.

При сварке цилиндрических изделий подкладки бывают двух типов: неподвижные разжимные и перекачиваемые. Перекачиваемые подкладки не имеют специального привода, так же как и флюсоремненные подушки.

При сварке тонких листов (2—8 мм) поджатие флюса создают искусственными средствами: эластичными шлангами, внутри которых подают сжатый воздух, или механическими прижимами. Широкое применение (особенно в судостроении) для односторонней сварки тонких листов на флюсовой подушке получили электромагнитные стелды. Режимы односторонней сварки стыковых швов на флюсовой подушке листов толщиной 2—8 мм приведены в табл. 71.

Сварку в замок применяют при изготовлении толстостенных изделий. Соединение в замок требует точной подготовки стыкуемых кромок.

Сварку на остающейся подкладке (рис. 87, а) применяют в тех случаях, когда невозможно осуществить ручную подварку, сварку на флюсовой или флюсо-медной подушке. Основное условие получения качественного сварного соединения — точная подгонка подкладки. Зазор между подкладкой и кромками не должен превышать 0,5—1,0 мм. Ширину стальной подкладки принимают (4÷5) δ, а толщину 0,5δ при толщине листов 2—6 мм и (0,3÷0,4) δ при толщине листов 6—10 мм

Сварку с предварительной ручной подваркой корня шва (рис. 87, б) применяют в ограниченных случаях. Ручной шов необходимо проварить на глубину $1/3$ толщины стыкуемых кромок. Его выполняют качественными электродами во избежание пор в автоматных



Рис. 87. Сварка на остающейся подкладке (а) и с предварительной ручной подваркой корня шва (б)

швах. Режимы сварки стыковых швов без разделки кромок по ручной подварке приведены в табл. 72.

Двусторонняя автоматическая сварка (сварка по автоматической подварке) является основной при выполнении высококачественных швов. Режимы сварки приведены в табл. 73—74.

71. Режимы односторонней сварки стыковых швов металла толщиной 2—8 мм на магнитных стендах с флюсовой подушкой

Толщина листов, мм	Ширина зазора, мм	Диаметр электрода, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Грануляция флюса в подушке	Давление воздуха в шланге, кгс/см ²
2	0—1,0	1,6	120	24—28	43,5	Мелкий	0,8
3	0—1,5	1,6	275—300	28—30	34		
		2	275—300	28—30	44		
4	0—1,5	3	400—425	25—28	70		
		4	375—400	28—30	40		
5	0—2,5	4	525—550	28—30	50		
		4	425—450	32—34	35		
6	0—3,0	2	575—625	28—30	46	Нормальный	1,0—1,5
		4	475	32—34	30		
7	0—3,0	4	600—650	28—32	40,5	Нормальный	1,0—1,5
				30—34	37		
8	0—3,5	4	650—700	30—36	34	Нормальный	1,0—1,5

72. Режим сварки стыковых швов без разделки кромок по ручной подварке

Толщина металла, мм	Зазор, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Сила тока, А	Напряжение на дуге, В	Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи электродной проволоки, м/ч
6	0—1,5	5	600	34—36	54,0	54,6
8	0—2,0		650		46,0	60,7
10			750	35—38	40,0	75,5
12	0—2,5		800		36—38	34,0
14			900	36—40	28,0	95,2
16	0—3,0		950	38—40	26,0	103,0

73. Режимы двусторонней сварки стыкового шва без разделки кромок на флюсовой подушке

Толщина металла, мм	Шов	Зазор, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Сила тока, А	Напряжение на дуге, В	Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи электродной проволоки, м/ч
6	Основной Подварочный	0—1,5	5	600	34—36	47,0	55,0
				500		50,0	43,5
8	Основной Подварочный	0—1,5	5	650	34—36	46,0	61,2
				550		50,0	49,3
10	Основной Подварочный	0—2	5	720	36—38	43,0	69,7
				650		60,8	
14	Основной Подварочный	0—2,5	5	850	38—40	34,0	87,7
				750		73,5	
20	Основной Подварочный	3	5	950	38—40	24,0	111,0
				900		102,5	
24	Основной Подварочный	4,0	6	1050	40—42	18,0	72,8
				1150		19,0	72,9
30	Основной Подварочный	4,5	6	1150	40—42	15,0	82,4
				1200		16,0	82,4
40	Основной Подварочный	6,5	6	1200	42—44	8,5	87,0
				1300		9,5	87,0
50	Основной Подварочный	9,0	6	1300	42—44	6,0	98,8
						7,0	98,8

74. Режим двусторонней сварки стыкового шва с V-образной разделкой кромок на флюсовой подушке

Толщина металла, мм	Шов	№ слоя шва	Диаметр электродной проволоки, мм	Сила тока, А	Напряжение на дуге, В	Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи электродной проволоки, м/ч
14	Основной	1	5	850	36—38	36,5	87,7
	Подварочный			750		53,5	73,5
16	Основной			900	38—40	32,0	95,2
	Подварочный			750		48,0	73,5
20	Основной			1000	36—38	27,0	111,1
	Подварочный			850		39,0	87,7
24	Основной			1000	38—40	19,5	78,0
	Подварочный					33,0	70,0
30	Основной			1250	40—44	14,5	92,4
	Подварочный					1050	27,0
34	Основной	2	6	1050	38—40	24,0	73,0
	Подварочный			1000		21,0	70,0
	Основной	1	1050	25,0	73,3		
			1100	18,0	78,0		
			1050	15,0	73,3		
Подварочный	1	1050	23,0	73,3			

Сварку металла толщиной более 50 мм производят в исключительных случаях. Как правило, такие швы выполняют электрошлаковым способом. Для уменьшения объема наплавленного металла применяют узкую рюмкообразную разделку. Корень шва подваривают вручную.

Сварку металла толщиной 1—3 мм выполняют электродной проволокой диаметром 1—3 мм. Режимы сварки тонколистового металла высты даны в табл. 75.

Угловые соединения. Глубокий провар, присущий сварке под флюсом, позволяет в 1,5 раза уменьшить катеты углового шва без ущерба для его прочности. Для снижения вероятности образования подрезов, наплывов и непроваров коэффициент формы провара должен быть $\phi_{пр} \leq 2$. Сварку угловых швов выполняют вертикальным или наклонным электродом.

Сварку в лодочку можно выполнять при симметричном или несимметричном расположении свариваемых листов. При сварке в лодочку, как и при сварке стыковых швов, применяют специальные приемы. Режимы сварки угловых швов в лодочку приведены в табл. 76, угловых швов не в лодочку — в табл. 77.

Сварку наклонным электродом применяют тогда, когда изделие невозможно установить в положение лодочки. Максимальное сечение однопроходного углового шва при сварке не в лодочку должно быть не более 40—50 мм². Формирование шва в большой степени зависит от точности ведения электрода вдоль плоскости сварки. Небольшое смещение электрода вызывает подрезы или наплывы.

При сварке нахлесточных соединений вертикальным электродом необходимо последний вести точно вдоль кромки. Смещение электрода

75. Режимы сварки стыковых швов тонколистовой стали

Толщина листа, мм	Шов	Сварка производится	Диаметр электрода, мм	Допустимый зазор в стыке, мм	Сила тока, А	Напряжение на дуге, В	Скорость сварки, м/ч
1,0	Одно- сторонний	На медной подкладке На весу	1,0	0—0,2	85—90	26	50
1,5			1,2 1,6	0—0,2 0—0,3			
2	Одно- сторонний	На весу На флюсовой подушке на магнитном стенде На флюсо-медной подкладке	1,6	0,2—0,3 0—1,0	130 120	28 24—28	50 43,5
				0,5—0,6	130	28	50
	Дву- сторонний, основной подварочный	На весу	1,6	0,2—0,3	120	28	60 50
3	Одно- сторонний	На флюсовой подушке На магнитном стенде На флюсо-медной подкладке	1,6	0—1,5	275—300	28—30	34
			2,0	0—1,2	190	30	60
			3	0—1,5	400—425	25—28	70
	Дву- сторонний основной подварочный	На весу	2,0	0—0,8	160	30	78

на верхнюю кромку может привести к непроварам. Смещение в противоположную сторону приводит к прожогам.

Сварка под флюсом средне- и высокоуглеродистых сталей. В зависимости от содержания углерода углеродистые стали делят условно на три группы: первая — низкоуглеродистые, содержащие до 0,22% углерода; вторая — среднеуглеродистые — до 0,45% углерода и третья — высокоуглеродистые — более 0,45% углерода. Средне- и высокоуглеродистые стали обладают повышенной прочностью, твердостью и износостойкостью. Сварку производят под флюсом АН-348А и ОСЦ-45 в сочетании с проволоками Св-08 и Св-08А диаметром 2—3 мм на минимальной силе тока с применением постоянного тока обратной полярности. Для уменьшения вероятности получения горячих трещин применяют облицовку кромок. Для этого вначале каждую кромку наплавливают низко-

76. Режимы сварки в лодочку угловых швов тавровых и нахлесточных соединений

Катет шва, мм	Диаметр электрода, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение на дуге, В	Скорость сварки, м/ч
6	2	450—475	34—36	40
	2	475—525		28
8	3	550—600	34—36	30
	4	575—625	33—35	30
	5	675—725	32—34	32
10	2	475—525	34—36	20
	3	600—650	33—35	23
	4	650—700	32—33	23
	5	725—775		25
12	2	475—525	34—36	14
	3	600—650	35—37	15
	4	725—775	36—38	20
	5	775—825		18

Примечание Проволокой диаметром 2 мм сваривают под мелким флюсом

77. Режимы сварки не в лодочку угловых швов тавровых и нахлесточных соединений

Катет шва, мм	Диаметр электрода, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение на дуге, В	Скорость сварки, м/ч	Род тока
3	2	200—220	25—28	60	Постоянный
4	2 3	280—300 350	28—30	55	
5	2	375—400	28—30	55	Переменный
	3	450	28—32	55	
	4	450	30—32	60	
7	2	375—400	30—32	28	
	3	500	30—35	48	
	4	675	32—35	50	

Примечание Наклон электрода 30° к вертикали, электрод смещается на 1—2 мм по горизонтальному листу

углеродистой проволокой после чего производят сборку и окончательную сварку. Углеродистые стали склонны к закалке на воздухе. Чтобы избежать закалки, следует подогревать изделие перед сваркой, уменьшать скорость сварки, замедлять остывание свариваемого металла. Чем больше углерода в стали, тем выше должна быть температура подогрева, тем медленнее должно быть остывание изделия после сварки. При сварке средне- и высокоуглеродистых сталей с целью снижения склонности сварных швов к образованию кристаллизационных трещин рекомендуется применять двухдуговую сварку раздвинутыми дугами и сварку с поперечными колебаниями электрода. Во всех случаях сварку проводят с минимальным проплавлением основного металла.

Сварка под флюсом легированных конструкционных сталей. Автоматическая сварка под флюсом конструкционных легированных сталей принципиально осуществляется при следующих условиях: дополнительное легирование металла шва элементами, сообщаящими ему требуемые свойства; обязательное применение низкоуглеродистой электродной проволоки; ограничение глубины проплавления основного металла; предварительный и сопутствующий подогрев; применение основных флюсов; последующая термообработка. При сварке низколегированных конструкционных сталей в большинстве случаев применяют флюсы АН-348А, ОСЦ-45 и АН-60 и сварочные проволоки Св-08ГА, Св-10Г2. Если стали имеют повышенное содержание кремния, то применяют флюс АН-10 в сочетании с высокомарганцевистой проволокой.

При сварке низколегированных сталей повышенной прочности типа 30ХГСА, применяемых обычно после соответствующей термической обработки, используют флюс АН-1 или АН-10 в сочетании с проволокой Св-18ХМА и Св-20ХМА. Для сварки этих сталей хорошие результаты дают специальные керамические флюсы (например, КС-30ХГСА для стали 30ХГСА) в сочетании с низкоуглеродистыми сварочными проволоками.

Сварка под флюсом высоколегированных сталей. Для изделий, выполняемых сваркой под флюсом, чаще применяют кислотостойкие аустенитные хромоникелевые стали типа Х18Н9Т. Рекомендуемые режимы сварки высоколегированных сталей приведены в табл. 78. При одной и той же силе тока глубина проплавления у высоколегированных сталей

78. Режимы сварки под флюсом аустенитной стали Х18Н9Т толщиной 8—20 мм без разделки кромок (диаметр электрода 5 мм, флюс АН-26 проволока Св-06Х19Н19Т)

Толщина металла, мм	Максимальный зазор между кромками, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение на дуге, В	Скорость сварки, м/ч
8	1,5	500—600	32—34	46
10		600—650	34—36	42
12		650—700	36—38	36
16	2,0	750—800	38—40	31
20	3,0	850—900	40—42	25

получается большей, чем на низкоуглеродистой стали. Поэтому для получения заданной глубины провара необходимо снижать силу сварочного тока на 10—15%. Кроме того, аустенитные стали рекомендуются сваривать при малом напряжении на дуге.

Для повышения коррозионной стойкости рекомендуется обеспечивать ускоренное их охлаждение. Поэтому сварку нержавеющей сталей производят на медных, охлаждаемых водой подкладках. При многослойной сварке предусматривают промежуточное охлаждение свариваемых листов. Иногда даже прибегают к охлаждению сварных швов водой, подаваемой вслед за сварочной дугой или на корень шва.

Для сварки аустенитных сталей применяют низкокремнистые плавные флюсы марок АН-26, АНФ-5, 48-ОФ-6 и др.

Аустенитные стали под флюсом обычно сваривают на постоянном токе обратной полярности. В качестве электродной проволоки при сварке сталей типа X18H9T применяют различные проволоки. Выбор марки проволоки зависит от условий работы сварного соединения. Для сварки наиболее распространенной стали этого класса X18H9T применяют сварочные проволоки Св-04X19H9, Св-04X19H9С2, Св-06X19H9Т, Св-05X19H9Ф3С2 и др. Рекомендуемые марки проволоки и флюсов для автоматической сварки стали X18H9T приведены в табл. 79. При сварке аустенитных сталей для предотвращения кристаллизационных трещин нашел широкое применение способ, связанный с получением двухфазной структуры металла шва. Наличие 3—5% первичного δ-феррита обеспечивает удовлетворительную стойкость металла шва против образования кристаллизационных трещин.

Если по каким-либо условиям в наплавленном металле не допустимо содержание первичного феррита, то прибегают к целому ряду других средств: снижают в металле шва содержание фосфора, кремния и серы, повышают содержание углерода, титана и ниобия; применяют различные технологические меры, обеспечивающие уменьшение доли участия основного металла в шве и уменьшение коэффициента формы проплавления; применяют фторидные флюсы и др. Основной особенностью требований, предъявляемых к сварным соединениям из стали X18H9T, является высокая стойкость против межкристаллитной коррозии. При воздействии на сталь критических температур (650—850° С) на границах зерен выпадают комплексные карбиды хрома и железа. Вследствие этого пограничные слои зерен обедняются хромом (ниже 10—12%), что приводит к снижению коррозионной стойкости металла. Такое явление наблюдается в зоне термического влияния сварного соединения. Для борьбы с межкристаллитной коррозией в околошовной зоне применяют: снижение содержания углерода в основном металле до 0,02—0,03%; легирование стали титаном или ниобием, которые имеют большее сродство к углероду, чем хром; некоторые виды термообработки (закалка, стабилизирующий отжиг) и др.

Сварка двухслойных сталей. Двухслойные стали сваривают с раскрытием кромок. В первую очередь со стороны низкоуглеродистой стали заваривают в один слой корень шва вручную электродами Э42А. Затем заваривают всю разделку шва автоматом. При суммарной толщине листа 14 мм накладывают один слой, при толщине 22 мм — четыре слоя. Сварку со стороны облицовки выполняют в последнюю очередь, чтобы обеспечить наиболее высокую коррозионную стойкость сварного шва.

79. Рекомендуемые сварочные материалы для автоматической сварки стали X18H9T под флюсом

Условия сварочного соединения	Рекомендуемая проволока	Рекомендуемый флюс
Жидкая среда отсутствует либо носит слабоагрессивный характер, не способствующий возникновению и развитию межкристаллитной коррозии; температура до 350° С	Св-04X19H9	АН-26
Неагрессивная среда, глубокий холод	Св-0X18H9, X20H15, X20H14Г6, ЭИ395	АН-26, АН-14, АНФ-5
Жидкая агрессивная среда, способная вызвать межкристаллитную коррозию; температура до 350° С	Св-05X19H9Ф3С2, Св-0X18H9ФБС, Св-06X19H9Т с содержанием 0,7% ≤ Ti, 0,4% ≥ С	АН-26, АНФ-5, АНФ-5
Газовая среда, температура в пределах 350—875° С; шов не нагружен	Св-04X19H9С2	АН-26
Газовая среда; температура в пределах 350—375° С; шов нагружен	Св-04X19H11М3, Св-06X19H9Т с содержанием 0,7% ≤ Ti, 0,07 ≥ С	АН-26, АНФ-5
Газовая среда, температура в пределах 350—875° С; шов нагружен, возможно образование конденсатора и появление коррозии	Св-06X19H9Т с содержанием 0,7% ≥ Ti, 0,06% ≥ С	АНФ-5

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматическая электродуговая сварка под флюсом. Под ред. акад. Е. О. Патона. М., Машгиз, 1953, 396 с.
2. Вейнбойм Д. И. Дуговые сварочные автоматы. Л., Судпромгиз, 1956, 286 с.
3. Рыкалин Н. Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. М., Машгиз, 1951, с. 52—112, 179—291.
4. Севбо П. И. Оборудование для сварки под флюсом. М., Машгиз, 1958, 70 с.
5. Справочник по сварке. В 3-х т. Под ред. Е. В. Соколова. М., Машгиз, 1961—1962, т. 1, с. 214—287; т. 2, с. 125—140, 192—253.
6. Технология электрической сварки плавлением. Под ред. акад. Б. Е. Патона, М., Машгиз, 1962, с. 15—17, 56—158, 176—543.

ГЛАВА 7

ЭЛЕКТРОШЛАКОВАЯ СВАРКА

СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА И РАЗНОВИДНОСТИ
ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКИ (ЭШС)

Сущность процесса. Схема электрошлакового процесса показана на рис. 88. При сварке изделий электршлаковым способом оплавление основного 1 и расплавление электродного 2 металлов осуществляется за счет выделения тепла при прохождении электрического тока через расплавленный, обладающий электрической проводимостью флюс, который удерживается в колодце, образованном кромками свариваемых деталей 1 и специальными формирующими водоохлаждаемыми устройствами 3 типа ползунов или пластин.

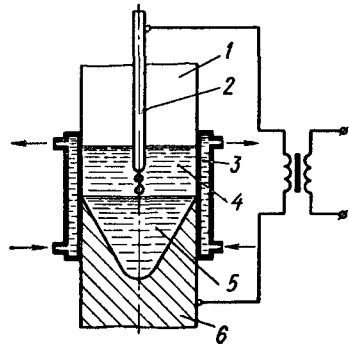


Рис. 88. Схема электрошлакового процесса:

1 — свариваемые детали; 2 — электрод; 3 — водоохлаждаемые формирующие ползуны; 4 — шлаковая ванна; 5 — металлическая ванна; 6 — сварной шов

За счет разницы в плотности электродный металл (плотность металла значительно больше плотности любого входящего в состав флюса компонента) опускается на дно расплава, образуя металлическую ванну 5, а расплавленный флюс находится в верхней части расплава, образуя шлаковую ванну 4. Электродный металл каплями, проходящими через слой шлака, опускается в металлическую ванну. Капли электродного металла, проходя через жидкий шлак, взаимодействуют с ним, улучшая при этом свой химический состав. Шлаковая ванна, постоянно находясь в верхней части расплава, исключает воздействие окружающего воздуха на жидкий металл.

Для получения гарантированного сплавления температура шлаковой ванны должна превышать температуру плавления основного и электродного металлов.

Вертикальное положение шва и постоянное наличие в верхней его части жидкой металлической ванны при ЭШС значительно облегчает удаление газов и неметаллических включений из металла шва. Именно эти особенности электрошлакового процесса послужили основой для разработки прогрессивного способа получения особо чистых металлов и сплавов — электрошлакового переплава.

Минимальная толщина деталей, которые можно сваривать встык этим способом без технологических затруднений, находится в пределах 30—40 мм.

Наиболее экономически целесообразно применение электрошлаковой сварки при изготовлении толстостенных конструкций.

Благодаря возможности сварки швов сложной конфигурации электрошлаковая сварка получила также широкое распространение и в ремонтном производстве.

К преимуществам электрошлаковой сварки относят:

- возможность получения за один проход сварных соединений практически любой толщины;
- отсутствие необходимости специальной подготовки кромок свариваемых деталей;
- получение неразъемных соединений за один проход, что не требует зачистки шлака после наложения каждого слоя, как это производится при электродуговой сварке;
- расход флюса в десятки раз меньший, чем при обычной электродуговой сварке под слоем флюса;
- возможность применения электродов самой различной формы;
- малую вероятность возникновения трещин и пор;
- незначительное содержание газов в шве;
- отсутствие подрезов;

малую зависимость зазора между соединяемыми деталями от толщины свариваемого металла, поэтому при увеличении толщины соединяемых элементов этот способ по сравнению с другими дает значительную экономию электродных материалов;

- позволяет устранить шлаковые включения;
- сокращение расхода электроэнергии.

К недостаткам электрошлаковой сварки можно отнести:

- возможность производства сварки только в вертикальном или почти вертикальном положении свариваемых плоскостей;
- высокую степень перемешивания основного и электродного металлов, а также большой процент перехода загрязнений из основного металла в металл шва;
- наличие крупнозернистой структуры в металле шва и переходной зоне;

необходимость изготовления и установки перед сваркой технологических деталей (планки, «стартовые карманы», формирующие устройства и др.).

Разновидности ЭШС. ЭШС применяют при изготовлении конструкций из малоуглеродистых, среднеуглеродистых, низколегированных, среднелегированных и высоколегированных сталей, чугуна и цветных металлов, а также для наплавки различных сплавов на малоуглеродистые и низколегированные стали.

Электрошлаковая сварка может быть осуществлена различными способами и приемами (рис. 89).

Сварка проволочными электродами (ШЭ, рис. 90) может осуществляться: одной, двумя, тремя и более проволоками с неподвижной осью и с постоянной скоростью подачи к шлаковой ванне; наряду с подачей к шлаковой ванне проволоки совершают в зазоре возвратно-поступательное движение в направлении толщины свариваемых листов.

Сварка пластинчатыми электродами (ШП) характеризуется тем, что вместо проволоки электродами являются пластины, непрерывно подаваемые к месту сварки.

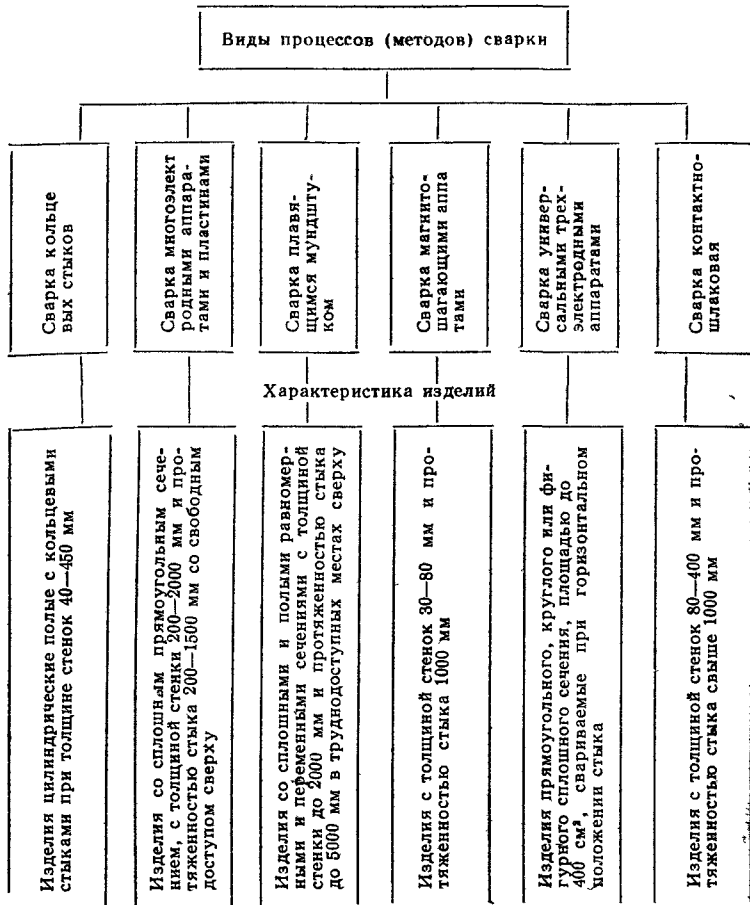


Рис. 89. Схема рационального применения ЭШС при изготовлении изделий с применением стыковых, угловых и тавровых соединений

Сварка плавящимся мундштуком (ШМ, рис. 91) заключается в том, что мундштук плавится вместе с электродной проволокой. В данном случае мундштук делается примерно из того же материала, что и заготовки, или другого, обеспечивающего требуемые прочностные показатели сварного соединения.

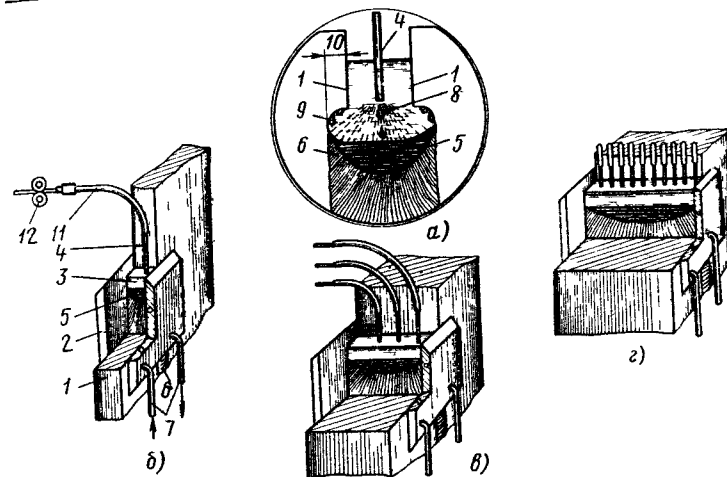


Рис. 90. Схема процесса электрошлаковой сварки

а — принципиальная схема, б — сварка одним электродом с неподвижной осью в — сварка тремя электродными, имеющими возвратно поступательное движение, г — многоэлектродная сварка, 1 — свариваемый металл, 2 — медные ползуны, охлаждаемые водой, 3 — шлаковая ванна, 4 — электродная проволока, 5 — металлическая ванна, 6 — сварной шов, 7 — трубки для подвода и отвода воды, 8 — капли плавящегося электрода, 9 — капли оплавленного металла, 10 — величина проплавления кромок металла 11 — токоподводящий мундштук, 12 — ролики, подающие проволоку в шлаковую ванну

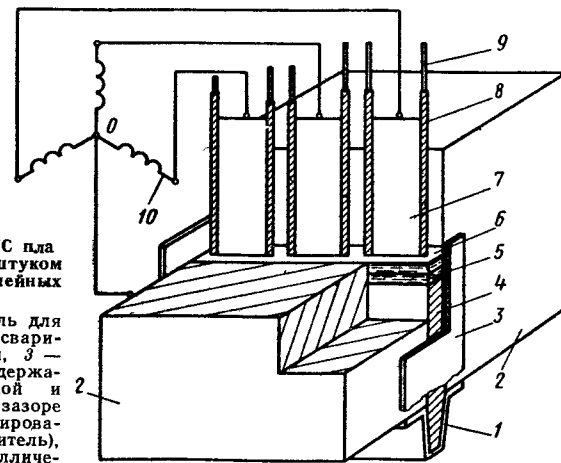


Рис. 91. Схема ЭШС плавящимся мундштуком (ШМ) для прямолинейных стыков.

1 — медный кокиль для начала сварки, 2 — свариваемые заготовки, 3 — устройство для удержания металлической и шлаковой ванны в зазоре при сварке и формировании шва (охладитель), 4 — шов, 5 — металлическая ванна, 6 — шлаковая ванна, 7 — плавящийся мундштук 8 — спираль из проволоки или стальная трубка для подачи проволоки к месту сварки, 9 — электродная проволока, 10 — вторичная обмотка сварочного трансформатора

Сварку пластинчатыми электродами большого сечения прямолинейных и переменного сечения стыков (рис. 92) выполняют с применением электродов того же химического состава, что и

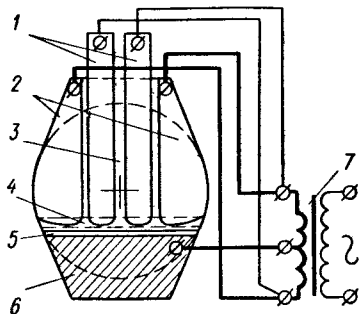


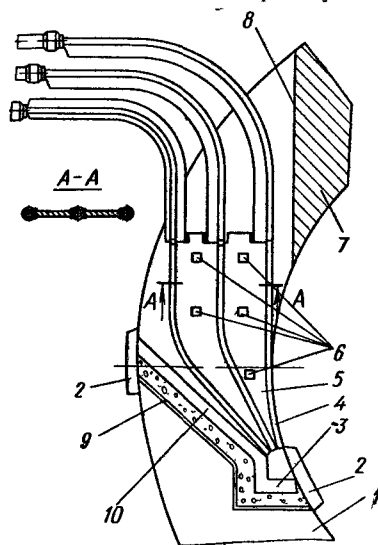
Рис. 92. Схема ЭШС пластинчатыми электродами (ШП) заготовок переменного сечения:

1 — пластинчатые электроды подвижные, имеющие прямоугольную форму; 2 — пластинчатые электроды неподвижные, имеющие форму заготовки; 3 — свариваемая заготовка; 4 — шлаковая ванна; 5 — металлическая ванна; 6 — металл шва; 7 — сварочный трансформатор

свариваемые заготовки. Два утолщенных пластинчатых электрода 2, установленных между свариваемыми кромками, закрепляют неподвижно в зазоре с помощью диэлектрических скоб и изоляторов, а других два электрода 1 с помощью подающего механизма перемещаются совместно в шлаковую ванну.

Рис. 93. Схема ЭШ подплавляющимся мундштуком кольцевого стыка:

1 — свариваемая кромка заготовки; 2 — медные охлаждаемые ползуны, удерживающие в зазоре между свариваемыми кромками расплавленный металл и шлак в процессе сварки; 3 — карман (стальная пластина толщиной 20 мм) для шлаковой ванны; 4 — спираль для подачи проволоки; 5 — пластина мундштука; 6 — изоляционные прокладки для удержания мундштука в центре стыка; 7 — металл шва (условно); 8 — линия реза (условно) металла шва после удаления кармана перед окончанием сварки; 9 — подкарманик (стальная пластина толщиной 2 мм) для удержания флюса в зазоре; 10 — прослойка флюса, предотвращающая вытекание расплавленного металла и шлака из кармана



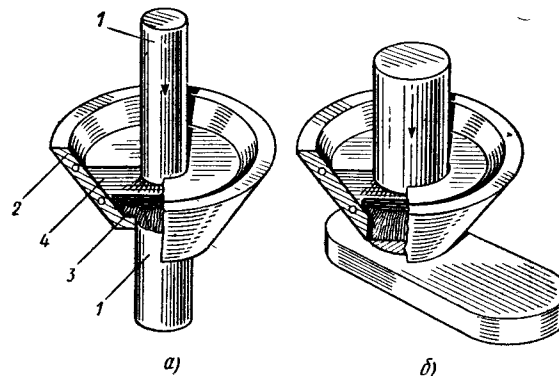
Поскольку способ предназначен для сварки слитков и поковок, выполненных электрошлаковым переплавом диаметром до 3000 мм, то питание током производят от мощного трансформатора ТШП-10-1 по бифилярной схеме, позволяющей снизить индуктивное сопротивление

силового контура и повысить электротехнические характеристики сварочной установки.

Сварка подплавляющимся мундштуком (рис. 93) от сварки плавящимся мундштуком отличается тем, что рас-

Рис. 94. Схема контактно-шлаковой сварки:

а — сварка стержней встык; б — приварка стержня к плоской поверхности; 1 — свариваемые стержни; 2 — медный кокиль; 3 — металлическая ванна; 4 — шлаковая ванна



плавляемая часть мундштука составляет небольшую долю шва, а также возможностью сварки с колебаниями, что позволяет уменьшить количество подающих механизмов в сравнении со сваркой плавящимся мундштуком. Питание подплавляющегося мундштука обычно происходит от одной фазы трансформатора.

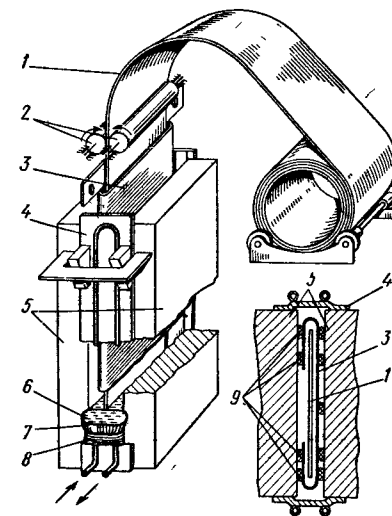


Рис. 95. Схема сварки ленточными электродами:

1 — лента-электрод; 2 — подающий механизм; 3 — направляющая касета (мундштук); 4 — медное формирующее устройство (охладитель); 5 — свариваемые заготовки; 6 — шлаковая ванна; 7 — металлическая ванна; 8 — сварной шов; 9 — изоляционные прокладки

Сварка ленточными электродами (рис. 95) отличается от сварки плавящимся мундштуком тем, что вместо проволоки в сварочную ванну по направляющей касете подают один или несколько ленточных электродов из стали толщиной 1—2 мм.

Условное обозначение	Форма поперечного сечения		Условное обозначение	Форма поперечного сечения						
	подготовленных кромок	выполненного шва		подготовленных кромок	выполненного шва					
С1			Угловые соединения							
						С3		Тавровые соединения		

ТИПЫ И КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ШВОВ

Типы и конструктивные элементы сварных соединений и швов регламентированы ГОСТ 15164—69.

Основные типы сварных соединений, выполняемые ЭШС, типы и виды швов, конструктивные элементы кромок на заготовках, подготовленных под ЭШС, их размеры, размеры выполненных швов свар-

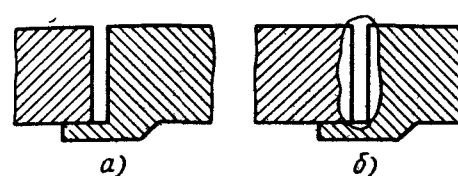


Рис. 96. Замковое соединение:
а — форма подготовленных кромок; б — форма сварного соединения

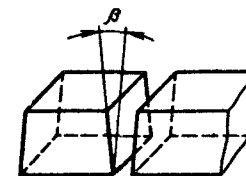


Рис. 97. Допустимое отклонение поверхности продольного сечения от вертикали

ных соединений и предельные отклонения по ним приведены соответственно в табл. 80—82 (по ограничительному стандарту Уралмашзавода).

Стыковое соединение является наиболее технологичным и распространенным.

В стандарте Уралмашзавода предусмотрено в сварных соединениях С3, У3 и Т3 привариваемая подкладка может быть выполнена как часть одной из деталей (рис. 96); отклонение поверхности продольного сечения стыка от вертикали (β) не должно превышать 15° (рис. 97).


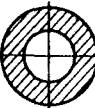
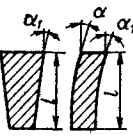
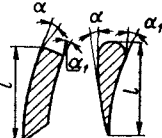
81. Конструктивные элементы сварных соединений (обозначение размеров см. табл. 80)

Обозначение способа сварки	Предельная толщина свариваемых деталей, мм	Расчетный зазор b_p , мм
ШЭ	40—80 80—450	26 28 *
ШМ	100—2000	28

* Для соединений У1 $b_p = 26$.

Примечания. 1. Толщина S_1 для соединений С1 и С2 равна толщине S , для остальных соединений $S_1 \geq 0,5S$, но не более 80 мм.
2. Для соединений С и У величину усиления принимают $q = 4-10$ мм или без усиления, предельное отклонение $\pm 1,5$ мм.
3. Ширина подкладки для соединения С3 $m = 100$ мм, для остальных соединений $m = 80$ мм, толщина подкладки для всех соединений $n = 40$ мм.
4. Для соединений Т сумма $d + S' \leq 600$ мм при сварке ШЭ, при сварке ШМ — без ограничения.

82. Типы и виды швов, выполненных ШЭ и ШМ

Обозначение способа сварки	Тип шва	Вид шва в продольном сечении	α	α_1	Длина шва l , м, не более	Условное обозначение шва
			не более			
ШЭ, ШМ	Прямой		—	—	5	П
ШЭ	Кольцевой		—	—	—	К
ШМ	Переменного сечения		35°	20°	5	ПС
ШМ	Переменной кривизны		35°	20°	5	ПК

ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ И СВАРКИ

Изготовление изделий с применением ЭШС вносит коренные изменения в технологию производства массивных крупногабаритных изделий. С внедрением этого способа стало возможным заменить литые и кованные изделия сварно-литыми, сварно-коваными и сварно-прокатными конструкциями и тем самым значительно уменьшить загрузку литейных и кузнечно-прессовых цехов машиностроительных заводов и металлургических комбинатов без расширения производственных площадей, улучшить качество литья, а в ряде случаев и снизить массу изделий.

В номенклатуру ЭШС могут быть включены изделия, изготовление которых: а) обеспечивает существенный экономический эффект по сравнению с другими способами производства (литья,ковки и дуговой сварки — ручной, полуавтоматической и автоматической), б) значи-

тельно снижает загрузку уникального оборудования и производственный цикл изготовления изделий; в) позволяет уменьшить массу заготовки путем замены литых и кованных конструкций сварно-прокатными.

Требования к заготовкам и материалам. Материалы для заготовок плавящихся мундштуков, сварочная проволока и флюс должны удовлетворять требованиям стандартов или техническим условиям.

Если производится ЭШС заготовок из сталей низколегированных или легированных, то мундштуки изготавливают из сталей той же марки или аналогичной, но обеспечивающей требуемые прочностные показатели сварного соединения.

Для получения оптимальных прочностных показателей сварного соединения у кованных заготовок к стыку должна быть обращена сторона, находящаяся в донной части слитка.

При изготовлении особо ответственных деталей в сварно-литом и сварно-кованом вариантах (гидравлические цилиндры, барабаны подъемных устройств, клещины и другие детали металлургических кранов, детали устройств, подведомственных инспекции Госгортехнадзора) производится контроль качества кромок заготовок и сварного соединения (заготовки и сварное соединение толщиной $S \leq 400$ мм контролируют на бетатроне; заготовки и сварное соединение из проката, поковки толщиной $S \geq 400$ мм контролируют ультразвуковыми приборами соответственно их техническим возможностям). Объем и вид контроля регламентируются техническими требованиями и технологией на конкретное изделие.

Термообработку литых и кованных заготовок производят до ЭШС по режиму стали.

Заготовки при необходимости должны иметь припуски для последующей механической обработки, с учетом возможной усадки и коробления сварного соединения и изделия после термообработки.

Флюсы для электрошлаковой сварки должны обладать следующими качествами: обеспечивать быстрый переход дугового процесса в шлаковый; поддерживать устойчивое прохождение шлакового процесса; создавать полный провар кромок и удовлетворительное формирование поверхности шва; не производить отжата охлажденных устройств от поверхности свариваемого металла; не вытекать в зазоры между охлаждающими устройствами и свариваемым металлом; обеспечивать получение швов высокого качества; образовывать легкоотделяющуюся с поверхности шва корочку шлака; шихта флюса не должна содержать дефицитных компонентов.

В наибольшей мере обладают перечисленными качествами флюсы следующих марок: АН-8, АН-8М, АН-22, АН-25, АН-348А, ФЦ-7, АНФ-1 и 48-ОФ-6.

Отсыревший флюс перед употреблением должен быть прокален в электрической печи при температуре 300—700 °С в течение 1—2 ч при толщине слоя насыпки флюса 80—100 мм.

Сборка под сварку. Заготовки собирают под сварку с учетом усадки стыка после ЭШС и возможного коробления изделия в процессе термообработки.

В чертежах на сварное изделие обычно указывают расчетный зазор (конструкторский зазор) между свариваемыми кромками и сборку выполняют с учетом усадки.

Для получения требуемого качества сварного соединения и плотного прилегания охлаждающих устройств к кромкам стыка, на кромках свариваемых заготовок и смежных с кромкой зонах на ширине 100 мм по всей длине стыка не должно быть выступов, слоя окалины, ржавчины, грязи и технологической смазки.

Для качественного изготовления изделия необходимо проверить геометрию заготовок, марку стали на литых и кованных заготовках, а на заготовках из проката проверить дополнительно коробоватость, серповидность.

При сборке заготовок из листов с допустимой коробоватостью смещение плоскости одного листа по отношению к другому должно быть

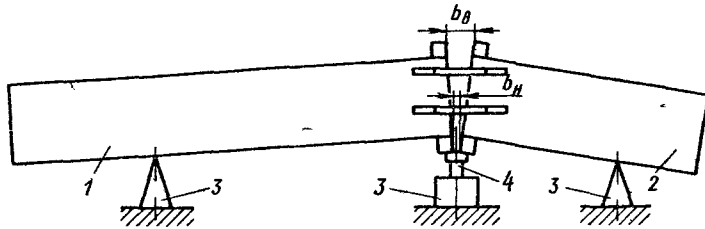


Рис. 98. Схема сборки заготовок под ЭШС на трех опорах:

1 — длинная и наиболее тяжелая заготовка, 2 — короткая и наиболее легкая заготовка, 3 — опоры, установленные на одной высоте, 4 — временная подставка, учитывающая величину усадки при ЭШС

разнесено на обе стороны на одну величину. Смещение плоскости одного листа по отношению к другому допускается не более 1—1,3 мм на 1 м длины стыка

Процесс ЭШС характерен тем, что в начале процесса и при окончании процесса сварки стыка, как правило, получаются участки частичного непровара и незаконченного металлургического процесса (технологические прибыли сварного шва), поэтому эти участки располагают вне стыка. С этой целью при сборке заготовок из проката и поковок по торцам стыков устанавливают входные карманы и выводные планки.

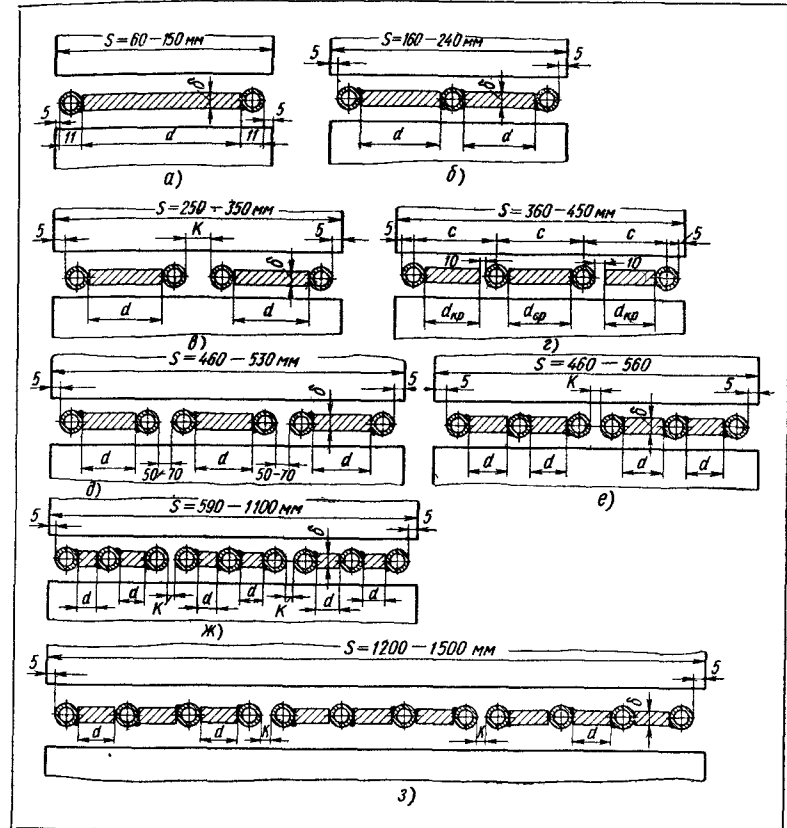
При однотипных изделиях и их серийном выпуске сборку и сварку производят в специальных кондукторах без применения сборочных скоб, входных и выходных планок с использованием кокилей.

Размер технологического зазора между свариваемыми кромками зависит от толщины заготовок и протяженности стыка, марки стали и толщины мундштука. Ориентировочные размеры технологических зазоров и технологические параметры режима ЭШС плавящимися мундштуками для прямолинейных стыков приведены в табл. 83.

Собравшие на трех подставках заготовки под дном кармана должны иметь временную подставку (сухарь). Подставку после сварки стыка на длине 150—300 мм удаляют. Высота временной подставки должна быть такой, чтобы после ее удаления деталь могла стать прямой, опираясь на три опоры (рис. 98).

Плавящиеся мундштуки изготавливают из стальных пластин применительно к материалу заготовок (МСт 3, 10ХСНД, 20Х2МА, 14Х2ГМР и т. д.) толщиной 5—12 мм. Пластины должны быть выправлены на ребро

83. Технологические параметры ЭШС прямолинейных стыков



Эскиз	Толщина заготовки S, мм	Ширина пластины d, мм	Скорость подачи электродов, м/ч	Напряжение на мундштуке, В	Расстояние между мундштуками K, мм	Зазор b _н (b _в) при длине стыка, мм		
						<1000	1001—3000	3001—5000
а	60—80	28—48	140	40—42	—	30 (33)	30 (36)	30 (49)
	90—100	58—68		42—44				
	110—120	78—88		44—48				
	130—150	98—118		48—52				

Продолжение табл. 83

Эскиз	Толщина заготовки S, мм	Ширина пластины d, мм	Скорость подачи электродов, м/ч	Напряжение на мундштуке, В	Расстояние между мундштуками K, мм	Зазор b_H (b_B) при длине стыка, мм			
						<1000	1001—3000	3001—5000	
б	160—170	58—63	130	45—48	—	31 (35)	31 (38)	31 (50)	
	180—210	68—83	140—150	48—50					
	220—240	88—98	150	50—52					
	250—270	73—83	130	45—47					
	280—330	88—113	130—140	48—50					
в	340—350	113	140	48—52	60—70	32 (37)	32 (40)	32 (51)	
	360—380	102—108*	130	48—50	10	32 (39)	32 (42)	32 (53)	
	390—410	112—118**	140	50—52					
	420—450	122—132**	150	52—55					
460—490	95—105	120	48—50						
д	500—530	108—110	130—140	50—52	50—70	33 (40)	33 (43)	33 (53)	
	е	460—490	81—91	120—130	48—50	50	33 (40)	33 (43)	33 (53)
500—530		93—101	130—140	50—52					
540—560		101—103	150	52—55					
ж		590—630	63—70	110	42—45				
	640—680	72—79	120	45—47					
	690—730	80—87	130	47—49					
	740—780	88—95	140	48—50					
	790—880	97—110	150	50—52					
	890—910	114	150	52—55					
	70	920—950	115—120	120	42—45	70	34 (44)	34 (45)	34 (56)
		960—980	122—125	130	42—45				
		990—1100	127—145	120—130	45—47				

Продолжение табл. 83

Эскиз	Толщина заготовки S, мм	Ширина пластины d, мм	Скорость подачи электродов, м/ч	Напряжение на мундштуке, В	Расстояние между мундштуками K, мм	Зазор b_H (b_B) при длине стыка, мм		
						<1000	1001—3000	3001—5000
з	1200—1500	102—135	140	45—48	70	35 (47)	35 (50)	35 (58)
Примечания: 1. Размеры зазоров b_H и b_B показаны на рис. 98. 2. Толщина пластины для заготовок толщиной до 910 мм $\delta = 5$ мм, для заготовок $S = 920-980$ мм $\delta = 10$ мм, для $S > 980$ мм $\delta = 12$ мм. 3. Для заготовок толщиной 360—450 мм размер c принимают:								
S, мм		360—380		390—410		420—450		
C, мм		113—119		123—129		133—143		
*1 Дано $d_{ср}, d_{кр} = 92-98$. *2 То же, $d_{кр} = 102-108$. *3 То же, $d_{кр} = 112-122$.								

и плоскость. Спираль (наружный диаметр 11 мм, внутренний 5 мм) для подачи проволоки от подающего механизма к месту сварки изготовляется обычно из проволоки диаметром 3 мм марки Св-10Г2.

Для правильной установки мундштука в зазоре и электрической изоляции мундштука от стенок стыка на мундштук устанавливают и приваривают изоляторы (рис. 99). Изоляторы изготовляют намоткой на стальную выгнутую пластину размером $2 \times 12 \times 60$ мм стеклоткани, смоченной жидким стеклом, окунаем пластин в электродное покрытие, применяемое при изготовлении электродов для ручной дуговой сварки или заливкой стальных колец расплавленным флюсом в специальных кокилях.

Собранный мундштук устанавливают в середине зазора между свариваемыми кромками с таким расчетом, чтобы мундштук был параллельным к свариваемой кромке длиной более тяжелой заготовки. Такого положения мундштука в зазоре достигают подгибкой изоляторов на необходимый размер и приварки мундштука к кронштейну (изоляция скоба). Нижний конец мундштука устанавливают в зазоре с таким расчетом, чтобы расстояние от нижнего торца мундштука до дна кармана составляло 40—50 мм (рис. 100).

Подвод тока от сварочного трансформатора к мундштукам и заготовкам осуществляют с помощью медных проводов и стальных планок (медные наконечники проводов крепят с помощью болтов диаметром 16 мм к стальной, зачищенной до металлического блеска планке), которые приваривают ручной дуговой сваркой соответственно к скобе и заготовке.

Сборка заготовок с прямолинейными стыками под ЭШС проволоочными электродами, а также требования к заготовкам и материалам те же, что и для ЭШС плавящимися мундштуками.

Поскольку тепловой баланс электрошлаковой сварки проволоочными электродами (ШЭ) обычно бывает меньшим, нежели при шлаковой сварке плавящимися мундштуками (ШМ), то и усадка после ШЭ имеет меньшую величину. Сборку заготовок под ШЭ производят с меньшим и технологическими зазорами.

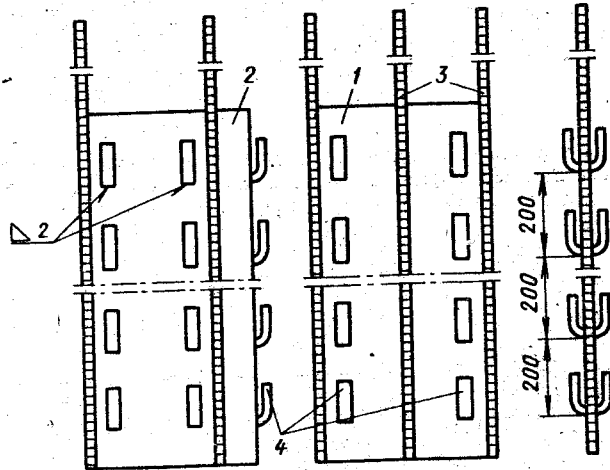


Рис. 99. Схема установки изоляторов на мундштуке:

1 — центральная пластина плавящегося мундштука; 2 — боковая пластина плавящегося мундштука (флажок); 3 — спираль из проволоки или стальные трубки для подвода проволоки к месту сварки; 4 — изоляторы

При ШЭ прямолинейных швов аппаратами типа А-372Р заготовки устанавливают и закрепляют в стенде или на сварочной плите с таким расчетом, чтобы стык находился в вертикальном положении против мундштуков, остальные этапы сборки те же, что и для сварки ШМ.

Сборку цилиндрических заготовок с кольцевыми стыками выполняют на сборочной плите с горизонтальным положением стыков фиксации технологических зазоров с помощью планок или непосредственно в специальных роликовых опорах с вертикальным положением стыков без сборочных планок.

Технологический зазор между цилиндрическими заготовками устанавливают обычно по окружности с помощью трех стальных прокладок (сухарей) из проката диаметром 30 мм, расставленных на одинаковом расстоянии по стыку заготовок, высоту выбирают в зависимости от технологического зазора. В процессе ШЭ при подходе мундштуков к сухарю, последние удаляют из зазора. Схема установки сухарей и сборочных планок на стыке показана на рис. 101.

При сборке цилиндрических заготовок помимо сухарей к свариваемому торцу одной из заготовок для начала ШЭ устанавливают и приваривают карман для удержания металлической и шлаковой ванны в зазоре.

Сварка. Процесс электрошлаковой сварки можно разделить, по меньшей мере, на три основных стадии: начало процесса (наведение шлаковой ванны), собственно процесс сварки (создание сварного шва), окончание процесса (вывод шлаковой ванны).

В практике производства находят применение следующие способы наведения шлаковой ванны: «твердый старт», когда сварочный флюс плавится теплом электрической дуги в специальном в стартовом кармане, и «жидкий

жидкий старт», когда в пространство, образуемое свариваемыми деталями и формирующими водоохлаждаемыми устройствами, заливают жидкий флюс, который предварительно расплавляют в отдельном агрегате.

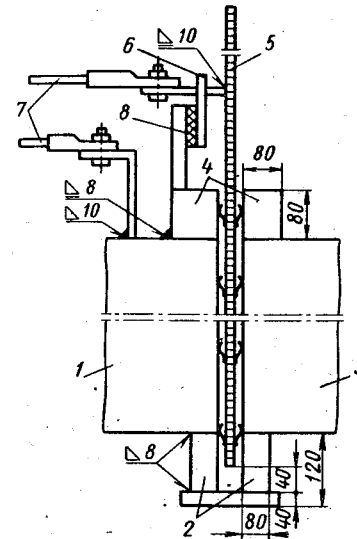


Рис. 100. Схема установки плавящегося мундштука в стыке свариваемых заготовок:

1 — заготовка более длинная, более тяжелая; 2 — карман; 3 — заготовка более короткая, более легкая; 4 — выводные планки; 5 — плавящийся мундштук; 6 — скоба диэлектрическая; 7 — токоподводящие кабели; 8 — прокладка изоляционная

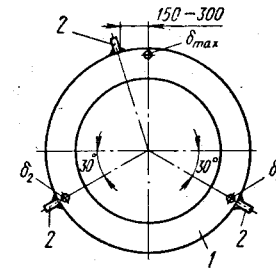


Рис. 101. Схема установки сухарей и сборочных планок при сборке цилиндрических заготовок:

1 — торец свариваемой заготовки; 2 — соединительные планки; δ_{max} — сухарь, имеющий наибольшую высоту; $\delta_1 = \delta_2$ — сухари, имеющие наименьшую высоту

жидкий старт», когда в пространство, образуемое свариваемыми деталями и формирующими водоохлаждаемыми устройствами, заливают жидкий флюс, который предварительно расплавляют в отдельном агрегате.

Техника «твердого старта» показана на рис. 102 и осуществляется в следующем порядке:

устанавливают в положение сварки соединяемые детали 1; устанавливают в исходное положение водоохлаждаемые формирующие устройства — ползун 4 и неподвижную пластину 2; устанавливают стартовый карман 8, конструкция и материалы которого могут быть различны; вводят электрод 3 в полость между кромками свариваемых деталей;

засыпают в пространство между кромками деталей твердый флюс 5 необходимой марки.

После выполнения перечисленных операций на электрод и изделие подается напряжение от источника питания и в промежутке между концом электрода и дном стартового кармана возбуждается электрическая дуга 6. Под действием тепла дуги начинают плавиться электродная проволока и флюс, образуется малый объем жидкого шлака 7.

Когда объем жидкого шлака становится достаточно большим, благодаря хорошей его электропроводности значительная часть сварочного тока шунтируется через шлак. Плотность тока в дуге становится недостаточной для ее устойчивого горения, дуга гаснет, и с этого момента процесс переходит в бездуговой (шлаковый).

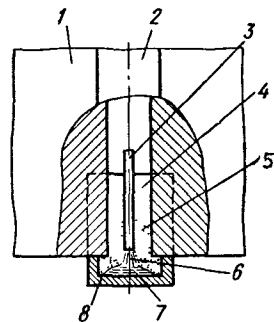


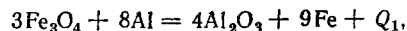
Рис. 102. Схема наведения шлаковой ванны:

1 — свариваемые детали; 2 — неподвижная водоохлаждаемая пластина; 3 — электрод; 4 — ползун водоохлаждаемый; 5 — твердый флюс; 6 — электрическая дуга; 7 — жидкий шлак; 8 — стартовый карман

этом промежутке металлическими вставками различных конструкций.

В практике для улучшения наведения ванны в дуговой промежуток помещают в смеси с флюсом двуокись титана (TiO_2), которые образуют состав, обладающий электропроводностью в твердом состоянии. Для быстрого наведения шлаковой ванны применяют также смеси, дающие при своем горении тепловой эффект. Такие смеси называют экзотермическими. Они представляют собой чисто механические порошкообразные составы, состоящие в основном из горючих и окисляющих веществ. Роль горючих веществ выполняют алюминиевый или магниевый порошок, а окисляющих — окись-закись железа Fe_3O_4 (окалина) или другие компоненты.

Химическая реакция при горении смеси алюминия с окалиной



Q_1 — тепло, выделившееся в ходе реакции, в дополнение к теплу, выделяемому электрической дугой, идет на расплавление твердого флюса.

В качестве горючих веществ применяют алюминиево-магниевые порошки марки ПАМ-3, ПАМ-4, которые выпускает промышленность.

Экзотермические смеси изготавливают тщательным перемешиванием входящих в их состав компонентов, процентное содержание компонентов в смеси может быть различным, в зависимости от требуемого теплового эффекта и химического состава шлаковой ванны.

Кроме того для наведения шлаковой ванны часто применяют так называемый «жидкий старт».

Применение «жидкого старта» требует решения следующих вопросов: изготовления специального плавильного агрегата, периодической транспортировки тигля с расплавленным шлаком к месту заливки и наличия заливочных устройств, но позволяет ускорить процесс наведения шлаковой ванны и максимально уменьшить размеры входной технологической прибыли сварного шва.

Собранные заготовки под сварку в зависимости от содержания в них эквивалентного углерода ($C_э$), толщины свариваемых кромок, а в некоторых случаях и протяженности стыка подвергают предварительному подогреву. Для подогрева используют термические печи, электрические индукторы, накладываемые на свариваемые кромки стыка, специальные газоздушные горелки, сварные изделия в некоторых случаях подлежат немедленной посадке в термическую печь с целью предотвращения появления трещин и обеспечения требуемых механических свойств сварного соединения. Термические параметры для заготовок и сварных изделий, выполненных различными видами шлаковой сварки, приведены в табл. 84.

При ЭШС ответственных изделий со стыками значительной толщины и протяженности необходимо шлаковую ванну обновлять, т. е. шлак частично из ванны скачивать и досыпать в ванну новые порции флюса для лучшего рафинирования металла шва.

Характеристика сварного соединения при ЭШС зависит от многих факторов, которые определяют устойчивость процесса, а также размер, форму и качество шва. Совокупность этих факторов составляет режим электрошлаковой сварки.

К основным параметрам режима электрошлаковой сварки относятся следующие величины: сварочный ток; напряжение сварки; скорость подачи электродов в шлаковую ванну; сечение электродов; количество электродов; скорость колебаний (поперечных перемещений) электродов; глубина шлаковой ванны; расстояние между электродами; приближение электродов к формирующим ползунам; время выдержки электродов у ползунов; ширина зазора между свариваемыми деталями; сухой вылет электрода; напряжение холостого хода; род и полярность сварочного тока; интенсивность охлаждения формирующих ползунов, а также объем вновь вводимого по мере расхода шлаковой ванны флюса. Зависимость ширины проплавления от отдельных параметров режима сварки и его влияние на формирование швов показаны на рис. 103.

Скорость подачи электродной проволоки подбирают в диапазоне 150—250 м/ч. С увеличением скорости подачи проволоки и силы тока в сварочной цепи увеличивается возможность появления трещин в шве.

Напряжение сварки необходимо выбирать в диапазоне 32—52 В в зависимости от толщины свариваемого металла, марки стали и флюса.

Повышение напряжения увеличивает ширину проплавления. Глубину шлаковой ванны ($h_{ш. в}$) необходимо выбирать порядка 30—60 мм и тщательно поддерживать постоянной во время сварки, периоди-

84. Термические параметры для изделий с прямолинейными стыками и стыками переменного сечения, выполненными электрошлаковой сваркой углеродистых и низколегированных сталей

Группа и эквивалентный углерод	Марка свариваемой стали	Толщина заготовки, мм	Температура подогрева (начала сварки), °С	Температура печи в момент посадки изделия после сварки, °С	Ограничения по посадке изделия в печь на термообработку после ЭШС	
					По времени между окончанием переноса первого стыка и моменту начала термообработки, ч	По температуре первого стыка к моменту начала термообработки, °С
I $C_3 \leq 0,6$	М16С, ВСт1, ВСт2, ВСт3, ВСт4, Ст1-Ст4, 22К, 09Г2С, 09Г2, 25Л, 25ГС, 20ГСЛ	≤ 450 450—1000	Без подогрева	Неограниченно	Неограниченно	Неограниченно
						≤ 3
II $C_3 = 0,61 \div 0,8$	Ст5, ВСт5, 30Л, 35Л, 30, 35, 10ХСНД, 15ХГН, 20ХГС	≤ 250 250—1000	150—200	Неограниченно	Неограниченно	≤ 3
						≤ 3
III $C_3 = 0,81 \div 1,0$	40, 25ХГС, 20ХМЛ	≤ 1000	200—250	Неограниченно	Неограниченно	$\leq 2,5$
						$\leq 1,5$
IV $C_3 \geq 1,2$	20Х2МА	≤ 450	250—300	Неограниченно	Неограниченно	$\leq 1,5$

Примечания. 1. Химический состав сталей принят по ГОСТам и мароннику сталей, выплавляемых на Уралмашзаводе
2. Стали разработаны на четыре группы свариваемости по признаку эквивалентного углерода (см. гл. 6).

чески замеры ее шупом и пополняя объем ванны по мере необходимости досыпкой флюса.

С увеличением глубины шлаковой ванны уменьшается ширина проплавления. С уменьшением глубины шлаковой ванны ухудшается устойчивость процесса сварки.

Вылет электродов (h_3) обычно применяют 70—90 мм. Чрезмерное увеличение вылета ведет к ухудшению точности направления электро-

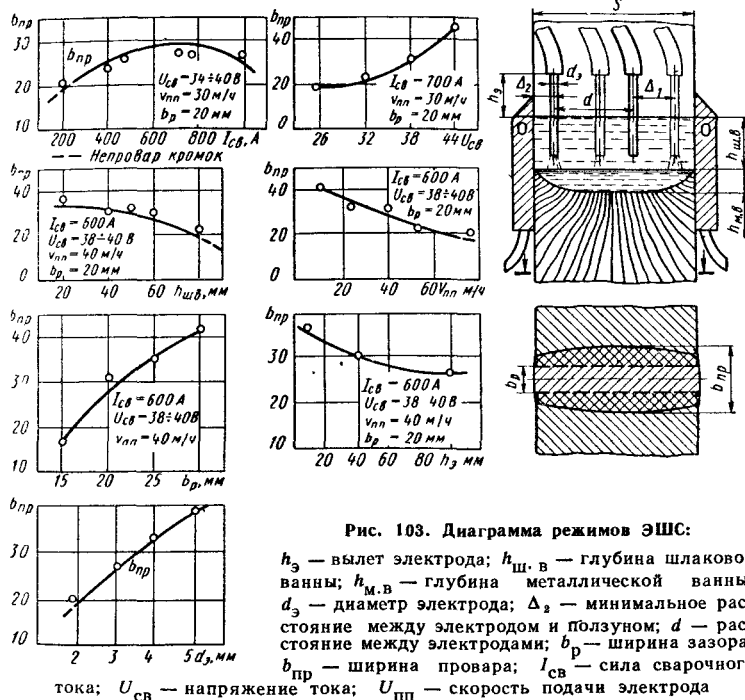


Рис. 103. Диаграмма режимов ЭШС:

h_3 — вылет электрода; $h_{ш.в}$ — глубина шлаковой ванны; $h_{м.в}$ — глубина металлической ванны; $d_э$ — диаметр электрода; Δ_2 — минимальное расстояние между электродом и ползуном; d — расстояние между электродами; $b_р$ — ширина зазора; $b_{пр}$ — ширина провара; $I_{св}$ — сила сварочного тока; $U_{св}$ — напряжение тока; $U_{пп}$ — скорость подачи электрода

дов в разделке и уменьшению силы тока. Уменьшение вылета ведет к перегреву мундштуков и снижению устойчивости шлакового процесса.

Количество электродов выбирают в зависимости от толщины металла:

Толщина, мм	40—110	Св 110 до 250	Св 250 до 500
Количество электродов	1	2	3

Скорость поперечного перемещения электродов 20—60 м/ч; время остановки электродов в крайних положениях до 6 с; расстояние от электрода до ползуна в крайнем положении (Δ_1) 10 мм.

Расстояние между электродами определяют по формуле

$$d = \frac{S + \Delta_1 - 2\Delta_2}{n_3},$$

где S — толщина металла, мм; n_3 — количество электродов; Δ_1 и Δ_2 см. на рис. 103; $\Delta_1 = 20$ мм. Величину Δ_2 принимают: при ползунах с глубиной канавки 2—3 мм $\Delta_2 = 4 \div 7$ мм, с глубиной канавки 10 мм $\Delta_2 = 0 \div 2$ мм.

Скорость подачи проволоки (м/ч)

$$v_{пп} = \pi D_p n \cdot 60,$$

где D_p — начальный диаметр подающего ролика; n — число оборотов ролика в минуту.

Средняя скорость сварки (м/ч)

$$v_c = \frac{v_{пп} \pi d_3^2 n_3}{4S b_p},$$

где d_3 — диаметр электродной проволоки, мм; b_p — зазор, мм.

При диаметре электрода $d_3 = 3$ мм

$$v_c = \frac{7v_{пп} n_3}{S b}.$$

Кинематическая скорость сварки (v_d), на которую настраивают аппарат, должна превышать среднюю скорость сварки в 1,5—2 раза.

Скорость горизонтального (возвратно-поступательного) перемещения электродов в разделке постоянная, устанавливают в пределах 20—61,5 м/ч.

Технологические параметры ШЭ углеродистых, низкоуглеродистых и термоупрочненных сталей приведены в табл. 85.

85. Режимы ШЭ углеродистых, низколегированных и термоупрочненных сталей для прямолинейных стыков

Марка стали	Скорость подачи проволоки, м/ч	Марка проволоки	Марка флюса	Подогрев, °С
M16С, Ст3, 20, 22К, 25Л, 09Г2	250	Св-10Г2	АН-8М АН-8	Нет
25ГС, 25ГСЛ, 10ХСНД, 10ХГСНД		Св-08ХГ2СМ	АН-8М АН-8, АН-22, ФЦ-1	"
35, 35Л, Ст5	225	Св-08ХГ2СМ	АН-8М АН-8, АН-22	200
20Х2МА		Св-08Х3Г2СМ	АН-8, АН-22	350
14Х2ГМР, 14ХМНДФ	≤200	Св-10ХГН2МЮ	АН-8, АН-8М, АН-22	Нет

Термические параметры для изделий в сварном варианте см. в табл.84. Оптимальные параметры скорости подачи проволоки и напряжения при сварке, обеспечивающие качество сварного соединения, даны на рис. 104.

Режим ШЭ кольцевых стыков с использованием заготовок из углеродистых и низколегированных сталей приведен в табл. 86.

86. Режим сварки ШЭ кольцевых стыков для углеродистых и низколегированных сталей (Ст3кп, 20ГС, 22К, 25ГС, 25, 35, 35Л)

Толщина свариваемого металла, мм	Количество электродных проволок	Расстояние между электродными проволоками, мм	Напряжение сварки, В	Скорость сварки, м/ч
40—110	1	—	46—54	≤0,65
110—250	2	62—132	46—56	
250—500	3	88—172	46—58	

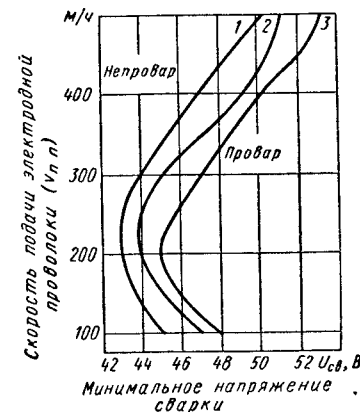


Рис. 104. График зависимости между скоростью подачи проволоки и напряжением, при которых обеспечивается оптимальное проплавление кромок, при различных значениях $\frac{S}{h_3}$:

1 — 50 мм; 2 — 100 мм; 3 — 150 мм

ОБОРУДОВАНИЕ

Аппараты для электрошлаковой сварки условно разделяют на следующие основные типы:

рельсовые аппараты, перемещаются по вертикальным рельсам или по специальным направляющим, устанавливаемым параллельно свариваемому стыку или над стыком;

безрельсовые аппараты, перемещающиеся непосредственно по свариваемому изделию и принудительно сцепляются с ним механическим путем;

шагающие магнитные аппараты, движущиеся непосредственно по изделию и сцепляются с ним при помощи системы шагающих электромагнитов.

Электрошлаковую сварку осуществляют с применением трехфазных сварочных трансформаторов типа ТШС-1000-3, ТШС-3000-3 и однофазных трансформаторов типа ТШП-10-1, имеющих жесткую вольтамперную характеристику. При технологической необходимости ШМ выполняют с помощью многопостовых генераторов постоянного тока типа ПСМ-1000. В комплектацию установок для ЭШС входят аппаратные шкафы и специальные сварочные аппараты.

Для подачи проволоки могут быть использованы следующие аппараты и подающие механизмы.

А п п а р а т А-6 4 5 — техническую характеристику см. в табл. 87.

А п п а р а т А-1 0 6 2 имеет характеристику:

Количество электродов на подающей головке	6
Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	50—600
Количество головок на траверсе	3
Количество траверс	2
Максимальное количество электродов на аппарате	36
Диаметр электродной проволоки, мм	3—6
Свариваемая толщина заготовок, мм	60—2500

Головки с тремя подающими механизмами укрепляют на траверсах с помощью струбцин. Расстояния между головками могут изменяться за счет перемещения головок на траверсе.

Подающие механизмы головок работают независимо одна от другой, их скорость может изменяться в процессе ШМ двигателем постоянного тока с помощью реостата. Каждая головка может подавать три или шесть проволоок одновременно.

Д е с я т и э л е к т р о д н ы й п о д а ю щ и й м е х а н и з м (конструкция Уралмашзавода), имеющий характеристику:

Количество электродов, шт.	10
Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	95—234
Диаметр электродной проволоки, мм	3
Свариваемая толщина заготовок, мм	60—1000

Скорость подачи проволоки изменяется с помощью сменных зубчатых колес и имеет семь ступеней регулирования. Привод подающего механизма от асинхронного двигателя, скорость подачи проволоки в процессе сварки постоянная.

Величину проплавления стенок заготовок регулируют за счет изменения напряжения в сварочной цепи.

П о д а ю щ и й м е х а н и з м о т а п п а р а т а А-4 8 0, имеет характеристику:

Количество электродов, шт.	9
Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	42—260
Диаметр электродной проволоки, мм	3
Свариваемая толщина, мм	60—1000

Скорость подачи проволоки изменяется с помощью сменных зубчатых колес и имеет 16 ступеней регулирования. Привод подающего механизма от асинхронного двигателя, скорость подачи проволоки в процессе электрошлаковой сварки постоянная.

Величину проплавления стенок заготовок регулируют изменением напряжения в сварочной цепи переключением секций обмотки на трансформаторе с помощью переключателя, установленного на переносном пульте или аппаратном шкафу.

П о д а ю щ и е м е х а н и з м ы для полуавтоматической дуговой сварки типа ПШ-54 (390), ПШ-5-1, А-537Р, А-537У, А-765 и другие аналогичные, рассчитанные на проволоку диаметром 2—3 мм, обеспечивающие скорость подачи проволоки 80—600 м/ч.

Подающие механизмы устанавливают и закрепляют на заготовке, имеющей большую длину и большую массу.

Сварочный ток подается от сварочного трансформатора непосредственно на плавящийся мундштук.

Скорость подачи проволоки — постоянная, величину проплавления стенок заготовок регулируют изменением величины напряжения в сварочной цепи переключением секций обмоток на трансформаторе. Переключатель секции обмоток установлен на аппаратном шкафу.

Электрошлаковые аппараты снабжают тремя рабочими механизмами: механизмом подачи электродной проволоки, механизмом вертикального перемещения аппарата, механизмом горизонтального возвратно-поступательного движения электродов.

Т р е х э л е к т р о д н ы й у н и в е р с а л ь н ы й а п п а р а т А-372Р наиболее широко применяют в промышленности. Аппарат А-372Р представляет собой модернизированный аппарат А-372М и применяется для однопроходной сварки стыковых, угловых и тавровых соединений. Аппарат позволяет производить сварку проволочными или пластинчатыми электродами. В обычном исполнении аппарат предназначен для сварки прямолинейных швов, однако, заменив ряд узлов, его можно использовать и для сварки кольцевых швов. Аппарат А-372Р, настроенный для сварки продольных швов электродной проволокой и пластинчатыми электродами, показан на рис. 105.

Для сварки кольцевых швов аппарат снабжают механизмом, позволяющим на ходу изменять расстояние между электродами, а также специальными ползунами с подвеской увеличенного хода.

При сварке пластинчатыми электродами сварочную головку заменяют специальной штангой с держателями для пластин. Сварку можно производить тремя пластинчатыми электродами общей массой не более 200 кг.

К безрельсовым электрошлаковым аппаратам относят аппараты: А-306, А-340, А-350 и А-612. Безрельсовые аппараты состоят из двух тележек: передней — ведущей и задней — холостой. Тележки находятся по обе стороны свариваемого стыка и связаны между собой специальными плоскими тягами, пропущенными через зазор между свариваемыми листами. Сборку стыка осуществляют с помощью сборочных П-образных скоб. Внутренний размер сборочной скобы должен быть достаточен для свободного прохода холостой тележки аппарата во время сварки.

О д н о э л е к т р о д н ы й а п п а р а т А-340 оборудован механизмом горизонтального возвратно-поступательного перемещения электрода вдоль стыка. Аппарат имеет три электропривода. Наличие отдельного электропривода для вертикального перемещения, не связанного с подачей электрода, позволяет применить в нем схему автоматического регулирования уровня сварочной ванны с плавным регулированием скорости сварки путем изменения числа оборотов электродвигателя. Схема электрошлакового аппарата А-340 приведена на рис. 106.

Для ШЭ кольцевых швов большого диаметра, со значительной толщиной свариваемых заготовок, с продолжительностью сварки 20—30 ч, а также для ШЭ изделий в точный размер, применяют двоянные аппараты (рис. 107).

Конструкция двоянного сварочного аппарата позволяет быстро заменить всю сварочную часть, в том числе мундштуки, подающий ме-

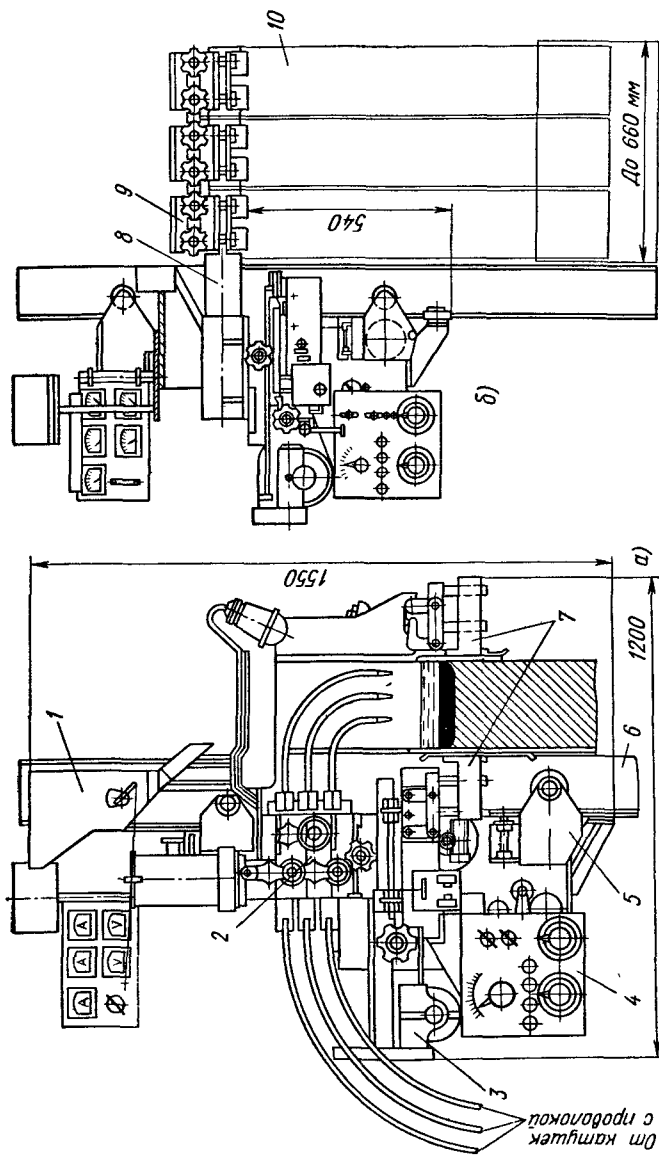


Рис. 105. Рельсовый аппарат А-372Р: а — настроенный для сварки электродной проволокой; б — настроенный для сварки пластинчатыми электродами прямолинейных стыков:
 1 — флюсодозатор для подачи флюса в сварочную ванну; 2 — трехэлектродная проволочная головка; 3 — механизм для возвратно-поступательного перемещения электродов в зазоре; 4 — пульт для управления режимом; 5 — механизм для вертикального перемещения головки; 6 — рельсовый путь; 7 — медные ползуны, формирующие шов; 8 — специальная штанга с электродержателями; 9 — электродержатели; 10 — пластинчатые электроды

ханизм, механизм колебаний. Установка снабжена двумя сварочными головками 1 и 2, установленными на поворотных рамах с пружинным уравновешиванием так, что при повороте рычажной системы, изменя-

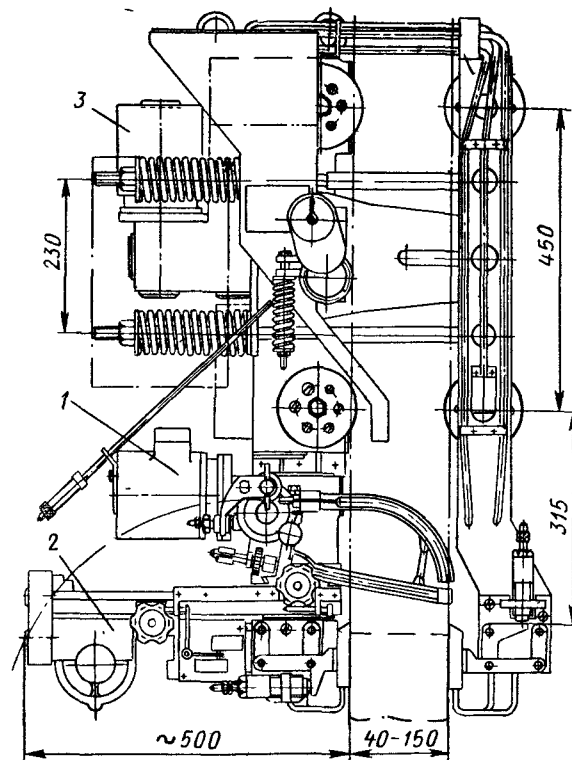


Рис. 106. Схема безрельсового электрошлакового аппарата А-340:

1 — механизм для подачи электрода; 2 — механизм для возвратно-поступательного перемещения сварочной головки; 3 — механизм для вертикального перемещения аппарата по свариваемым кромкам

ющей натяжение пружин 5 и 6, рамы с головками поворачиваются в противоположные стороны и на рабочее место вышедшей из строя основной головки устанавливается дублирующая.

В рабочем положении каждая головка удерживается с помощью защелки, установленной на приемной стойке. При дублировании защелка выбивается с помощью электромагнитной щеколды или вручную.

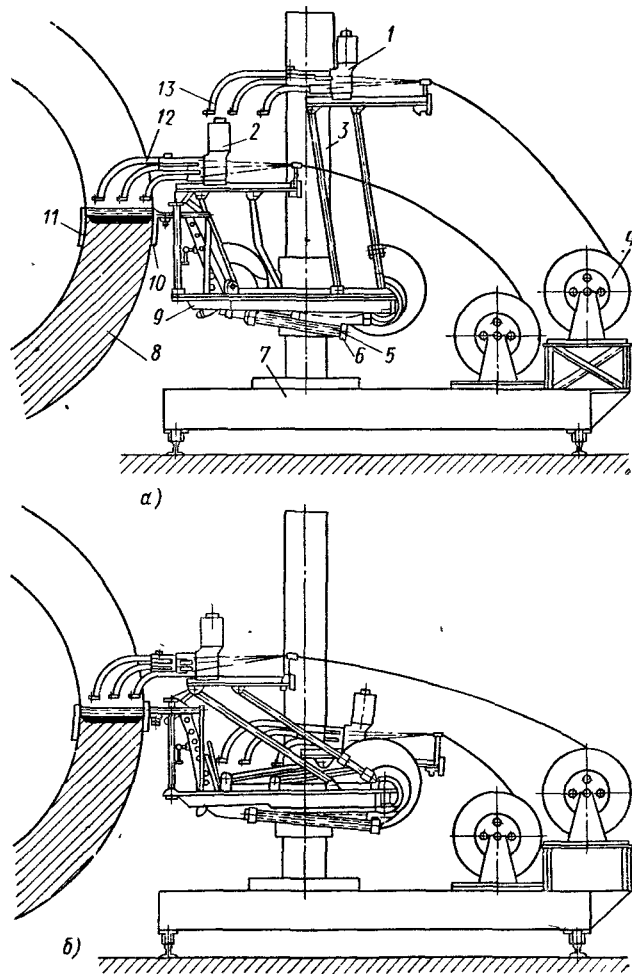


Рис. 107. Схема сдвоенного аппарата:

а — положение сварочных головок до дублирования; б — положение сварочных головок после дублирования; 1 — сварочная головка 1 до дублирования (положение 1); 2 — сварочная головка 2 до дублирования (положение 2); 3 — колонна; 4 — кассета с проволокой; 5 — уравновешивающая пружина головки 2; 6 — уравновешивающая пружина головки 1; 7 — тележка; 8 — свариваемая заготовка; 9 — площадка для сварщика-оператора; 10 — наружное охлаждающее устройство (охладитель); 11 — внутреннее охлаждающее устройство; 12 — мундштук к головке 2; 13 — мундштук к головке 1

Поворотные рамы обеих головок установлены на рабочей площадке, которая позволяет корректировать все устройство при сварке в радиальном и поперечном направлениях. Следовательно, выверенные до сварки по кромкам стыка головки сохраняют настройку в процессе всей сварки.

Рабочая площадка перемещается по вертикальной колонне 3, установленной на тележке 7, где размещены не только катушки с электродной проволокой, но также сварочные трансформаторы и аппаратные ящики. Колонна 3 имеет возможность перемещаться в направлении толщины свариваемого изделия по направляющим суппорта.

Как правило, все электропитание установки дублируется, начиная с подстанции, т. е. должны быть два сварочных трансформатора, два аппаратных ящика и два пульта управления.

Сдвоенные аппараты оснащаются головками А-911, А-1247 и др. Техническая характеристика полуавтоматов и автоматов для ЭШС приведена в табл. 87.

Устройства для формирования сварного шва в а. Для принудительного формирования сварного шва применяют обычно медные водоохлаждаемые устройства (ползуны и пластины). Водоохлаждаемые устройства устанавливают с обеих сторон шва, причем со стороны сварочного аппарата они являются подвижными (ползуны), а с противоположной сварочному аппарату стороны шва устанавливают обычно медную неподвижную охлаждаемую водой пластину, длина которой равна длине шва. При большой протяженности шва пластины могут стыковаться, а место стыка, во избежание вытекания шлаковой ванны, замазывают огнеупорной массой (асбестовая крошка с огнеупорной глиной, размешанные в воде).

Формирующее устройство должно отвечать следующим требованиям:

- обеспечивать оптимальную охлаждающую способность;
- материал устройства должен быть химически нейтрален к составу шлаковой ванны;
- устройство должно иметь высокую долговечность (стойкость) и высокую надежность в работе (не допускать вытекания шлаковой ванны);
- материал формирующего устройства не должен быть дефицитным;
- процесс сварки должен идти при минимальном расходе охлаждающей воды;
- устройство должно выдерживать аварийные ситуации (отключение охлаждающей воды, самопроизвольное возбуждение дуги);
- масса устройства должна быть минимальной;
- технология изготовления устройства должна быть проста, стоимость изготовления минимальна.

Основной недостаток медных водоохлаждаемых ползунов состоит в том, что для их надежной работы необходима довольно тщательная обработка боковых поверхностей кромок свариваемых деталей.

Особенно важно обеспечение плотного контакта в случае применения особо жидкотекучих шлаков, так как жидкий шлак, заполняя имеющиеся зазоры в месте контакта, быстро застывает, нарушая при этом контакт между плоскостью ползуна и поверхностью свариваемых деталей, что приводит к вытеканию шлаковой ванны.

Для устранения явления отжатия ползуна во время процесса сварки ползуны обстучивают молотком, зазоры обмазывают огнеупорной массой. Существуют также конструктивные пути устранения отжатия

87. Техническая характеристика полуавтоматов

Параметры	Безрельсо- вый полу- автомат А-671Р	Рельсовый полуавто- мат А-681	Рельсовый автомат А-1027	Автоматы для сты
				А-385
Толщина свариваемых заготовок, мм	16—50	14—60	10—50	≤180
Диаметр электродной сплошной проволо- ки, мм	2,5—3	2,5—3	—	3
Скорость подачи элект- родной проволо- ки, м/ч	250—400	58—580	90—400	150—500
Номинальная сила сварочного тока при ПР-100%, А:				
постоянного, об- ратной поляр- ности	300—700	750	700	—
переменного . . .	—	—	—	1000
Номинальное напря- жение питающей трехфазной сети, В	380	380	380	380
Масса сварочной про- волоки в катушке, кг	80	—	—	—
Источник питания . .	ПСМ-1000	ПСМ-1000	ПСМ-1000	ТШС-1000-3
Напряжение при ЭШС, В	38—42	38—42	38—42	38—55
Скорость вращения изделия, м/ч	—	—	2—8	—
Наружный диаметр изделия, мм	—	—	—	800—3200
Количество электрод- ных проволок	1	1	1	3
Скорость возвратно-по- ступательного дви- жения, м/ч	—	—	—	21—60
Скорость сварки, м/ч	—	—	—	—

и автоматов для электрошлаковой сварки (ЭШС)

кольцевых ков	Автоматы для прямолиней- ных и переменной кри- визны стыков		Автомат для прямолинейных и кольцевых стыков ШЭ и прямолинейных ШП А-372Р	Автомат для кольцевых стыков А-401
	А-532	Однофазный А-645		
≤400	200—800	≤2500	≤450 * ≤600 *	До 450
3	3	3	3	3
150—500	62—154	40—150	150—500	150—480
—	—	—	—	—
1000	2000	9000	≤3000 (ШП)	1000
380	220, 380	380	380	380
—	—	230	—	135
ТШС-1000-3	ТШС-3000-3	ТШС-3000-3	ТШС-1000 * ТШС-3000	ТШС-1000-3
38—55	36—55	36—55	45—55	45—55
0,5—10	—	—	—	1—10
≤3000	—	—	—	≤3200
1—3	1—6	≤18	3	3
20—58	—	—	20—60	20—60
—	—	—	—	—

Параметры	Автомат для прямолинейных стыков А-435Р	Автомат для прямолинейных и кольцевых стыков угловых и тавровых соединений А-535	Автоматы для прямолинейных стыков	
			А-736	А-790
Толщина свариваемых заготовок, мм	10—150	$\leq 450^*$ ≤ 600	16—50	100—300
Диаметр электродной сплошной проволоки, мм	3	3	2,5—3	3
Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	60—420	65—480	160—320	80—410
Номинальная сила сварочного тока при ПР-100%, А: постоянного, обратной полярности	1000	—	750	—
переменного	—	До 3000	—	1000
Номинальное напряжение питающей трехфазной сети, В	220, 380	380	380	380
Масса сварочной проволоки в катушке, кг	10	135	80	—
Источник питания	ПСМ-1000	ТШС-3000-3	ПСМ-1000	ТШС-1000-3
Напряжение при ЭШС, В	—	36—60	45—60	45—60
Скорость вращения изделия, м/ч	—	—	—	—
Наружный диаметр изделия, мм	—	—	—	—
Количество электродных проволок	1	3	1	2
Скорость возвратно-поступательного движения, м/ч	—	20—60	—	45
Скорость сварки, м/ч	—	0,4—9	1—5	0,75—7,5

* В числителе для ШЭ, в знаменателе — ШП.

** В числителе для дуговой сварки, в знаменателе — ШЭ.

Примечания: 1. В автомате А-1027 используют порошковую сварочную ванну используют углекислый газ, расход газа 10—15 л/мин.
2. В автомате А-372Р скорость подачи пластинчатого электрода

Продолжение табл 87

Автомат для прямолинейных стыков ШЭ и дуговой сварки А-820М	Автомат для прямолинейных стыков А-305М	Автомат для прямолинейных стыков длиной до 13 м А-340М	Автомат для стыковых и угловых соединений А-501М	Автомат для прямолинейных стыков А-612
$\frac{14-20^{**}}{18-50}$	20—58	40—150	До 100	20—100
2,5—3	3—5	3	3	3
58—580	56—360	180—300	96—300	129—444
700	800	—	750	—
—	—	900	—	1000
220—440	380	380	220, 380	380
—	25	125	8	—
ПСМ-1000	ПСМ-1000	ТШС-1000-3	ПСМ-1000	ТШС-1000-1
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—
12	1	1	1	1
—	—	20—30	—	—
—	1,1—8	1—4	1—9	0,4—4

электродную проволоку диаметром 2,5—3,2 мм. Для защиты металлической ванны используют углекислый газ, расход газа 10—15 л/мин.

ползунов, для чего под их контактную плоскость в специальные канавки, изготовленные в теле ползуна, укладывают жгуты из огнестойкого материала (асбест, стекловата) или засыпают твердый флюс, иногда в канавки помещают подпружиненные уплотняющие пластинки.

Схема питания (водоснабжения) формирующих устройств должна обеспечивать исключение аварийных ситуаций (отсутствие воды). При выборе места размещения установки электрошлаковой сварки необходимо предусмотреть удобство подвода воды для охлаждения. Целесообразно при условии плохого водоснабжения (частое внезапное прекращение подачи воды) предусмотреть аварийный запас воды. При неожиданном кратковременном прекращении подачи охлаждающей жидкости можно, не прекращая процесса сварки, для устранения перегрева ползунов производить их сброс сжатым воздухом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Электрошлаковая сварка Под ред Б. Е. Патона Киев—М, Машгиз, 1959, с 1—410
- 2 Латаш Ю. В., Медвар Б. И Электрошлаковый переплав М, «Металлургия», 1970, с 17—75
- 3 Руководящие материалы по проектированию, изготовлению изделий в электрошлаковом варианте Свердловск, Уралмашзавод, 1970, с 88—104
- 4 Руководящие материалы ВПИИ Тяжелого машиностроения М, 1959, с 3—267

ГЛАВА 8

ДУГОВАЯ СВАРКА В СРЕДЕ ЗАЩИТНЫХ ГАЗОВ

Газ, который специально подают в зону сварки, защищает переплавляемый дугой присадочный и основной металл от воздействия воздуха. Классификация способов дуговой сварки в среде защитных газов приведена на рис. 108.

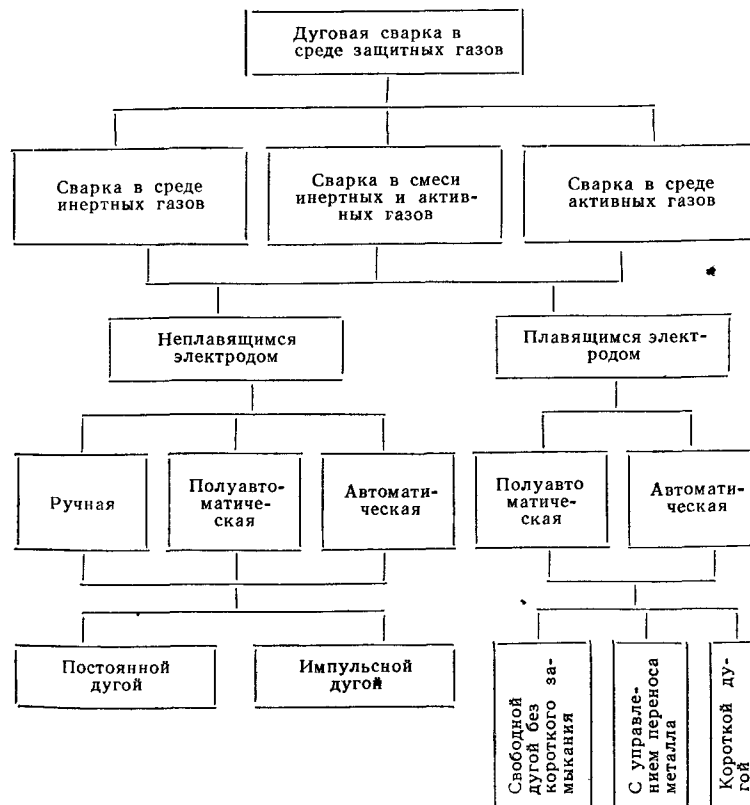


Рис. 108. Классификация способов электрической дуговой сварки в защитных газах

Для защиты зоны сварки используют различные газы, которые можно разделить на две группы: активные газы, растворяющиеся в металлах или реагирующие с тем или иным металлом (водород, углекислый газ, азот); инертные газы (гелий и аргон).

Сварку в среде защитных газов выполняют в трех вариантах: дугой косвенного действия (или независимой дугой) двумя неплавящимися электродами, дугой прямого действия неплавящимся электродом и дугой прямого действия плавящимся электродом. Схема газозлектрического способа сварки приведена на рис. 109.

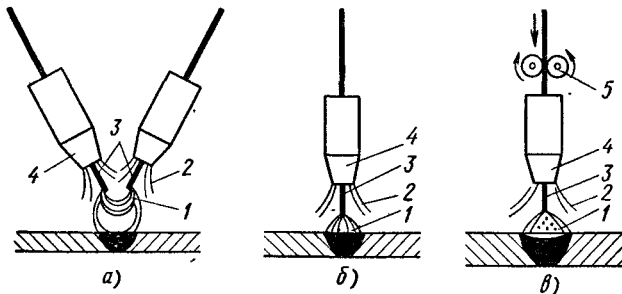


Рис. 109. Схема газозлектрического способа дуговой сварки: а — дугой косвенного действия; б — дугой прямого действия неплавящимся электродом; в — дугой прямого действия плавящимся электродом; 1 — электрическая дуга; 2 — защитный газ; 3 — электрод; 4 — газовое сопло; 5 — подающие ролики

При сварке неплавящимся электродом электрическая дуга может быть постоянная по мощности и пульсирующая. По концентрации дуги в пространстве и изоляции от окружающего воздуха дуга может быть свободной сжатой и закрытой сжатой.

При сварке плавящимся электродом можно выделить три разновидности сварки: без замыкания дугового пространства, с управляемым переносом металла (импульсно-дуговая сварка) и сварка с замыканием дугового пространства (сварка короткой дугой).

Сварка плавящимся электродом ограничена минимальной толщиной 0,8—1,0 мм. Сварка неплавящимся электродом рациональна для металла толщиной меньше 2—3 мм.

АЗОТНО-ДУГОВАЯ СВАРКА

Электрическая дуга, являющаяся источником тепла, горит между концом неплавящегося вольфрамового электрода и изделием, а в зону сварки подается азот. Струя азота защищает расплавленный металл от воздействия кислорода воздуха, предупреждая окисление шва. Азот является инертным газом по отношению к меди, поэтому азотно-дуговую сварку применяют лишь для сварки меди и медных сплавов (латуней и бронз).

Для сварки применяют азот чистотой 99—99,5%, обязательно очищенный от кислорода и следов влаги. Сварку ведут на постоянном токе прямой полярности, напряжение на дуге 22—32 В.

Обычно вольфрамовые электроды при данном способе сварки не применяют, так как нитриды вольфрама, образующиеся на поверхности электрода при горении дуги, легкоплавки, что увеличивает расход электродов. Во избежание этого пользуются торированными вольфрамовыми электродами, содержащими 1% окиси тория. Азотно-дуговую сварку меди выполняют с применением присадочной проволоки из меди марки М1, на которую наносят тонкое покрытие из раскислителей в виде смесей из древесного угля, феррофосфора, алюминиевого порошка, ферросилиция и ферромарганца.

ДУГОВАЯ СВАРКА В СРЕДЕ АРГОНА И ЕГО СМЕСЯХ С АКТИВНЫМИ ГАЗАМИ

Различают два варианта аргоно-дуговой сварки: неплавящимся вольфрамовым электродом; дуга, горящая между вольфрамовым электродом и изделием, расплавляет присадочный и основной металл; при сварке соединений с отбортованными кромками присадочный материал не применяют; схема аргоно-дуговой сварки вольфрамовым электродом показана на рис. 110; плавящимся электродом; в этом случае дуга горит между деталью и концом сварочной проволоки (электродом), которая непрерывно подается в зону дуги

Аргоно-дуговую сварку применяют при изготовлении конструкций из нержавеющей и жаропрочных сталей, цветных металлов (алюминий, медь, магний, титан, цирконий, тантал, ниобий) и их сплавов. Этим способом сваривают и разнородные сплавы, как, например 30ХГС, с нержавеющей или жаропрочной сталью, медь с латунью или со сталью и т. п.

Смесь аргона с водородом (аргона 90% и водорода 10%) нашла применение при сварке вольфрамовым электродом тонкого металла, как обеспечивающая минимальное выгорание легирующих элементов, получение швов с равномерным формированием и чистой поверхностью, а также получения суженной зоны термического влияния, уменьшенных остаточных деформаций после сварки, уменьшенной разупрочненной зоны основного металла и более высокой скорости сварки по сравнению со сваркой в аргоне.

Смесь аргона с азотом (аргона 92% и азота 8%) обеспечивает удовлетворительные свойства сварного соединения на сталях типа Х18Н9Т толщиной 2 и 4 мм при односторонней сварке. Сварные соединения, сваренные в аргоно-азотной смеси, содержащей 10—12% азота, выдерживают испытание на межкристаллитную коррозию без предварительной

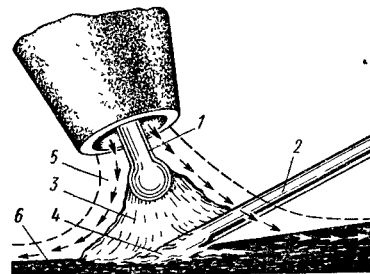


Рис. 110. Схема аргоно-дуговой электрической сварки неплавящимся вольфрамовым электродом: 1 — вольфрамовый электрод; 2 — присадочный пруток; 3 — электрическая дуга; 4 — сварочная ванна; 5 — струя газа; 6 — основной металл

термообработки, а сварные соединения с предварительной термообработкой при 650°C в течение 2 ч подвержены межкристаллитной коррозии.

Смесь аргона с кислородом (аргона 95—97% и кислорода 3—5%) применяют для сварки тонкого металла плавящимся электродом, при этом повышается стабильность дуги, увеличивается жидкотекучесть сварочной ванны, улучшается сплавление металла и представляется возможным увеличивать скорость сварки по сравнению со сваркой в аргоне.

Смесь аргона с углекислым газом (аргона 95% и углекислого газа 5%) применяют для сварки тонкого металла (не более 6 мм) из стали типа 30ХГСА и типа Х18Н9Т, при этом достигается минимальное разбрызгивание, оптимальная плотность и прочность швов. Швы, сваренные в смеси аргона и углекислого газа, после термообработки их при 650°C в течение 2 ч склонные к межкристаллитной коррозии.

При сварке металла толщиной свыше 6 мм и увеличении силы тока содержание углекислого газа допускается повышать без видимого ухудшения чистоты поверхности шва.

Смесь аргона, кислорода, углекислого газа и азота (аргона 88—91%, кислорода 5—6%, углекислого газа 4—6% и азота 0,1—0,3%) может быть применена для дуговой сварки плавящимся электродом диаметром 0,8 мм металлов толщиной 0,63—1,25 мм, при этом значительно расширяется область оптимальных режимов сварки.

Поскольку сварка малоуглеродистых и низколегированных сталей вольфрамовыми электродами в среде аргона не обеспечивает плотных швов, а сварка с защитной углекислотой исключена, так как вольфрам при этом разрушается, то сварка названных сталей может быть выполнена качественно газозлектрической горелкой с двойной защитой. У названной горелки предусмотрено два сопла с концентрическим расположением одного относительно другого. Для защиты вольфрамового электрода через внутреннее сопло горелки подается аргон, через внешнее сопло подается углекислый газ для защиты жидкого металла ванны от влияния воздуха. Сварка горелкой с комбинированной защитой может быть применена для малоуглеродистых, низколегированных и некоторых нержавеющей сталей толщиной не более 6 мм и соотношением подачи газов от 1:4 до 1:3, при этом сварные швы получают оптимальной плотности и прочности, а расход аргона сокращается в 3—4 раза.

Оборудование. Аргано-дуговую сварку вольфрамовым электродом выполняют на постоянном токе прямой полярности или на переменном токе. Схема установки для сварки вольфрамовым электродом на постоянном токе приведена на рис. 111.

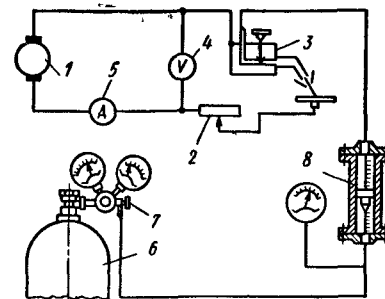
В качестве источников питания дуги постоянного тока применяют обычные сварочные генераторы. Балластный реостат РБ-200 или РБ-300 подключают в сварочную цепь для регулирования и получения низких значений силы тока (при использовании генератора повышенной мощности), также для обеспечения устойчивости горения дуги.

Схема поста для сварки вольфрамовым электродом на переменном токе показана на рис. 112. Осциллятор в схеме применен для облегчения возбуждения дуги и улучшения ее устойчивости. Во многих случаях аргано-дуговую сварку вольфрамовым электродом на переменном токе выполняют при повышенном напряжении холостого хода (130—200 В),

которое обеспечивает хорошее горение дуги и улучшение качества шва. При питании дуги от трансформатора с повышенным напряжением холостого хода применение осциллятора обеспечивает безопасность выполнения сварки.

Рис. 111. Схема установки для аргано-дуговой электрической сварки неплавящимся вольфрамовым электродом на постоянном токе:

1 — сварочный генератор постоянного тока; 2 — балластный реостат; 3 — газозлектрическая горелка; 4 — вольтметр; 5 — амперметр; 6 — баллон с газом; 7 — редуктор; 8 — расходомер газа



Аргано-дуговую сварку плавящимся электродом в большинстве случаев ведут на постоянном токе обратной полярности. В качестве источников питания дуги могут быть применены те же генераторы, что и для постов сварки вольфрамовым электродом на постоянном токе.

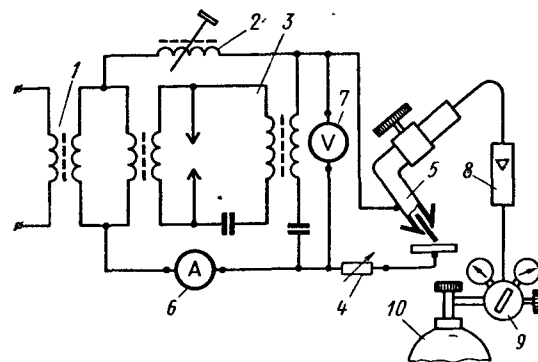


Рис. 112. Схема установки для аргано-дуговой электрической сварки неплавящимся вольфрамовым электродом на переменном токе:

1 — сварочный трансформатор; 2 — индуктивный регулятор сварочного тока; 3 — осциллятор; 4 — балластный реостат; 5 — газозлектрическая горелка; 6 — амперметр; 7 — вольтметр; 8 — расходомер газа; 9 — редуктор; 10 — баллон с газом

Газозлектрические горелки для ручной сварки выпускают трех типов: малая, средняя, большая с водяным охлаждением.

Универсальная горелка для сварки электродами диаметром 1,5—8 мм включительно с водяным охлаждением показана на рис. 113.

Характеристика некоторых горелок приведена в табл. 88.

Специальные автоматы для дуговой сварки в защитной инертной среде представляют собой станки с головками, каретками, несущими головки и устройствами для установки и крепления свариваемых изделий, а также для их перемещения. Техническая характеристика

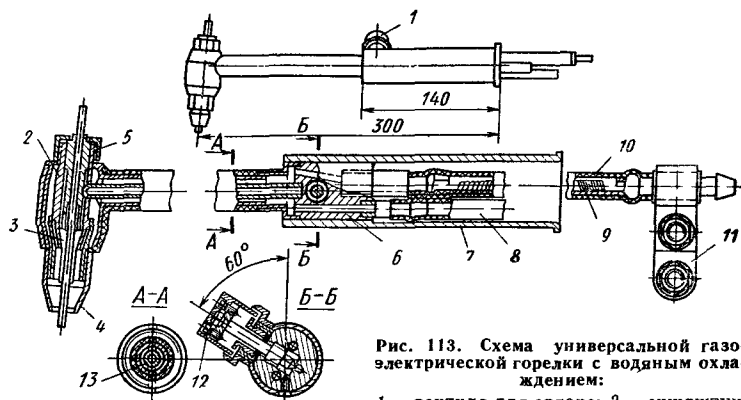


Рис. 113. Схема универсальной газо-электрической горелки с водяным охлаждением:

1 — вентили для аргона; 2 — мундштук; 3 — цапга для закрепления электрода; 4 — сопло; 5 — гайки; 6 — корпус горелки; 7 и 12 — изолирующие оболочки горелки; 8 и 10 — резиновый рукав для воды; 9 — сварочный провод, охлаждаемый водой; 11 — скоба для присоединения сварочного провода; 13 — ребра, разделяющие трубу на две части при подводе холодной воды и отводе горячей воды

дуговых автоматов для аргоно-дуговой сварки неплавящимся электродом и оборудование для сварки плавящимся электродом в аргоне и углекислом газе приведена в табл. 89 и 90.

Материалы. Технический аргон применяют для сварки черных металлов, чистый — для сварки алюминия, магния, титана. Характеристики газов приведены в табл. 91.

88. Горелки для сварки неплавящимся электродом

Тип горелки	Допускаемая сила тока, А	Диаметр электрода, мм	Масса горелки без провода, кг	Охлаждение
ЭЗР-3-58	100	2; 3; 4	0,68	Без охлаждения
ГРАД-200	250	2—4	0,2	
ГРАД-400	400	3—6	0,4	
ГРАД-3	450	1,5; 2,2; 3, 4, 6	0,86	Водяное
АР-10 (малая)	120	1; 3	0,35	
АР-10 (средняя)	200	2—4	0,40	
АР-10 (большая)	400	3—8	0,50	
АР-7Б	450	До 7	0,5	
АР 9	350	3—6	0,45	

89. Дуговые автоматы для аргоно-дуговой сварки неплавящимся электродом

Тип	Наименование и назначение	Напряжение сети, В	Диаметр электрода, мм	Диаметр присоединяемой проволоки, мм	Род сварочного тока	Номинальная сила тока, А	Толщина свариваемого материала, мм
УДАР-300	Ручная сварка алюминия и алюминиевых сплавов. Возможна сварка нержавеющей стали. То же, а также может быть использован для сварки специальных сталей. Автоматическая сварка неповоротных стыков труб из нержавеющей стали диаметром 8—26 мм. Автоматическая сварка	220, 380	2—6	—	Переменный	300	1,0—12,0
УДАР-500		220, 380	2—10	—	Переменный	500	≥ 1,5
АГН-8-26М		—	1,5—2	1—2,5	Постоянный и переменный	100 400	0,5—2,0 ≥ 0,8
АГВ-2		220, 380	2—6	1,6—2,5	Переменный	300	≥ 2
АДНГ-300		Автомат с подачей проволоки в зону горения дуги	220, 380	2—6	1,6—2,5	Переменный	300
АТВ	Автомат для сварки неповоротных стыков труб из нержавеющей стали с подачей проволоки в зону дуги	220, 380	1—3	1—2	Постоянный	250	≥ 0,8
АДСВ-1М	Автомат для сварки металла малой толщины	220, 380	1—5	1,0—2,5	Переменный	400	0,8—6,0

90. Дуговые автоматы и полуавтоматы для автоматической и полуавтоматической сварки плавящимся электродом в среде защитных газов

Тип	Назначение	Напряже- ние сети, В	Диаметр электрод- ной про- волоки, мм	Скорость подачи прово- локи, м/мин	Расход защитного газа, л/ч	Род сварочного тока	Номи- нальная сила сва- рочного тока, А
A-765	Полуавтоматическая сварка в углекислом газе	380	1,6—2,0	1,0—10	1000—1500	Постоянный	450
ПДПГ-300	Полуавтоматическая сварка в защитных газах		0,8—2,0	1,5—16	600—1500		500
АДПГ-500	Автоматическая сварка в защитных газах	220, 380	0,8—2,5	1,5—16	600—1500	»	500
ПГШ-3 *1	Полуавтоматическая сварка в углекислом газе		1,6—2	3—8	1000—1500		500
A-547P	Полуавтоматическая сварка в углекислом газе	220, 380	0,8—1,0	1,6—4,1	360—480	»	200
A-547У	Полуавтоматическая сварка в углекислом газе		0,8—1,2	1,6—4,1	360—480		300
ПДША-500	Полуавтоматическая сварка алюминия в аргоне	380	1,6—2,5	—	300—1000	»	500
ПШПА-10	Полуавтоматическая сварка алюминия и сталей в аргоне		1,0—2,0	2,5—10,8	300—600		300
A-537У ** A-537P **	Полуавтоматическая сварка в углекислом газе	220, 380	1,6—2,0	1,3—10	480—720	»	500
ПШПА-11	Полуавтоматическая сварка алюминия и сталей в аргоне		1,6—2,5	1,7—11,7	300—800		300
АРД-400-2	Автоматическая сварка алюминия и нержавеющей сталей в аргоне	220	1,0—3,0	1,3—24,6	—	»	400

Продолжение табл. 90

Тип	Назначение	Напряже- ние сети, В	Диаметр электрод- ной про- волоки, мм	Скорость подачи прово- локи, м/мин	Расход защитного газа, л/ч	Род сварочного тока	Номи- нальная сила сва- рочного тока, А
АРК-2	Автоматическая сварка алюминия и нержавеющей сталей плавящимся и не- плавящимся электродом	220, 380	1,0—2,5	0,125—13,4	600—1500	Переменный Постоянный	400 500
АДМТ-100	Автоматическая сварка металлов малых толщин в аргоне и углекислом газе		0,2—0,5	2,5—60	—		130
АДСП-2	Автоматическая сварка алюминия и его сплавов в аргоне	380	1,0—2,5	1,6—13,3	—	»	400
АМС-1	Автоматическая сварка сталей и легких сплавов в аргоне		1,0—2,0	2,5—25	—		300
ЭЗТ-5	Автоматическая сварка сталей с толщиной верх- него листа 0,5—6 мм элек- тродозаклепками в среде уг- лекислого газа без свер- ления	380	1,6—2,0	3,3—15,6	—	»	100—600

*1 Газоэлектрическая горелка с водяным охлаждением токоподводящего кабеля и сопла рассчитана на силу тока до 500 А, а горелка с газовым охлаждением — на силу тока до 350 А.

*2 А-537У комплектуется двумя токоподводами: неохлаждаемым для сварки на силе тока до 300 А и охлаждаемым для сварки на силе тока 300—500 А. Начало сварки и пуск электродвигателя для подачи проволоки осуществляют закорачиванием электрода на изделие.

*3 А-537P комплектуется неохлаждаемым токоподводом для сварки на силе тока до 500 А, начало сварки и пуск электродвигателя производят выключателем на рукоятке держателя.

91. Газы, применяемые для газозащитной сварки

Наименование газа	Химическое обозначение	Содержание примесей, %				Объемное содержание чистого газа, не менее	ГОСТ или технические условия	Рабочее давление в баллоне, кгс/см ²	Состояние газа в баллоне	Окраска баллонов
		Азот	Кислород		Прочие газы					
			Углекислый газ	не более						
Аргон: чистый марки А чистый марки Б чистый марки В	Ar	0,01	0,003	—	—	99,99	ГОСТ 10157—73	150±5	Газообразный	Черный с белым верхом и черной надписью «Аргон чистый»
		0,04	0,005	—	—	99,96				
		0,10	0,005	—	—	99,90				
Аргон технический		12—16	0,4	0,3	—	83,3	ТУ МХП 4196—54		Газообразный	Черный с белой горизонтальной полосой и синей надписью «Аргон технический»
Гелий: технический I технический II	He	0,3—0,4	Следы	—	—	99,6—99,7	ВТУ МХП 0446—54	150±5		Коричневый без надписей
		0,5—1,5	—	—	Следы	98,5—99,5				

Продолжение табл. 91

Наименование газа	Химическое обозначение	Содержание примесей, %				Объемное содержание чистого газа, не менее	ГОСТ или технические условия	Рабочее давление в баллоне, кгс/см ²	Состояние газа в баллоне	Окраска баллонов
		Азот	Кислород		Прочие газы					
			Углекислый газ	не более						
Азот: технический 1-й сорт технический 2-й сорт	N ₂	—	0,5	—	—	99,5	ГОСТ 9293—59 *	150±5	Газообразный	Черный с перечной порочивной полосой и желтой надписью «Азот»
		—	1,0	—	—	99,0				
Водород: технический, полученный электролизом воды технический, полученный электролизом растворов	H ₂	—	0,5	—	—	99,5	ГОСТ 3022—70	150±5		Темно-зеленый с красной надписью «Водород»
		—	0,5	—	1,5	98,0				
Углекислый газ: пищевой сварочный 1-й сорт сварочный 2-й сорт	CO ₂	0,70	0,8	—	0,05	98,5	ГОСТ 8050—64 ***	75	Жидкий	Черный с желтой надписью «Углекислота»
		Содержание водяных паров 0,178		Содержание водяных паров 0,515		99,5				

В качестве неплавящихся электродов для ручной и автоматической дуговой сварки на постоянном токе применяют обычно вольфрамовые прутки диаметром 0,8—8 мм по ТУ ВМ2-529—57, лантанированные вольфрамовые прутки по ВТУ ВЛ № 24-5—62, а также прутки из торированного вольфрама по нормам НИО-021-612 и итрированного вольфрама, при сварке на переменном токе — чистые вольфрамовые прутки по ТУ ВМ2-529—57.

Расход вольфрамового электрода при сварке незначителен и составляет 0,04—0,07 г на 1 м шва.

Режимы сварки. В табл. 92 рекомендован выбор защитного газа, а в табл. 93—97 даны режимы аргоно-дуговой сварки различных материалов.

92. Состав защитных газов для сварки различных металлов

Свариваемый металл	Толщина, мм	Защитный газ	
		при вольфрамовом электроде	при плавящемся электроде
Низкоуглеродистая сталь	≤2	Комбинированная защита Ag+CO ₂	1. CO ₂ 2. 90% Ag + 10% CO ₂ 3. Ag технический
	>2	—	CO ₂
Низко- и среднелегированные стали	≤3	1. Комбинированная защита Ag + CO ₂ 2. Ag марки В	1. CO ₂ 2. 90% Ag + 10% CO ₂ 3. Ag технический
	>3	—	1. CO ₂ 2. Ag технический
Нержавеющие хромоникелевые высоколегированные стали	≤3	1. Ag марки В 2. He 2. Комбинированная защита Ag + CO ₂	1. Ag марки 2. He 4. Ag технический 4. CO ₂ 5. 90% Ag + 10% CO ₂
	>3	—	1. Ag марки В 2. He 3. Ag технический 4. CO ₂
Жаропрочные хромоникелевые сплавы	Любая	1. Ag марки В 2. He	1. Ag марки В 2. He

Продолжение табл. 92

Свариваемый металл	Толщина, мм	Защитный газ	
		при вольфрамовом электроде	при плавящемся электроде
Алюминий и его сплавы	≤10	Ag марки Б	Ag марки Б
	>10	—	1. Ag марок Б и В 2. 40% Ag + 60% He
Магнелиевые сплавы	Любая	1. Ag марки Б 2. He	Ag марки Б
Титан и его сплавы	Любая	Ag марки А	Ag марки А
Цирконий, молибден, титан и другие активные металлы	Любая	Ag марки А	Ag марки А

Примечание. Аргон А, Б, В соответствует ГОСТ 10157—73.

93. Режимы автоматической сварки стыковых соединений алюминиевых сплавов плавящимся электродом (газ—аргон)

Подготовка кромок	Толщина основного металла, мм	Сила тока, А	Скорость сварки, м/ч	Диаметр электродной проволоки, мм	Число слоев	Расход газа, л/мин
Без разделки	4	140—200	20—36	1,6—2	1	8—9
	6					9—11
С V-образной разделкой	8	200—290	20—30	2—2,5	2	11—13
	10	200—320	20—25	2—3	2—3	13—15
	15	290—275	18—22			15—17
С V-образной или X-образной разделкой	20	290—390	15—21	2—3	3—4	15—17
	>20	300—420	9—18			

Примечания: 1. При двухдуговой сварке силу тока удваивать.
2. Заготовки толщиной 8—10 мм при двухдуговой сварке сваривать за один проход.
3. Двухдуговую сварку изделий толщиной до 10 мм допускается производить без разделки кромок.

94. Режим механизированной аргоно-дуговой сварки нержавеющей стали плавящимся электродом в различных пространственных положениях

Толщина стали, мм	Положение шва в пространстве	Подготовка под сварку			Режим сварки				
		Угол разделки, градусы	Притупленные, мм	Зазор, мм	Диаметр сварочной проволоки, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Вылет электрода, мм
2	Нижнее Горизонтальное Вертикальное Потолочное	Без разделки	—	0,2—1,0	1,0; 0,8	200—210	22—24	70	10
				0,6—1,0			22—24	90	
				1,0—1,3			20—24	90	
				0,1—0,4			22—24	90	
3	Нижнее Горизонтальное Вертикальное Потолочное	Без разделки	—	0,7—1,0	1,0; 0,8	200—230	22—24	55	12
				0,9—1,0		200—210	20—22	60	
		30	≤0,2	0,6—0,8		185—180	20—22	90	10
		Без разделки	—	0,2—0,4		210—220	22—24	63	
5	Нижнее Вертикальное	50	0,3—0,6	≤0,3	1,0; 0,8	260—270	25—27	47	12
						210—220	25—27	55	10
	Вертикальное Потолочное (сварка на подъем)	30	≤0,2	0,6—0,8		170—180	21—23	36	8
						Горизонтальное Потолочное	40	0,3—0,6	0,8—1,2
	40	≤0,2	≤0,2	220—230					

Примечания: 1. Расход аргона 1,5 л/мин во всех случаях.
2. Сварка вертикальных швов (кроме оговоренного случая) производится на спуск

95. Режимы механизированной аргоно-дуговой сварки неплавящимся (вольфрамовым) электродом стыковых соединений титана и его сплавов с подачей присадочного материала

Толщина материала, мм	Диаметр вольфрамового электрода, мм	Диаметр присадочной проволоки, мм	Сила сварочного тока, А	Скорость сварки, м/ч	Установочная длина на дуги, мм	Расход аргона, л/мин			Число проходов
						для защиты дуги	для защиты остывающего шва	для защиты обратной стороны	
1,0	1,5—2,0	1,5	80—120	25—40	1,5—1,7	5—8	3—5	2—3	1
1,2			100—140		1,7—2,0				
1,5	140—180		2,0—2,2						
2,0	180—200			7—10					
3,0	2,5—3,0	1,5—2,0	200—260	15—20	—	10—12		2	
4,0									8
10,0									

96. Режимы ручной аргоно-дуговой сварки магниевых сплавов МА1 и МА8 вольфрамовым электродом

Толщина металла, мм	Встык с присадкой			Внахлестку с проплавлением			Встык без присадки		
	Сила сварочного тока, А	Диаметр электрода, мм	Расход аргона, л/мин	Сила сварочного тока, А	Диаметр электрода, мм	Расход аргона, л/мин	Сила сварочного тока, А	Диаметр электрода, мм	Расход аргона, л/мин
1,0	85—90	2,0	6—8	70—75	2—3	7—9	—	—	—
1,2									
1,5	105—110						95—100	3,0	10
2,0	130—140	3,0	9—12						
5,0	220—240	4,0	20—25						
6,0	250—260		25—30						

97. Режимы аргоно-дуговой сварки (встык) циркония, тантала и ниобия

Вид сварки	Толщина металла, мм	Диаметр присадочной проволоки, мм	Диаметр вольфрамового электрода, мм	Длина дуги, мм	Режимы сварки			
					Сила сварочного тока, А	Скорость сварки, м/ч	Расход газа в горелку, л/мин	Расход газа для защиты обратной стороны, л/мин
Ручная с присадкой на медной подкладке	1,5	1,2	3	—	50	—	7,5	2,3
	2,0 3,0	2,0 2,0			60 100			
Автоматическая без присадки, с передвижной микрокамерой на медной подкладке	0,3	—	1,6	1,0	40—50	30—32	5,6	2,3
	0,5		2,0	1,2	60—80		6,5	
	0,7	—		1,5	80—100		7,5	
	1,0		80—120					
	1,5	100—160						
	2,0	160—190						
Автоматическая, без присадки, в камере, наполненной аргоном, без подкладки	1,0	—	2,0	1,2	70—100 100—130 140—160	30—35	В камере избыточное давление аргона 0,1 ат	—
	1,5			1,5				
	2,0	3,0						

Примечание. Общая защита инертными газами в герметической камере, в которой создается вакуум до 10^{-4} мм рт. ст., а затем производится наполнение гелием или аргоном до атмосферного давления, является лучшей защитой шва и околошовной зоны от насыщения металла газами.

ДУГОВАЯ СВАРКА В УГЛЕКИСЛОМ ГАЗЕ

Сущность способа состоит в следующем: голая электродная проволока диаметром 0,5—2 мм подается с постоянной скоростью в зону сварки. Одновременно в зону сварки поступает углекислый газ, который защищает переплавляемый электродный и основной металл от окружающего воздуха. Окислительное действие углекислого газа на расплавленный металл компенсируется повышенным содержанием в электродной проволоке элементов раскислителей (марганца, кремния и др.).

Оборудование. Сварка плавящимся электродом в среде углекислого газа выполняется автоматами и полуавтоматами. Наибольшее распространение в промышленности нашли полуавтоматы. Полуавтомат А-537 показан на рис. 114.

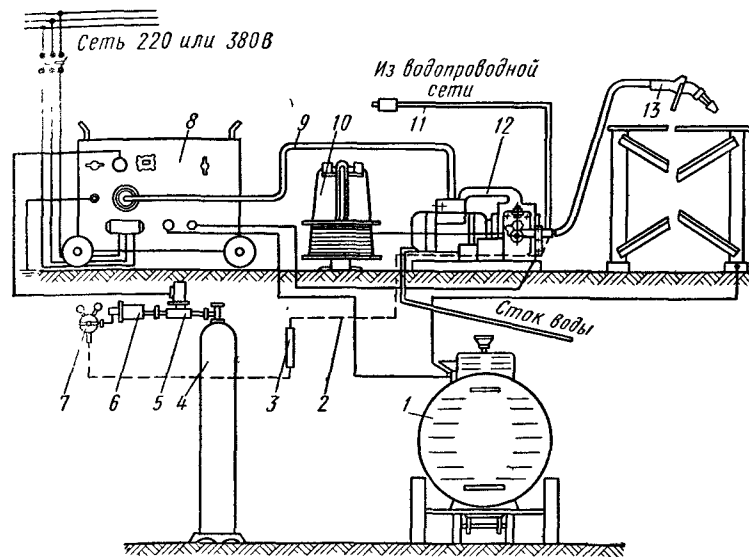


Рис. 114. Схема поста А-537 для полуавтоматической сварки в углекислом газе проволокой диаметром 1,6—2 мм:

1 — источник сварочного тока; 2 — резиновая трубка (шланг) для подвода углекислого газа в горелку; 3 — расходомер газа; 4 — баллон с жидкой углекислотой; 5 — подогреватель газа; 6 — предредукторный осушитель; 7 — газовый редуктор; 8 — шкаф управления; 9 — спецпровод с проводами управления; 10 — катушка с проволокой; 11 — резиновая трубка (шланг) для подвода охлаждающей воды; 12 — подающий механизм полуавтомата; 13 — газозлектрическая горелка с принудительным охлаждением водой

Для сварки в среде углекислого газа применяют следующие источники постоянного тока:

преобразователи ПСО-300, ПС-500-3, ПС-500, ПСМ-1000, предназначенные для питания сварочной дуги при ручной дуговой сварке и сварке под флюсом;

сварочные преобразователи ПСГ-350, ПСГ-500 и ПСУ-500, специально разработанные (с жесткой вольт-амперной характеристикой) для сварки в защитных газах, в том числе в углекислом газе;

генераторы, обычно используемые не для целей сварки, но характеристика которых позволяет использовать их для сварки в среде углекислого газа (зарядные агрегаты АЗД, ЗП и генераторы ГСР);

выпрямители селеновые ВС-200, ВС-400, ВС-600, специально разработанные для автоматической и полуавтоматической сварки и в том числе для сварки в углекислом газе.

Горелки для полуавтоматической и автоматической сварки разделяют на горелки для сварки на малых силах тока (250—300 А) без водяного охлаждения и горелки для сварки на больших силах тока (свыше 300 А) с водяным охлаждением.

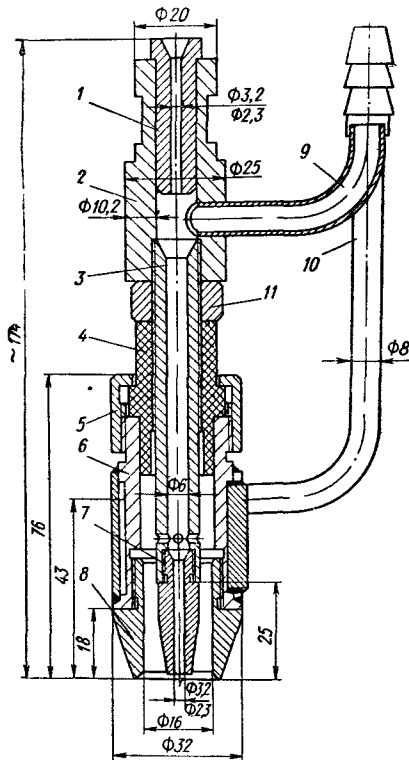


Рис. 115. Газоэлектрическая горелка для автоматической сварки в среде углекислого газа с принудительным водяным охлаждением:

1 — вставка стальная сменная; 2 — втулка бронзовая; 3 — трубка токоподводящая; 4 — втулка изоляционная; 5 — гайка накидная; 6 — корпус горелки; 7 — мундштук токоподводящий; 8 — сопло; 9 — трубка для подвода защитного газа; 10 — трубка для подвода охлаждающей воды в горелку; 11 — гайка специальная

Материалы. Углекислый газ или углекислота (CO_2) — бесцветный газ с едва ощутимым запахом; при растворении в воде придает ей слабый кислотный вкус. При 0°C и давлении 760 мм рт. ст. плотность 1,97686 г/л, плотность по отношению к воздуху 1,524.

Институтом электросварки имени Е. О. Патона и ЦНИИТМАШем к полуавтоматическим постам газозэлектрической сварки спроектированы рукава для одновременной подачи тока 500—600 А и охлаждающей воды и рукава обычного исполнения (без принудительного охлаждения) для силы тока до 300 А.

Газозэлектрические горелки для автоматической и полуавтоматической сварки в среде углекислого газа показаны на рис. 115 и 116.

Для сварки тонкого металла применяют полуавтомат А-547Р, предназначенный для сварки металла толщиной до 3 мм и угловых соединений при катетах шва до 4 мм. Сварку можно выполнить во всех пространственных положениях электродной проволокой диаметром 0,8—1,0 мм постоянным током обратной полярности. Общий вид полуавтомата А-547Р показан на рис. 117.

Автоматическую сварку в углекислом газе можно выполнять специальными автоматами (см. табл. 90), а также сварочными тракторами ТС-17М, АДС-1000-2 после комплектования их специальными приставками (конструкции приставок разработаны в Институте электросварки и в ЦНИИТМАШе).

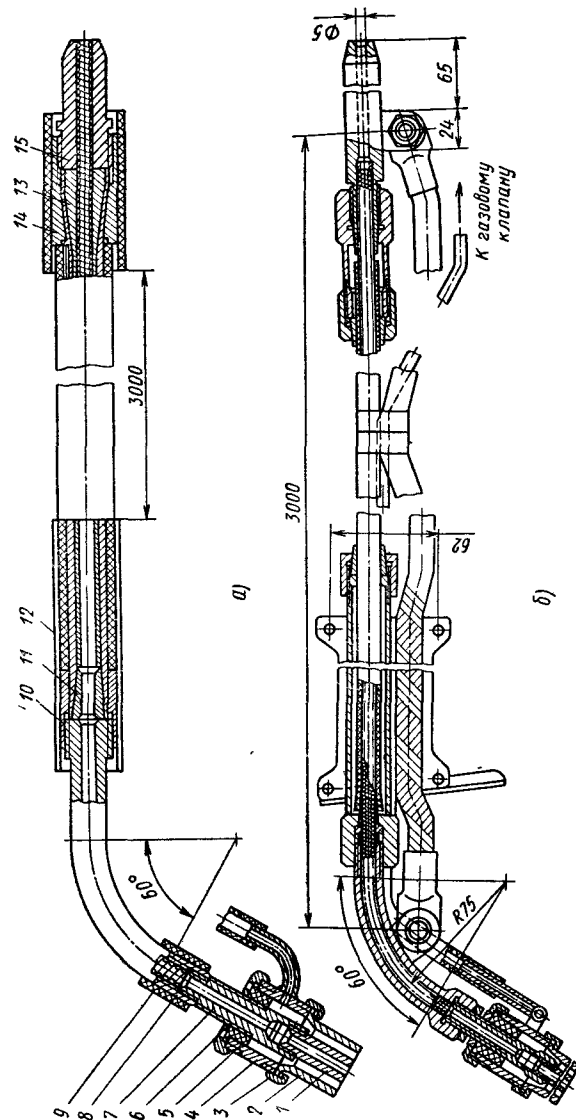


Рис. 116. Газозэлектрические горелки:

а — с гибким шлангом КШПЭ—1Х75; $3 \times 1,5 \text{ мм}^2$; б — с направляющим каналом НК—4,7 мм и отдельным сварочным кабелем ПРПН-70 для полуавтоматической сварки в среде углекислого газа проволокой диаметром 1,0—2 мм приконтинентально к подающим механизмам ПШ-5, ПШ-54; 1 — наконечник; 2 — сопло; 3, 6 — гайки; 4 — патрубок; 5 — втулка изоляционная; 7 — переходная трубка; 8 — мундштук; 9 — соединительная муфта; 10 — соединительный корпус; 11, 13 — изоляционная трубка; 12 — токоподвод; 14 — соединительная муфта большая; 15 — соединительный конус большой

Жидкую углекислоту транспортируют в стальных баллонах или специальных контейнерах. Обычно в стандартный баллон емкостью 40 л заливают 25 кг углекислоты, образующей при испарении 12,725 м³ газа. Для сварки используют сварочную углекислоту 1 и 2-го сорта и в силу необходимости (с условием осушения) пищевую углекислоту по ГОСТ 8050—64 ***.

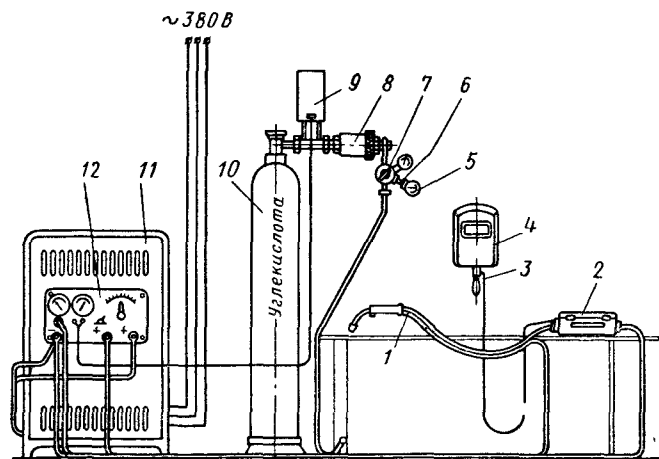


Рис. 117. Схема поста А-547Р для полуавтоматической сварки в среде углекислого газа проволокой диаметром 0,8—1,0 мм:

1 — газозлектрическая горелка; 2 — подающий механизм; 3 — кнопка включения; 4 — щиток для защиты дуги; 5 — ацетиленовый манометр на 6 ат; 6 — переходный штуцер для установки ацетиленового манометра; 7 — редуктор кислородный; 8 — осушитель газа (на случай работы с неосушенной углекислотой); 9 — подогреватель газа; 10 — баллон с жидкой углекислотой; 11 — источник сварочного тока (выпрямитель или генератор); 12 — пульт управления

Электродная проволока для сварки в среде защитных газов плавящимся электродом обеспечивает необходимый состав металла шва только при повышенном содержании в ней элементов раскислителей. Для получения качественных швов при сварке в углекислом газе углеродистых и некоторых низколегированных и легированных сталей применяют проволоку, регламентированную по ГОСТ 2246—70. Сварочную проволоку непосредственно перед использованием тщательно очищают до металлического блеска.

Технология и режим сварки. В среде углекислого газа сварка на постоянном токе обратной полярности дает лучшие результаты по сравнению со сваркой на токе прямой полярности, при которой ухудшаются устойчивость горения дуги и формирование шва, увеличивается разбрызгивание электродного металла. Преимущество сварки на токе прямой полярности — более высокий коэффициент наплавки (в 1,6—1,8 раза больше).

Рекомендуемые величины силы сварочного тока при сварке в углекислом газе приведены в табл. 98, а коэффициенты наплавки и расплавления — для проволоки некоторых диаметров — в табл. 99.

98. Режимы сварки, обеспечивающие удовлетворительную устойчивость процесса сварки и удовлетворительное формирование швов

Диаметр проволоки, мм	Пределы сварочного тока, А	Предел плотности тока, А/мм ²
0,5	25—70	130—350
0,8	70—130	140—260
1,0	100—200	127—250
1,6	150—400	71—199
2,0	200—550	64—175
2,5	300—700	61—150
3,0	400—850	58—120

100. Напряжения на дуге и сила тока при сварке плавящимся электродом в углекислом газе

Диаметр проволоки, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение на дуге, В
1,2	100—150	19—20
	150—200	21—23
	200—250	22—25
	250—300	24—26
2	200—250	25—27
	250—350	27—30
	350—450	30—32
	450—500	32—34

99. Коэффициенты наплавки и расплавления при газозлектрической сварке на обратной полярности

Сила тока, А	Диаметр проволоки, мм				Коэффициент расплавления, г/А·ч
	1,6	2,0	2,5	3	
	Коэффициент наплавки, г/А·ч				
200	14,2	12,2	—	—	—
250	15,1	12,6	—	—	—
300	16,5	13,5	11,1	—	—
350	18,6	14,8	12,4	—	—
400	21,1	16,8	13,9	—	—
450	24,1	19,0	15,6	—	—
500	28,3	22,0	17,8	—	—
550	—	—	20,5	—	—
600	—	—	24,2	—	22,6
650	—	—	—	—	24,1
700	—	—	—	—	25,6
750	—	—	—	—	27,0
800	—	—	—	—	29,8
850	—	—	—	—	32,2
900	—	—	—	—	34,3

Напряжение на дуге и сила тока при сварке плавящимся электродом в углекислом газе приведены в табл. 100.

При полуавтоматической сварке стыковых швов и наплавках на горизонтальные поверхности угол наклона горелки к вертикальной оси принимают 5—15°.

Сварку следует проводить возможно более короткой дугой.

При автоматической сварке углеродистой стали проволокой Св-08ГС изменение угла наклона горелки относительно вертикальной оси 0—30° в ту или другую сторону не влияет на образование пор в швах.

Режимы автоматической сварки в углекислом газе нержавеющей стали приведены в табл. 101.

Схема движения и размеры колебаний газозлектрической горелки при полуавтоматической сварке стыковых швов показаны на рис. 118.

Для предупреждения образования трещин целесообразно первые слои сваривать на пониженной силе тока. Сварочную горелку следует перемещать непрерывно, так как в случае неподвижного положения дуги на поверхности сварочной ванны увеличивается разбрызгивание и возможно образование пор в швах. Перед сваркой следует открыть вентиль баллона, отрегулировать расход углекислого газа, подождать 20—30 с, пока воздух будет полностью вытеснен из рукавов горелки

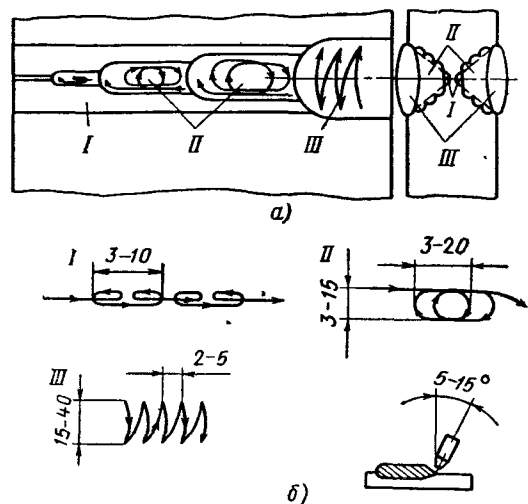


Рис. 118. Траектория движения и размеры колебаний горелки при сварке встык в углекислом газе при наклоне горелки относительно вертикальной оси 5—15°:

а — траектория движения горелки при наложении первого слоя (I), второго слоя (II), верхнего слоя (III); б — ориентировочные размеры колебаний горелки при наложении первого слоя (I), второго слоя (II), верхнего слоя (III)

Удовлетворительное формирование однопроходных угловых швов с катетом 7—8 мм может быть получено при сварке на силе тока 300—350 А. Швы с катетом более 7—8 мм сваривают в несколько проходов. Положение и траектория движения горелки при полуавтоматической сварке угловых швов показаны на рис. 119.

При автоматической сварке угловые швы удовлетворительно формируются при силе тока 420 А. Положение горелки при автоматической сварке угловых швов показано на рис. 120.

Сварку низкоуглеродистых конструкционных сталей толщиной 0,3—2 мм рационально выполнять неплавящимся угольным электродом, в среде углекислого газа на постоянном токе прямой полярности на стыковых соединениях с отбортованными кромками, когда допустима прочность соединения 50—70% от прочности основного металла.

Технологические параметры сварки низкоуглеродистых сталей стыковых соединений с отбортовкой двух кромок (см. ГОСТ 14771—69, индекс шва С1) угольным электродом в среде углекислого газа приведены в табл. 102.

Оптимальные механические свойства сварного соединения и высокая стойкость его против кристаллизационных трещин и пор при сварке

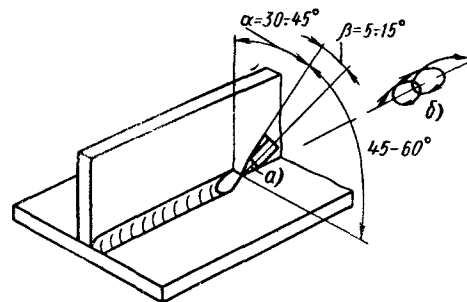


Рис. 119. Положение (а) и траектория (б) горелки при полуавтоматической дуговой сварке в углекислом газе

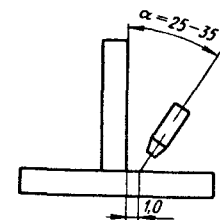


Рис. 120. Положение горелки при автоматической дуговой сварке угловых швов

кипящей и спокойной низкоуглеродистой стали в углекислом газе обеспечиваются применением электродных проволок Св-08ГС, Св-08Г2С (ГОСТ 2246—70), углекислого газа первого сорта (ГОСТ 8050—64 ***),

101. Режимы автоматической сварки нержавеющей стали толщиной 0,5—3 мм

Диаметр сварочной проволоки, мм	Толщина свариваемого металла, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Вылет электрода, мм	Расход газа, л/мин	Технологические приемы сварки
0,5 0,8	0,5, 0,8, 1,0	30, 40; 50, 35, 45, 55	16—18	35—45 40—45	5 6	6	На медной подкладке и на весу
1,6	1,5	100—170	18—20	35	8—9	5—6	На медной подкладке
1,0 1,6	2,0	120—130 130—140	18—19 22	35—40 38	6—7 10—15	6—7	На медной подкладке и на весу
2,0	3,0	180—200	25—28	25—30	20—25	12—17	—

102. Технологические параметры сварки низкоуглеродистых сталей бортовых соединений угольным электродом при расходе углекислого газа 480—600 л/ч

Толщина металла, мм	Диаметр электрода, мм	Сила тока, А	Длина дуги, мм	Скорость сварки, м/ч	Вылет электрода, мм
0,5	3	20—25	2,0—2,5	50—55	15—20
1,5	6	90—95	2,0—2,5	60—65	30—35
2,0	6	120—130	2,0—3,0	50—55	40—45

оптимальных технологических параметров сварки, преобразователей и выпрямителей сварочного тока с жесткими внешними вольтамперными характеристиками. Для сварки спокойной низкоуглеродистой стали применяют также электродную проволоку Св-12ГС (ГОСТ 2246—70). Устойчивое горение дуги в углекислом газе обеспечивается при плотности тока свыше 100 А/мм².

Технологические параметры сварки низкоуглеродистых сталей плавящимся электродом в углекислом газе в зависимости от диаметра применяемой электродной проволоки приведены в табл. 103.

103. Технологические параметры сварки низкоуглеродистых сталей в углекислом газе

Параметры	Диаметр электродной проволоки, мм						
	0,5	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5
Сила тока, А . . .	30—100	60—150	80—180	90—220	120—350	200—500	250—600
Напряжение дуги, В	18—20	18—22	18—24	18—28	18—32	22—34	24—38
Вылет электрода, мм	6—10	8—12	8—14	10—15	14—20	15—25	15—35

Прочностные параметры сварных соединений, выполненных на низкоуглеродистых сталях плавящимся электродом в среде углекислого газа, как правило, соответствуют прочностным показателям основного металла при обычных и низких температурах.

Технологические параметры сварки низкоуглеродистых сталей плавящимся электродом в углекислом газе в зависимости от толщины свариваемого металла приведены в табл. 104 и 105.

Полуавтоматическую сварку вертикальных, горизонтальных и потолочных швов выполняют на минимальных параметрах силы тока и напряжения, приведенных в таблицах.

Оптимальные параметры сварки в среде углекислого газа, обеспечивающие оптимальные прочностные показатели сварного соединения и высокую производительность сварочного поста приведены в табл. 106.

104. Технологические параметры полуавтоматической и автоматической сварки в углекислом газе стыковых швов на низкоуглеродистых сталях

Толщина металла, мм	Зазор, мм	Число слоев	Диаметр электродной проволоки, мм	Сила тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки одного слоя, м/ч	Расход газа на один слой, л/мин
0,6—1,0	0,5—0,8	1	0,5—0,8	50—60	18—20	20—25	6—7
1,2—2,0	0,8—1,0	1—2	0,8—1,0	70—100	18—20	18—24	10—12
3—5	1,6—2,0		1,6—2,0	180—200	28—30	20—22	14—16
6—8	1,8—2,2	2—3	2,0	250—	28—30	18—22	16—18
8—12	1,8—2,2			300		16—20	18—20

105. Технологические параметры полуавтоматической и автоматической сварки в углекислом газе угловых швов на низкоуглеродистых сталях

Толщина металла, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Катет шва, мм	Число слоев	Сила тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки одного слоя, м/ч	Вылет, мм	Расход газа за один слой, л/мин				
1,0—1,3	0,5	1,0—1,2	1	50—60	18—20	—	—	5—6				
		1,2—2,0							60—70	8—10		
1,5—2,0	0,8	1,5—3,0		1	60—75	16—18	—	—	6—8			
		3,0—3,0								70—110	14—16	10—12
1,5—3,0	1,2	3,0—4,0			1	90—130	20—22	16—18	—	—		
		4,0—									120—150	16—18
3,0—4,0	1,6	1,6				1	150—180	28—30	20—22	—	—	
												5,0—6,0
Не менее катета шва	2,0	7,0—9,0					2	300—350	30—32	24—26	20—24	
		9,0—11,0										
		11,0—13,0										
		13,0—15,0										

106. Параметры сварки тавровых соединений в среде углекислого газа, обеспечивающие высокую производительность поста (скорость сварки 25—70 м/ч, вылет электрода 15—20 мм, расход газа 1200—1800 л/ч)

Диаметр проволоки, мм	Катет шва, мм	Толщина металла, мм	Сила сварочного тока, А	Скорость подачи электрода, м/мин	Напряжение дуги, В	Производительность наплавки, кг/ч
1,6 2,0	6—10 6—12	6—16	400—650 450—750	6,0—12,0 4,0—10,0	35—49 34—46	5,0—12,0 6,0—14,0

Механические свойства сварных соединений на сталях средней толщины (до 16 мм), выполненные на повышенных плотностях тока, обеспечивают оптимальные прочностные показатели и идентичны соответствующим показателям основного металла.

Одним из основных показателей экономичности процесса при сварке на повышенной плотности тока является увеличение производительности наплавки в 1,5—4 раза и скорости сварки в 1,2—2 раза.

Применение проволок диаметром 1,6 и 2,0 мм по сравнению с проволокой диаметром 1,2 мм наряду с улучшением формы шва обеспечивает экономический показатель (при равной производительности) за счет уменьшения стоимости сварочной проволоки.

Для сварки на повышенных плотностях тока применяют полуавтоматы А-765, А-537, ПДПГ-500 с горелками и специальными рукавами, обеспечивающими нормальную работу на силе тока 550—750 А, а также источники питания ВС-600, ВС-1000, ПСМ-1000.

Автоматическая и полуавтоматическая сварка плавящимся электродом конструкционных сталей в смеси углекислого газа и кислорода, разработанная в институте электросварки им. Е. О. Патона, позволяет изготавливать изделия со стыковыми и угловыми соединениями.

Сварка низкоуглеродистых конструкционных сталей проволоками типа Св-08Г2С диаметром 1,2; 1,4; 1,6 и 2,0 мм в смеси углекислого газа с кислородом (содержание кислорода в смеси 10—50%), при расходе смеси 600—900 л/ч (в зависимости от диаметра сварочной проволоки) по сравнению со сваркой в среде углекислого газа имеет следующие преимущества: уменьшается разбрызгивание, брызги легче отделяются от металла; формирование швов улучшается, швы получают гладкие; форма провара фактически такая же, как и при сварке в углекислом газе; образующаяся на поверхности шва небольшой толщины корка легко удаляется; при сварке в смеси по ржавому металлу склонность к образованию пор меньше, чем при сварке в углекислом газе; смесь дешевле, чем углекислый газ, а расход смеси при сварке такой же, как и углекислого газа.

Прочностные параметры сварных соединений, выполненные на низколегированных конструкционных сталях в среде углекислого газа и кислорода при обычных и низких температурах аналогичны соответ-

ствующим показателям сварных соединений, выполненных в углекислом газе. Для получения газовых смесей нужного состава используется смесь типа ИАГ-1-63 и ротаметры типа РС-3.

Полуавтоматическую сварку теплоустойчивых сталей плавящимся электродом в среде углекислого газа выполняют, как и при других способах дуговой сварки, с предварительным и сопутствующим подогревом до 350—400° С, с последующей термообработкой изделия для снятия внутренних напряжений и выравнивания свойств металла в различных участках сварного соединения.

Стали 15ХМ, 20ХМ сваривают проволокой Св-08ХГ2СМ, а стали 12Х1МФ, 15Х1М1Ф, 20ХМФЛ, 15Х1М1ФЛ сваривают проволокой Св-08ХГ2СМФ в среде сварочной углекислоты 1-го сорта. Общая термообработка изделий из перечисленных хромомolibденовых сталей при толщине стенок менее 10 мм и хромомolibденованадиевых сталей при толщине стенок менее 6 мм не обязательна.

Сварные соединения перечисленных теплоустойчивых сталей, сваренные с соблюдением теплового режима и с последующей термообработкой, обеспечивают кратковременные свойства сварных соединений на уровне показателей основного металла. Длительная прочность сварных соединений несколько уступает показателям основного металла.

Сварка коррозионно-стойких сталей типа Х18Н10Т и Х18Н12Т в углекислом газе с использованием стандартных электродных проволок по ГОСТ 2246—70 не обеспечивают требуемой коррозионной стойкости сварного соединения.

Для дуговой сварки плавящимся электродом в среде углекислого газа сталей этого типа разработаны специальные марки проволоки Св-06Х20Н9С2БТЮ (ЭП156) и Св-08Х25Н13БТЮ.

Сварку сталей типа 18-10 и 18-12 выполняют преимущественно тонкой проволокой на малом вылете из токоподводящего наконечника, с обязательным покрытием смежных участков со стыком водным раствором глины, мела или другого специального покрытия, препятствующего привариванию брызг к поверхности металла и созданию очагов коррозии на месте приваривания брызг.

Оптимальные технологические параметры полуавтоматической и автоматической сварки в среде углекислого газа для коррозионно-стойких сталей типа Х18Н10Т и Х18Н12Т приведены в табл. 107.

Институтом электросварки им. Е. О. Патона рекомендуется сварка плавящимся электродом в среде углекислого газа хромистых сталей марки 2Х13 мартенситного класса с толщиной 4 и 12 мм (с содержанием углерода не более 0,18%) тонкой электродной проволокой типа 2Х13 даже без предварительного и сопутствующего подогрева. Конструкции с использованием металла толщиной более 10 мм сваривают с предварительным и сопутствующим подогревом не ниже 150° С.

Сталь Х17Н2 мартенситного класса толщиной 8 мм сваривают проволокой Св-08Х18Н2ГТ в среде углекислого газа также без предварительного подогрева (сила тока 330—350 А, напряжение 28—30 В, скорость сварки 18 м/ч при расходе углекислого газа 900—1000 л/ч). Сваренные конструкции подвергают отпуску при 700° С с выдержкой в зависимости от толщины металла. Кратковременная и длительная прочность сварных соединений при 475 и 500° С идентична по прочности с основным металлом.

107. Технологические параметры полуавтоматической и автоматической сварки в среде углекислого газа для сталей типа 18-10 и 18-12

Толщина металла, мм	Диаметр электрода, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Вылет электрода, мм	Расход газа, л/ч
1,0	0,5	30—40	17	30—40	5	360
1,5	0,8	40—80	17—18		6	
2,0	0,8—1,2	100—140	18—20	25—40	6—9	360—480
2,5	1,0—1,2	110—150		20—35	7—9	
3,0	1,2	140—160	19—20,5	25—30	9—10	480—540
	1,6	150—170	23—27		15	540—840
	2,0	180—190	25—28		15—20	840—1000

Хромистую сталь ферритного класса марки Х17 сваривают проволокой марки Св-Х25Н20 и допускается марка Св-Х18Н9. Прочностные параметры сварного соединения аналогичны соответствующим показателям стали Х17.

Сварку разнородных сталей одного структурного класса разного легирования между собой производят с использованием сварочных материалов, применяемых обычно к стали, менее легированной.

Технологические параметры сварки (в том числе предварительный или предварительно сопутствующий подогрев) выбирают такие, которые требуются для более легированной стали.

При сварке заготовок с большой массой, в отдельных случаях, допустимо снизить температуру подогрева или подогрев полностью исключить за счет применения предварительной облицовки свариваемых кромок на более легированной стали. При сварке заготовок из углеродистой стали с заготовками из хромомолибденовой стали подогрев может быть исключен, если предварительно облицевать кромку хромомолибденовой стали электродами Э42 или наплавкой проволокой Св-08Г2С в среде углекислого газа. Толщина слоя наплавки на кромке легированной стали должна не допускать появления закалочных структур в околошовной зоне.

Оптимальный выбор электродных проволок для дуговой сварки в среде углекислого газа разнородных перлитных сталей приведен в табл. 108.

Сварка разнородных (12 %-ных хромистых) мартенситных, ферритных и ферритно-аустенитных сталей разного легирования регламентируется требованием получения сварных соединений без трещин и хрупких участков. Эти стали вследствие высокого содержания в них карбидообразующего элемента хрома не позволяют ожидать заметного развития диффузионных прослоек в зоне сплавления.

108. Электродные проволоки для дуговой сварки в среде углекислого газа разнородных перлитных сталей

Температурные параметры работы изделия, °С	Свариваемые стали		Марка электродной проволоки	Режим термообработки
	1	2		
400—500	20, 30 и другие малоуглеродистые	Среднеуглеродистые и низколегированные конструкционные	Св-08ГС	Без отпуска или отпуск при 630—650° С
500	15ХМ, 12ХМФ, 20ХМЛ	12Х1МФ, 15Х1М1Ф и 25Х3ВМФ, Х5М, Х5МФ	Св-08ХГСМА	Отпуск при 670—700° С

При дуговой сварке в среде углекислого газа мартенситных или мартенситно-ферритных сталей разного легирования между собой применяют обычно проволоку типа Св-08Х14ГТ. Оптимальный режим предварительного подогрева устанавливают по требуемому для более закаляющейся стали, часто имеющей повышенное содержание углерода. Температура подогрева регламентируется жесткостью контура изделия и содержанием углерода в заготовках, обычно ее устанавливают в пределах 200—400° С. Сваренное изделие подвергается отпуску при 700—750° С. При толщине свариваемых заготовок свыше 30 мм сваренное изделие в горячем состоянии, не допуская его охлаждения, подвергают отпуску по режиму стали в термической печи.

По приведенной технологии сваривают нержавеющей стали (0Х13, 1Х13, 2Х13) с жаропрочными (15Х11МФ, 15Х12ВМФ, 18Х11МФБ, 15Х11В2МФ).

Сварка аустенитных и ферритно-аустенитных сталей регламентируется склонностью аустенитных швов наиболее распространенных составов к образованию горячих трещин при сравнительно небольшом отклонении легирования от оптимального. Процессы диффузионного перераспределения углерода в зоне сплавления для этих соединений в большинстве случаев можно не учитывать.

При выборе марки электродной проволоки необходимо учитывать группу аустенитной стали. Аустенитные стали, у которых содержание основного легирующего элемента — хрома — превышает или близко к содержанию никеля, относят к первой группе. Вторую группу составляют стали с повышенным запасом аустенитности, у которых содержание никеля превосходит содержание хрома. При сварке между собой разнородных сталей первой группы применяют аустенитно-ферритные электродные проволоки. Легирование аустенитно-ферритного наплавленного металла регламентируется условиями работы изделий и требованиями к термообработке. Во избежание горячих трещин

в сталях, где отношение хрома к никелю близко к единице, первые слои в фаске необходимо сваривать проволоками или электродами с повышенным содержанием ферритной фазы.

Аустенитные разнородные стали первой группы, сваривающиеся дуговой сваркой в среде углекислого газа, приведены в табл. 109.

109. Аустенитные разнородные стали первой группы, сваривающиеся дуговой сваркой в среде углекислого газа

Условия работы изделия	Марки свариваемых сталей		Структурное состояние шва	Марка проволоки
	1	2		
В неагрессивных средах	X18N10T	X18N12T, X17N13M2T, X17N13M3T, 0X17N16M3T	Аустенитно-ферритный	Св-04X19N9C2

Термообработка изделий, выполненных из разнородных аустенитных сталей, регламентируется типом конструкции, условиями ее работы, маркой стали. Если по техническим требованиям на изделия остаточные сварочные напряжения должны быть сняты, то достаточна стабилизация при температуре 800—850° С. Если изделие работает при высоких температурах, оптимальным видом термообработки является аустенизация при температуре 1100—1150° С. При использовании сталей термически неупрочненных и отсутствии требований к снятию сварочных остаточных напряжений и при работе изделия в интервале умеренных температур, термообработка может быть исключена.

Сварку перлитных сталей с высокохромистыми сталями мартенситного и ферритного классов разной структурной ориентации выполняют дуговой сваркой в среде углекислого газа. Сварные соединения перлитных сталей с 12%-ными хромистыми сталями выполняют электродными проволоками перлитного класса. При использовании названной проволоки обеспечивается удовлетворительная пластичность и вязкость переходных участков сварного соединения с содержанием 5% Сг вблизи кромки разделки со стороны высоколегированной стали, а также более высокая длительная прочность сварных соединений при отсутствии хрупких разрушений в зоне сплавления.

В сварных соединениях углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с 12%-ными хромистыми применяют сварочную хромомолибденовую проволоку. При сварке заготовок большой толщины рационально этой проволокой производить лишь облицовку со стороны высоколегированной стали, а образовавшуюся разделку заваривать без подогрева проволокой Св-08Г2С в зависимости от требований к прочности перлитной стали.

Тепловой режим сварки регламентируется высоколегированной сталью. Если в сварном соединении участвует перлитная сталь с недостаточным содержанием в ней энергичных карбидообразующих элементов, то температура эксплуатации стыка должна быть снижена против

предельной для этой стали по причине опасности развития диффузионных прослоек в зоне сплавления.

Перлитные стали, сваривающиеся с высокохромистыми сталями мартенситного и ферритного классов разной структурной ориентации дуговой сваркой в среде углекислого газа, приведены в табл. 110.

110. Стали разного структурного класса, сваривающиеся дуговой сваркой в среде углекислого газа

Условия работы изделия	Марка свариваемых сталей		Сварочная проволока	Отпуск при температуре, °С
	1	2		
300—350° С	Малоуглеродистые 20, 15К и низколегированные конструкционные	12%-ные хромистые (0X13, 1X13, 2X13, 15X11MФ, 15X12BMФ, 15X11MФБ)	Св-08ХГСМА	650—680
400—450° С	Хромомолибденовые (15ХМ, 12ХМ, 30ХМ)		Св-08ХГСМФА	680—700
500—520° С	Хромомолибденовые (12Х1МФ, 12Х1М1Ф)		Св-08Х2МФА	700—720

Режим термообработки сваренного изделия должен соответствовать установленному для сварных соединений 12%-ной хромистой стали. Для предотвращения возможного развития диффузионных прослоек температура отпуска изделия должна быть несколько снижена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Аснис А. Е., Фень Е. К., Покладный В. Р. Автоматическая и полуавтоматическая сварка конструкционных сталей в смеси углекислого газа и кислорода Информационное письмо, № 27, 1969, с. 1—3
- 2 Копытов Г. Т. Сварка в среде углекислого газа. В кн.: Производство крупных машин. М., «Машиностроение», 1967, с. 113—132.
- 3 Новожилов Н. М., Суслов В. Н. Сварка плавящимся электродом в углекислом газе. М., Машгиз, 1958, с. 18—194.
- 4 Ногаев Б. П., Мазовко А. П. Сварка в углекислом газе на повышенной плотности тока. — «Сварочное производство», 1970, № 5, с. 16—18.
- 5 Технология электрической сварки плавлением Под ред. Б. Е. Патона М.—Киев, Машгиз, 1962, с. 15—570
- 6 Справочник по сварке Под ред. И. А. Акулова Т. 4 М., «Машиностроение», 1971, с. 30—175
- 7 Чернаков Ф. А., Богданов Ф. А. Аргоно-дуговая сварка и ее применение Л., Судпромгиз, 1958, с. 7—220.

ГЛАВА 9

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ КОНТАКТНАЯ СВАРКА

ОСНОВЫ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ

При электрической контактной сварке заготовки в месте соединения нагревают и сжимают определенным усилием. Нагрев осуществляют теплом, которое выделяется в заготовках и в контактах между ними при прохождении электрического тока.

Для получения качественных сварных деталей металл в месте соединения нагревают до расплавления и лишь в отдельных случаях (например, при стыковой контактной сварке сопротивлением) — до пластического состояния. Прилегающие к месту соединения зоны должны быть нагреты до температур, обеспечивающих требуемую пластическую деформацию заготовок. В процессе этой деформации происходит удаление окислов из места соединения, устранение раковин и уплотнение металла.

Количество тепла, выделяемого в зоне сварки, определяют по формуле Ленца—Джоуля:

$$Q = 0,24I^2Rt,$$

где Q — количество тепла, кал; I — сила сварочного тока, А; R — общее сопротивление зоны сварки, Ом; t — время нагревания, с.

Основное влияние на нагрев оказывает сила сварочного тока. Например, при данном количестве тепла, расходуемом за один сварочный цикл, увеличение силы тока вдвое приведет к уменьшению времени нагревания более чем в 4 раза.

Характер нагрева заготовок, оказывающий большое влияние на качество сварного соединения, в значительной мере зависит также от величины общего сопротивления зоны сварки и соотношения между его отдельными составляющими. Общее сопротивление состоит из контактного сопротивления между заготовками, сопротивлений самих заготовок и сопротивлений между электродами и заготовками. При сварке неочищенных заготовок контактные сопротивления изменяются в широких пределах. Это приводит к изменению температур нагрева заготовок, в результате чего снижается стабильность прочностных показателей сварных соединений. Кроме того, при сварке неочищенных заготовок увеличивается износ электродов, а в сварных соединениях возникают дефекты.

Контактная сварка высокопроизводительна, позволяет значительно проще механизировать и автоматизировать процессы изготовления деталей, сократить расход основных и вспомогательных материалов. Эти преимущества особенно заметно проявляются в массовом и крупносерийном производстве.

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Наиболее широкое применение получили следующие основные виды контактной сварки: стыковая, точечная и роликовая (шовная). Каждый из этих видов сварки может осуществляться различными способами, отличающимися по технологическим признакам, роду используемой электроэнергии и способу подвода тока к свариваемым заготовкам.

Стыковая сварка (рис. 121). Заготовки сваривают по всей плоскости их касания. В зависимости от марки металла, площади сечения заготовок и требований к качеству соединения стыковую сварку можно выполнять одним из способов, приведенных в табл. 111.

Стыковая сварка сопротивлением. Заготовки, установленные и закрепленные в стыковой машине, прижимают одну к другой усилием определенной величины, после чего по ним пропускают электрический ток. При нагревании металла в зоне сварки до пластического состояния происходит осадка. Ток выключают до окончания осадки. Этот способ сварки требует механической обработки и тщательной зачистки поверхностей торцов заготовок.

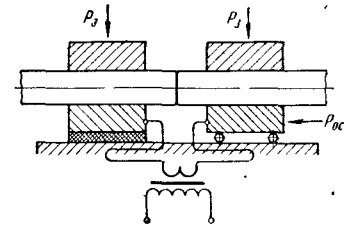


Рис. 121. Схема процесса стыковой сварки:
 $P_з$ — усилие зажатия; $P_{ос}$ — усилие осадки

Неравномерность нагрева и окисление металла на торцах заготовок понижают качество сварки сопротивлением, что ограничивает область ее применения. С увеличением сечения заготовок качество сварки снижается особенно заметно, главным образом из-за образования окислов в стыке.

Стыковая сварка непрерывным оплавлением состоит из двух стадий: оплавления и осадки. Заготовки устанавливают в зажимах машины, затем включают ток и медленно сближают их. При этом торцы заготовок касаются в одной или нескольких точках. В местах касания образуются перемычки, которые мгновенно испаряются и взрываются. Взрывы сопровождаются характерным выбросом из стыка мелких капель расплавленного металла. При дальнейшем сближении заготовок образование и взрыв перемычек происходят на других участках торцов. В результате заготовки прогреваются в глубину, а на торцах возникает тонкий слой расплавленного металла, облегчающий удаление окислов из стыка. В процессе оплавления заготовки укорачиваются на заданный припуск. Оплавление должно быть устойчивым (непрерывное протекание тока при отсутствии короткого замыкания заготовок), особенно перед осадкой.

При осадке скорость сближения заготовок резко увеличивают, осуществляя при этом пластическую деформацию на заданный припуск. Переход от оплавления к осадке должен быть мгновенным, без малейшего перерыва. Осадку начинают при включенном токе и завершают при выключенном.

111. Области применения различных способов стыковой сварки

Свариваемые заготовки			Способ стыковой сварки
Металл	Форма сечения	Размеры сечения	
Сталь, никром, медь, алюминий, сплавы меди, сплавы алюминия	Компактное (круглое, квадратное)	Проволока диаметром до 6—8 мм, звенья цепей диаметром до 20 мм, трубы диаметром до 40 мм при газовой защите и специальной подготовке кромок	Сопротивлением
Сталь, медь, алюминий и их сплавы; заготовки из различных материалов	Стержни, трубы, листы, уголки и другой профильный прокат; поковки, штамповки	Стальные стержни и толстостенные трубы до 3000 мм ² , стальные листы и тонкостенные трубы до 6000 мм ² и выше, рельсы	Непрерывным оплавлением
Сталь	Рельсы, трубы, прокат	Большое поперечное сечение (40 000—60 000 мм ² и выше)	Непрерывным оплавлением на специальных стыковых машинах
Сталь незакаливающаяся	Прутки, трубы	В мелкосерийном производстве более 300 мм ² , в массовом производстве более 1000 мм ²	Оплавлением с подогревом
Сталь закаливающаяся	Прутки, трубы, рельсы	От 20 мм ² и выше	Оплавлением с подогревом

Стыковая сварка непрерывным оплавлением обеспечивает равномерный прогрев заготовок по сечению и позволяет получать стабильное качество стыков. Ее существенным преимуществом является также возможность сравнительно легко автоматизировать процесс.

Стыковая сварка оплавлением с подогревом отличается от сварки непрерывным оплавлением тем, что перед началом процесса оплавления заготовки подогревают в зажимах машины периодическим смыканием и размыканием при постоянно включенном токе. При этом происходит процесс прерывистого оплавления и заготовки укорачиваются на заданный припуск. Выдержка при замыкании составляет около 0,5—3 с, а при размыкании 2—6 с. Коли-

чество замыканий может быть от одного до нескольких десятков в зависимости от размеров сечения заготовок.

Применение стыковой сварки оплавлением с подогревом позволяет предупредить резкую закалку и, следовательно, получить более пластичные стыки при сварке закаливающейся стали; снизить требуемую мощность машины или на машине данной мощности сваривать заготовки с большими площадями сечения; осуществить осадку при меньшем усилии; сократить общий припуск на сварку.

Точечная сварка (рис. 122). Заготовки соединяют сваркой в отдельных местах, условно называемых точками.

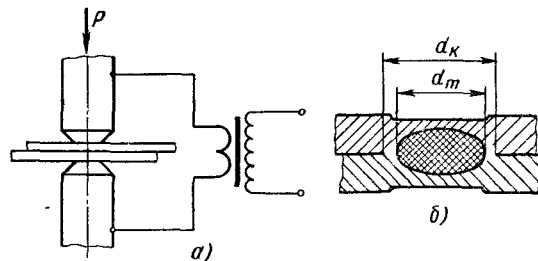


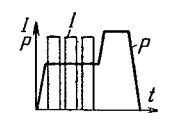
Рис. 122. Схема процесса точечной сварки: а — схема процесса; б — сечение сварной точки, P — давление; d_m — диаметр литого ядра сварной точки; d_k — диаметр сварной точки

Размеры и структура точки, определяющие прочность соединения, зависят от формы и размеров контактной поверхности электродов, силы сварочного тока, времени его протекания через заготовки, усилия сжатия и состояния поверхностей заготовок. Качественная сварная точка характеризуется наличием общего для обеих заготовок литого ядра определенных размеров.

Последовательность операций точечной сварки следующая. Заготовки устанавливают и затем плотно сжимают между электродами контактной машины. Включают ток, и заготовки быстро нагреваются; особенно быстро нагреваются участки металла, прилегающие к контакту между заготовками, так как эти участки имеют повышенное электрическое сопротивление. Кроме того, они менее подвержены охлаждающему действию электродов. В момент образования в зоне сварки расплавленного ядра заданных размеров ток выключают. После выключения тока заготовки кратковременно выдерживают между электродами под действием усилия сжатия, в результате чего происходит охлаждение зоны сварки, кристаллизация расплавленного металла и уменьшение усадочной раковины в ядре сварной точки.

Силу тока и усилие сжатия заготовок устанавливают постоянными или меняют по определенному графику в течение цикла сварки одной точки. Характер их изменения определяется толщиной и материалом свариваемых заготовок. Наиболее распространенные схемы циклов точечной сварки приведены в табл. 112.

112. Схема циклов точечной сварки:

Характеристика сварки	Схема цикла	Свариваемый металл
Одноимпульсная с постоянным давлением		Низкоуглеродистая сталь толщиной до 4—6 мм
При постоянном давлении с последующей термообработкой		Закаливающиеся стали
Многоимпульсная с переменным давлением		Сталь толщиной более 6 мм
Импульсом меняющегося тока с переменным давлением		Сплавы алюминия толщиной более 1,5 мм
Обозначения I — сила сварочного тока; P — усилие сжатия заготовок; I_p — сила тока подогрева при термообработке, t — время.		

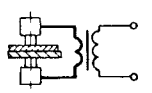
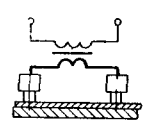
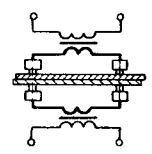
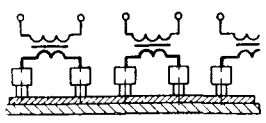
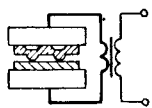
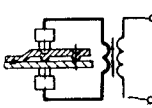
Точечной сваркой можно сваривать листовые заготовки одинаковой или разной толщины, пересекающиеся стержни, листовые заготовки со стержнями или профильными заготовками (уголками, швеллерами, таврами и т. п.).

Точечную сварку применяют для соединения заготовок из сталей различных марок (углеродистой, легированной, нержавеющей, жаростойкой и др.), а также из цветных металлов и их сплавов. Точечной сваркой можно соединять заготовки из разнородных металлов. Толщина каждой из заготовок, соединяемых точечной сваркой, может быть от сотых долей миллиметра до 35 мм.

В зависимости от количества свариваемых точек, способа подвода тока к заготовкам и других факторов применяют различные способы точечной сварки. Некоторые из них приведены в табл. 113.

Рельефная сварка характерна тем, что на одной из заготовок предварительно изготавливают выступы (рельефы) круглой, продолговатой, клещевой или иной формы. Сварку осуществляют одно-

113. Способы точечной сварки и их применение

Способ сварки	Схема	Толщина листа, мм	Характеристика и применение
Одноточечная двухсторонняя		6,0 и более	Наиболее универсальный способ. Сварка различного проката, штамповок из черных и цветных металлов.
Двухточечная односторонняя		≤ 2,5	Сварка крупногабаритных изделий, приварка листовой обшивки к каркасу. Часть тока шунтируется через верхнюю деталь.
Двухточечная двухсторонняя		≤ 5,0	Шунтирование тока незначительное. Сварка ответственных крупногабаритных узлов с повышенной толщиной заготовок.
Многоточечная односторонняя		1,5—2,0	Высокопроизводительный способ; применяют в массовом производстве.
Рельефная		0,5—5,0	Общий сварочный ток распределяется на все рельефы. Требуется хорошая очистка деталей и точная штамповка рельефов. Применяют в массовом производстве; обеспечивает хорошее качество при сварке тонких листов с толстыми.
Рельефно-точечная		2,0 и более	В местах рельефов разрушается окалина, концентрируется выделение тепла и приложенное давление. Сварка неочищенной стали.

временно по всем рельефам, что обеспечивает высокую производительность процесса. Количество и форму рельефов, а также метод их изготовления устанавливают в зависимости от конструктивных особенностей изготавливаемых деталей, их назначения и массы.

При рельефно-точечной сварке на одной из листовых заготовок также изготавливают выступы (обычно круглой формы), которые в отличие от рельефной сварки сваривают последовательно один за другим. Рельефно-точечная сварка обеспечивает более высокое и стабильное качество соединений неочищенных стальных заготовок по сравнению с обычной точечной сваркой.

Роликовая сварка (рис. 123). Заготовки соединяют непрерывным прочно-плотным сварным швом, состоящим из ряда точек, в котором

114. Способы роликовой (шовной) сварки и их применение

Способ и цикл	Сущность способа	Толщина листа, мм не более	Характеристика и применение
<p><i>Непрерывная</i></p>	Непрерывное включение тока при непрерывном вращении роликов	1,0	Сварка неотвержденных изделий из низкоуглеродистых сталей. Перегрев роликов и заготовок, невысокое качество сварки, относительно низкая стойкость электродов
<p><i>Прерывистая</i></p>	Прерывистое (импульсное) включение тока при непрерывном вращении роликов	3,0	Наиболее распространенный способ. Сварка различных сталей. Прерывистое включение тока снижает перегрев роликов и заготовок, повышает качество сварки и стойкость роликов
<p><i>Шаговая</i></p>	Включение тока при неподвижных роликах, вращение роликов при выключенном токе	3,0	Сварка алюминиевых сплавов и плакированных металлов, осуществляемая при больших силах тока. Наименьший по сравнению с другими способами перегрев роликов и заготовок

Обозначение: P — давление; S — перемещение роликов, I — сила сварочного тока; t — время

каждая последующая точка частично перекрывает предыдущую. В отличие от точечной сварки здесь заготовки устанавливают между вращающимися роликами (или между роликами и оправкой), на которые действует усилие механизма давления и к которым подведен

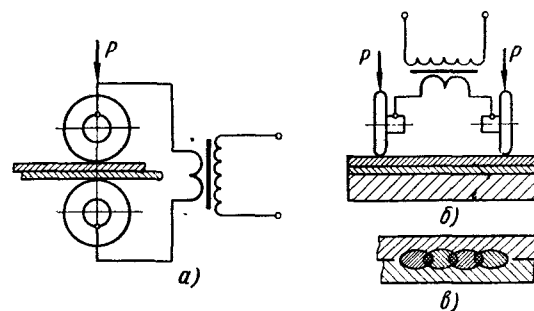


Рис. 123. Схема процесса роликовой сварки (P — давление):
а — двусторонняя; б — односторонняя; в — разрез сварного шва

электрический ток. Толщина каждой из заготовок обычно не превышает 2—3 мм. Характеристика и области применения способов роликовой сварки приведены в табл. 114.

В тех случаях, когда невозможно подвести ролики к свариваемому изделию с двух сторон, применяют одностороннюю роликовую сварку (приварка облицовки к каркасам больших размеров, приварка кровли и т. п.).

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ

Основные показатели машин

Машины для контактной сварки изготовляют в соответствии с требованиями ГОСТ 297—73, который регламентирует основные технические требования к машинам, методы их испытания, маркировку, упаковку, транспортирование и хранение.

Номинальное первичное напряжение машины — напряжение сети, на которое рассчитана работа машины.

Номинальная сила сварочного тока — сила тока, развиваемая машиной в процессе сварки заготовок номинального (указанного в паспорте) сечения при номинальных первичном напряжении и вылете на номинальной ступени.

Продолжительность включения (ПВ%) определяется величиной отношения суммарного времени включения тока в течение одного сварочного цикла ($t_{св}$) к полному времени цикла ($t_{ц}$) в процентах, т. е.

$$ПВ = \frac{t_{св}}{t_{ц}} 100\%$$

Эксплуатация контактной машины при номинальных значениях силы сварочного тока и ПВ исключает перегрев частей машины, глав-

ным образом первичной обмотки трансформатора, выше допустимых температур. Если один из этих параметров необходимо увеличить, второй соответственно снижают. Расчет производят по следующей формуле:

$$I_{\text{ЭКВ}} = I_{\text{НОМ}} \sqrt{\frac{ПВ_{\text{НОМ}}}{ПВ_{\text{ЭКВ}}}},$$

где $I_{\text{НОМ}}$, $ПВ_{\text{НОМ}}$ — номинальные значения силы тока и продолжительности включения; $I_{\text{ЭКВ}}$, $ПВ_{\text{ЭКВ}}$ — эквивалентные значения силы тока и продолжительности включения, при которых части машины нагреваются до тех же температур, что и при работе в номинальном режиме.

Длительная вторичная сила тока — максимальная сила тока, при которой трансформатор и вторичный контур машины могут работать длительное время, не перегреваясь выше допустимых пределов. Потребную при этом мощность из сети называют продолжительной мощностью. Длительную силу тока определяют по формуле

$$I_{\text{ДЛ}} = I_{\text{НОМ}} \sqrt{\frac{ПВ_{\text{НОМ}}}{100\%}}.$$

Степень регулирования вторичного напряжения. Каждой ступени регулирования соответствует определенное число витков первичной обмотки трансформатора, включаемых в сеть. Наибольшее число витков на первой ступени, наименьшее — на последней. С повышением номера ступени возрастает вторичная электродвижущая сила, а также сила сварочного тока и мощность, потребная для машины из сети. Номинальной ступенью регулирования обычно является предпоследняя ступень трансформатора. Вторичная э. д. с. этой ступени является номинальной.

Вылет точечных или шовных машин — расстояние от оси электродов до передней стенки машины или до других выступающих частей.

Сопротивление контактной машины при сварке ($Z_{\text{СВ}}$) равно геометрической сумме ее внутренних активного ($R_{\text{М}}$) и индуктивного ($X_{\text{М}}$) сопротивлений, а также сопротивления свариваемых заготовок ($R_{\text{СВ}}$, $X_{\text{СВ}}$):

$$Z_{\text{СВ}} = \sqrt{(R_{\text{М}} + R_{\text{СВ}})^2 + (X_{\text{М}} + X_{\text{СВ}})^2}.$$

Внутренние сопротивления машины оказывают большое влияние на ее другие параметры. Так, например, с ростом активного сопротивления, происходящим при увеличении длины элементов вторичного контура и ухудшении состояния переходных контактов в нем, снижается к. п. д. машины, уменьшается сила сварочного тока. Увеличение индуктивного сопротивления, происходящее при увеличении площади вторичного контура и введении в этот контур ферромагнитных масс свариваемых заготовок, вызывает снижение коэффициента мощности машины и силы сварочного тока.

Машины для стыковой сварки

В зависимости от величины и формы свариваемых заготовок, их материала и количества выбирают тип стыковой машины. При этом стыковые машины различают по мощности, способу сварки, конструкции зажимных устройств и механизма подачи подвижной плиты.

115. Стыковые машины с пружинным и рычажным приводом подачи плиты

Параметры	МС-201	МС-301	МС-401	МС-501	АСП-10	МСР-25	МС-1202	МС-1602
	Номинальная сила сварочного тока, А	1600	3200	4000	5000	3680	8000	12 500
Первичное напряжение, В	380	220 или 380						
Номинальная сила первичного тока, А	7,8	22; 13	22	54; 31	—	—	250; 145	433, 234
Номинальная мощность, кВА	—	—	—	—	10	25	55	96,5
Сечение заготовок (сталь), мм ²	0,02—7	3,5—50	13—60	8—78	7—50	120—300	до 900	≤1400
Вторичное напряжение, В	1,05—2,3	1,0—1,8	1,1—2,64	1,4—3,0	1,2—3,2	1,9—3,6	2,5—5,0	3,4—6,8
Производительность, сварок/ч	—	200	—	200	180	110	100	60
Усилие зажатия заготовок, кгс	≤500	≤500	120—200	≤500	150	800	5000	750
Усилие осадки, кгс	1—5	≤120	40—80	≤200	50	150/2000	3200	5000
Привод подачи плиты	Пружинный				Рычажный			
Масса машины, кг	50	170	260	180	115	260	720	750
Габаритные размеры, мм:								
высота	1000	1180	1285	1180	1155	1270	1700	1700
ширина	470	755	800	955	510	1250	1000	1000
длина	470	970	645	1170	490	880	775	775

Примечания. 1. Машина МС-401 предназначена для сварки ленточных плит.
2. Машина МСР-25 будет заменена машиной МС-802. Машина МСР-25, кроме рычажного, имеет пружинный привод подачи, используемый при сварке сопротивлением заготовок до 120 мм².

116. Стыковые машины с механи-

Параметры	МС-50-1	МСМУ-150	МСТ-200	МС-200
Первичное напряжение, В	220, 380			
Номинальная мощность, кВА . . .	50	150	200	150
Сечение свариваемых заготовок, мм ²	600	≤2000	1000	1000
Вторичное напряжение, В	5,2	4,04—8,1	4,5—10	—
Производительность, сварок/ч	180	80	—	100
Скорость оплавления, мм/с	—	—	—	—
Скорость осадки, мм/с	—	30	50	80
Усилие зажатия заготовок, кгс . . .	2000	10 000	20 000	10 000
Усилие осадки, кгс	3000	6 500	15 000	6 300
Максимальный ход плиты, мм	35	20	20	19
Привод подачи	Электромеханический		Гидропневматический	Электрический
Масса машины, кг	550	2000	—	2860
Габаритные размеры, мм:				
высота	1050	1300	—	1247
ширина	750	1580	—	2378
длина	2060	2000	—	1467
Назначение машины	Сварка стержней, труб и других заготовок		Сварка труб	Сварка эмеевиков из труб диаметром 25—42 мм

рованным приводом подачи плиты

	МСГА-300	МСГА-500	МСЛ-300-2	МСЛ-500-2	МСО-750	К-135
300	300	500	300	500	750	150
5000	5000	8000	3000	4000	3500	10 000
5,42—10,84	5,42—10,84	7,9—15,8	2,8—9	3,7—11,2	5,5—14,6	—
20	20	70	70	—	20	
—	—	4	4	—	—	
—	—	200	200	—	—	
35 000	35 000	50 000	50 000	50 000	120 000	
25 000	25 000	22 000	22 000	20 000	45 000	
—	—	20	20	32	60	
Гидравлический	Электрический + пневмогидравлический		Электрический	Гидравлический		
7500	8000	6700	7000	5000	7300	
—	—	2500	2500	2000	2300	
—	—	2035	2035	3575	1000	
—	—	4200	4200	2100	2370	
Сварка изделий из низкоуглеродистой стали (арматура)	Сварка лент и листов		Сварка ободьев колес	Сварка рельсов в стационарных условиях		

На машинах мощностью 0,75—10 кВА (табл. 115) производят сварку сопротивлением. Они имеют пружинный привод подачи и пружинные или эксцентриковые зажимные устройства.

На машинах мощностью 25—100 кВА (табл. 115) с ручным рычажным приводом подачи можно выполнять сварку сопротивлением, непрерывным оплавлением и оплавлением с подогревом. Рычажный привод подачи не позволяет получать высокие скорости осадки ($v_{ос} < 20$ мм/с) и осуществлять процесс оплавления по оптимальному графику, что приводит к снижению качества сварных стыков. Машины этого типа можно использовать в индивидуальном производстве для сварки неотвественных изделий из низкоуглеродистых сталей.

Машины с механизированными приводами подачи (табл. 116) электро-механическим, гидравлическим, пневматическим с гидротормозом — выпускают мощностью до 600 кВА и более. Эти машины, оборудованные пневматическими, гидравлическими или пневмогидравлическими зажимными устройствами, предназначены для сварки непрерывным оплавлением или оплавлением с подогревом.

Машины для точечной и рельефной сварки

Машины для точечной сварки отличаются между собой приводом механизма сжатия, характером и величиной сварочного тока, направлением перемещения подвижного электрода, количеством одновременно свариваемых точек и другими признаками. Определяемый этими признаками тип машины оказывает большое влияние на качество сварных точек и производительность процесса. Тип машины выбирают в зависимости от толщины материала и габаритов свариваемых деталей с учетом характера производства.

Характеристики одноточечных серийных машин, предназначенных для сварки заготовок из низкоуглеродистых сталей, приведены в табл. 117 и 118. Машина МТ-601 снабжена электромагнитным контактором, МТ-809 — асинхронным тиристорным контактором. Остальные машины снабжены электронным реле времени типа РВЭ-7-1А-2 (табл. 119) и игнитронным контактором типа КИА (табл. 120). Машины с вертикальным ходом верхнего электрода (см. табл. 118) могут быть использованы для сварки заготовок из нержавеющей сталей и легких сплавов, если они снабжены синхронным игнитронным контактором типа ПИТ или ПИТМ.

При сварке изделий, которые трудно перемещать относительно стационарных точечных машин, применяют подвесные точечные машины. Характеристики таких машин приведены в табл. 121.

В табл. 122 приведены характеристики импульсных точечных машин, предназначенных для сварки деталей малой толщины, легких сплавов, нержавеющей сталей, титана и других металлов и сплавов.

Машины для рельефной сварки во многом схожи с точечными. От последних они отличаются устройством электродов, повышенной жесткостью станины, лучшими динамическими свойствами привода сжатия. При их изготовлении широко используют узлы точечных машин. Рельефные машины повышенной мощности в дополнение к реле РВЭ-7-1А-2 снабжены электронным регулятором типа РВЭ-8, обеспечивающим пульсирующее включение сварочного тока, которое может осуществляться контакторами типа КИА или прерывателями типа ПИТ и ПИТМ. Характеристики машин для рельефной сварки приведены в табл. 123.

117. Точечные машины с радиальным ходом верхнего электрода и пневматическим приводом механизма сжатия

Параметры	МТ-601	МТ-809	МТ-1209	МТ-1609
Номинальная сила сварочного тока, А	6300	8000	12 500	16 000
Толщина свариваемых деталей, мм	От 0,2 до 2	От 0,25 до 3	От 0,5 до 4	От 0,5 до 5
Номинальное первичное напряжение, В	220 или 380			
Номинальная сила первичного тока, А	65 или 36	89,5 или 52,5	237 или 134	420 или 236
Мощность на номинальной ступени, кВА	14,2	20	50	85
Пределы регулирования вторичного напряжения, В	1,25—2,5	1,42—2,84	2,2—4,4	3,0—6,0
Число ступеней регулирования вторичного напряжения	8			
Производительность (максимальная), сварок/мин	150			
Вылет электродов, мм	250 (+25) 150 (+100)	200 (+115) 150 (+120)	400 (+10) 150 (+120)	500 (+100) 180 (+120)
Расвор хоботов, мм	200	300	500	630
Усилие сжатия электродов, кгс	20	20	30	30
Рабочий ход верхнего электрода, мм	300	250	420	420
Расход охлаждающей воды, л/ч	830 × 452 × 1237 215	1083 × 410 × 1400 325	1230 × 380 × 1538 440	1340 × 430 × 1574 540
Габаритные размеры (длина × ширина × высота), мм				
Масса, кг				

Примечания: 1. Детали максимальной толщины можно сваривать на мягком режиме.
2. Машина МТ-601 может быть оборудована педальным приводом механизма сжатия вместо пневматического (оговаривается в заказе).

118. Точечные машины с вертикальным ходом верхнего электрода и пневматическим приводом механизма сжатия

Параметры	МТ-1207	МТ-1606	МТ-2707	МТП-300	МТП-600	МТП-200/120
	Номинальная сила сварочного тока, А	12 500	16 000	25 000	32 000	37 000
Толщина свариваемых деталей, мм	От 0,5 + 0,5 до 1,6 + 1,6	От 0,8 + 0,8 до 2,5 + 2,5	От 1 + 1 до 4,5 + 4,5	До 7 + 7	До 8 + 8	До 4 + 4
380						
Первичное напряжение, В	54	86	170	260	400	190
Номинальная мощность при ПВ = 20%, кВА	200	350	150	—	40	—
Производительность, сварок/мин	500 (±50)	500 (±50)	500 (±50)	500 (±50)	500 (±50)	1200
Вылет электродов, мм	500	630	1600	3250	3250	2400
Усилие сжатия электродов, кгс	1820 × 450 × × 1400	1820 × 450 × × 1400	—	2550 × 790 × × 1610	2550 × 840 × × 1610	2270 × 780 × × 2280 + + 1790 × × 780 × 660 *
Габаритные размеры (высота × × ширина × длина), мм	435	450	615	1415	1360	1650 + 160 *
Масса, кг						

* Блок управления

119. Величина выдержки времени в электронном регуляторе РВЭ-7-1А-2

Деление шкалы	Время операций (сжатие, проковка, пауза), с	Сварка	
		Диапазон I	Диапазон II
0	0,04	0,04	0,23
1	0,06	0,06	0,44
2	0,10	0,10	0,75
3	0,15	0,15	1,07
4	0,22	0,22	1,32
5	0,28	0,28	1,58
6	0,36	0,36	1,98
7	0,43	0,43	2,37
8	0,51	0,51	2,68
9	0,59	0,59	3,10
10	0,67	0,67	3,47
11	0,78	0,78	4,02
12	0,90	0,90	4,47
13	1,02	1,02	5,04
14	1,15	1,15	5,80
15	1,40	1,40	6,75

Примечание В таблице даны средние значения выдержек времени при номинальном напряжении сети. Это время может изменяться до ±10% при больших выдержках и до ±20% при малых

120. Техническая характеристика игнитронных контакторов типа КИА

Тип прерывателя	Тип лампы	Первичная сила тока, А	Мощность, кВт	Расход охлаждающей воды, л/мин	Масса, кг
КИА-20	И-20/1,5	200	73	1,2	7
КИА-50	И-70/0,8	500	180	3	12
КИА-100	И-140/0,8	1050	380	4	24
КИА-200	И-350/0,8	1800	650	8	38

Примечание Первичное напряжение 380 В, ПВ=20%.

121. Подвесные точечные машины

Параметры	МТПГ-75	МТПП-75	МТПП-150-2	К-165	К-171М	К-201М	К-243
Сила сварочного тока, А	8000	8000	—	—	8000	≤7500	≤15 000
Максимальная толщина свариваемых листов из низкоуглеродистой стали, мм	1,5+ +1,5	1,5+ +1,5	4+4	2+2	2+2	2+2	—
Максимальный диаметр свариваемых прутков из низкоуглеродистой стали, мм	16+16	12+12	—	—	—	—	25+25
Номинальная мощность, кВА . . .	75	75	150	25	25	25	90
Номинальный режим работы, ПВ %	20	20	20	20	20	20	10
Производительность, сварок/мин	80	60	50	140	—	—	70—90
Вылет электродов, мм	42; 140	42; 140	280	—	—	—	—
Рабочий ход верхнего электрода, мм	25; 30	20	—	18	18	10	—
Усилие сжатия, электродов, кгс	200; 275; 300	200; 300	800	250	—	220	до 1250
Масса машины, кг	370	350	475	—	—	—	—
Масса клещей, кг	12,5	9,5	—	20	20	22	64

Примечания: 1. Вылет электродов, рабочий ход и усилие сжатия для машин МТПГ-75 и МТПП-75 определяются типом клещей
2. Клещи К-171М имеют ручной привод механизма сжатия.

122. Импульсные точечные машины

Машина	Характеристика машины	Сила сварочного тока, мм	Вылет электродов, мм	Усилие сжатия электродов, кгс	Номинальная мощность, кВА	Толщина свариваемых деталей, мм
ТКМ-4 ТКМ-8 МТК-1201 МТК-75	К	— — 12 500 80 000	65 150 150 1500	0,5—25 1—56 3—63 250— 2000	0,1 0,3 — 75	От 0,02+0,02 до 0,5+0,5 От 0,05+0,05 до 0,5+0,5 От 0,05+0,05 до 0,5+0,5 Легкие сплавы: от 0,3+0,3 до 2,5+2,5
МТК-6301		63 000	1200	150— 2000	40	Легкие сплавы: от 0,5+0,5 до 2+2. Нержавеющие стали: от 0,3+0,3 до 1,5+1,5. Титан: от 0,3+0,3 до 2+2
МТПП-400		78 500	1500	3 200	400	Высокопрочные легкие сплавы: от 0,8+0,8 до 3+3
МТПП-600		Н	100 000	1500	5 500	600
МТВ-63	В	63 000	1200	10 000	450	Низкоуглеродистые стали: от 4+4 до 12+12+12. Легкие сплавы: от 2,5+2,5 до 6+6

Примечания: 1. К — конденсаторная машина; Н — низкочастотная трехфазная машина; В — трехфазная машина постоянного тока с выпрямителем во вторичном контуре
2. На машине МТВ-63 кроме указанных материалов, можно сваривать закаляющиеся и нержавеющие стали, титан и другие металлы и сплавы.

123. Машины для рельефной (и точечной) сварки деталей из низкоуглеродистой стали

Параметры	МР-1607	МР-2507	МРП-150	МРП-200	МРП-300	МРП-400
Сила сварочного тока, А	16 000	25 000	20 000	25 000	32 000	40 000
Максимальная толщина деталей при точечном варианте, мм	2,5+ +2,5	4,5+ +4,5	5+5	6+6	7+7	8+8
Номинальная мощность, кВА	70	131	130	180	260	370
Производительность, сварок/мин	160	150	65	65	40	40
Вылет электродов, мм	300	300	350	350	320	320
Усилие сжатия, кгс	800	1600	1400	1400	3500	3500
Масса, кг	430	615	885	910	1280	1350

Машины для роликовой сварки

Роликовые машины общего назначения (табл. 124) можно подразделить на следующие группы:

машины переменного тока для непрерывной роликовой сварки неотвечественных изделий из низкоуглеродистых сталей толщиной до 1,5 мм без покрытий; такие машины (например, МШ-1001), как правило, снабжены электромагнитным контактором;

машины переменного тока для прерывистой роликовой сварки изделий из низкоуглеродистых и легированных сталей без покрытия; эти машины (МШ-1601, МШП-100, МШП-150, МШП-200) снабжены индигитронными контакторами типа ПИШ, обеспечивающими импульсное включение сварочного тока с продолжительностью импульсов и пауз между ними в пределах 0,02—0,38 с;

конденсаторные роликовые машины (МРК-3; серии ШКМ и др.) для сварки изделий малой толщины из различных сталей и сплавов; машины для шаговой роликовой сварки изделий из легких сплавов импульсами выпрямленного трехфазного тока (МШШИ-400, МШШТ-600);

роликовые трехфазные машины постоянного тока с выпрямлением во вторичном контуре; такие машины (МШВ-6301) более универсальны, имеют меньшую массу и габариты по сравнению с машинами типа МШШИ-400 и МШШТ-600. На них можно сваривать различные стали и сплавы.

Наличие у современных роликовых машин поворотной верхней сварочной головки в сочетании со сменными нижними хоботами позволяет сваривать на одной машине как продольные, так и поперечные швы.

Электроды контактных машин

Стойкость электродов, от которой в значительной мере зависят производительность сварки и качество сварных соединений, определяется материалом электродов, их конструкцией, условиями охлаждения, режимом сварки и чистотой поверхности свариваемых заготовок.

Материал электродов (табл. 125) должен иметь высокие тепло- и электропроводность, температуру разупрочнения, а также достаточную прочность и твердость. Стойкость электродов, изготовленных из специальных сплавов, значительно выше по сравнению с медными.

Электроды для точечной сварки (сменные вставки), предназначенные для использования на серийных точечных машинах, приведены в табл. 126. Рекомендуемые размеры электродов для точечной и роликовой сварки различных материалов даны в табл. 127.

Электроды для роликовой сварки выполняются в виде дисков диаметром 40—400 мм. Форму их рабочей поверхности выбирают в зависимости от толщины, формы и материала свариваемых заготовок (табл. 127). При сварке стали форму контактной поверхности роликов принимают цилиндрической шириной 4—10 мм. При сварке цветных металлов и стальных заготовок повышенной толщины лучшее качество обеспечивает сферическая поверхность с радиусом до 200 мм.

Электроды для стыковой сварки, воспринимающие большие усилия при зажатии заготовок, рекомендуется выпол-

124. Машины для роликовой сварки

Параметры	МШ-1001	МШП-1601	МШ-2001	1001-ШПШ	МШП-150	МШП-200	МРК-3	МШП-400
Номинальная сила сварочного тока, А	10 000	16 000	20 000	—	—	—	—	—
Толщина свариваемых заготовок, мм	1,2+1,2	1,5+1,5	1,8+1,8	1,5+1,5	2+2	2,5+2,5	От 0,05 до 0,5+0,5	2,5+2,5
Первичное напряжение, В	220/380	220/380	380	220/380	220/380	220/380	220	380
Номинальная мощность, кВА	27	75	130	100	150	200	3,5	400
Вторичное напряжение, В	1,75—3,5	3,8	3—6	3,3—6,6	3,8—7,7	4,3—8,6	—	3—8,4
Ход верхнего ролика, мм	30	50	10—70	40—115	40—115	40—115	10	100—170
Полезный вылет, мм	400	400	800	800	800	800	140	1200
Скорость сварки, м/мин	1—5	0,8—4,5	0,6—4,5	0,5—1,9	0,5—1,9	0,5—1,9	0,2—0,8	0,2—0,6
Максимальное усилие сжатия, кгс	250	500	800	800	800	800	100	800
Масса машины, кг	500	620	1200	1900	2000	2200	450	6500
Габаритные размеры, мм								
высота	1400	1455	2225	2200	2200	2200	1425	3350
ширина	520	510	825	1000	1000	1000	880	1420
длина	1256	1770	1870	2200	2200	2200	880	2650

Примечания: 1. Машины МШП-100 и МШП-150 будут заменены машиной МШ-2001.
2. Машины МШШИ-400 и МШШТ-600 будут заменены машиной МШВ-6301.

125. Химический состав, основные свойства и области применения электродных материалов

Материал и марка	Содержание легирующих элементов, %	Электропроводность, % (медь 100%)	Твердость НВ	Температура разупрочнения, °С	Рекомендуемая механическая или термомеханическая обработка	Основное назначение
Медь М1	—	97	100—110	250—270	Холодная деформация 40—60%	—
Кадмиевая бронза Бр Кд1 (МК)	0,9—1,2 Cd	85—95	95—115	350	Холодная деформация 40—60%	Точечная и роликовая сварка легких сплавов
Хромокадмиевая бронза Бр Мц5Б (Бр. ХКд 0,5-0,3)	0,25—0,45 Cr, 0,17—0,35 Cd	85—90	110—120	370	Закалка в воду после выдержки при 940—960°С в течение 1—1,5 ч, холодная деформация 50—60%, старение (отпуск) при 470—490°С в течение 4 ч	
Хромоциркониевая бронза Бр Мц5А	0,2—0,4 Cr, 0,15—0,35 Zr	85—87	110—130	500		

Продолжение табл. 125

Материал и марка	Содержание легирующих элементов, %	Электропроводность, % (медь 100%)	Твердость НВ	Температура разупрочнения, °С	Рекомендуемая механическая или термомеханическая обработка	Основное назначение
Хромовая бронза Бр Х	0,4—0,7 Cr	80—85	120—140	400—420	Закалка в воду после выдержки при температуре 980—1000°С в течение 1—1,5 ч, холодная деформация 40—60%, старение (отпуск) при 470—490°С в течение 4 ч	Точечная и роликовая сварка углеродистых, низлегированных сталей и титана
Хромоциркониевая бронза Мц5	0,3—0,5 Cr, 0,2—0,35 Zr	80—85	130—145	500		
Никельбериллий-титановая бронза НБТ	1,4—1,6 Ni; 0,2—0,4 Be, 0,05—0,15 Ti	50—55	190—230	510	Закалка в воду после выдержки при 960—980°С в течение 1,5—2 ч, холодная деформация 40—60%, старение (отпуск) при 420—460°С в течение 4 ч	Точечная и роликовая сварка нержавеющей стали, титана, губки стыковых машин
Никельбериллий-екая бронза Бр Мц3	0,9—1,2 Ni; 0,15—0,3 Be, 0,1—0,25 Mg	55—60	180—230	490	Закалка в воду после выдержки при 940—960°С в течение 1,5—2 ч, холодная деформация 40—60%, отпуск при 510—520°С в течение 5 ч	Губки стыковых машин
Элконайт ВМ	20—30 Cu, 80—70 W	20—25	200	—	Элконайт ВМ получают методом порошковой металлургии путем пропитки спрессованных заготовок расплавленной медью	Вставки в электроды точечных, роликовых машин и в губки стыковых машин

126. Электроды для точечной сварки

Эскиз	ГОСТ	Обозначение электродов	Размеры электродов, мм	
			d	l
	14111-69	0821-0013	16	55
		0821-0015	16	70
		0821-0019	20	55
		0821-0021	20	70
		0821-0109	16	36
		0821-0111	16	45
		0821-0113	16	55
		0821-0115	16	70
		0821-0119	20	55
0821-0121		20	70	
		0821-0205	16	55
		0821-0207	16	70
	0821-0211	16	55	
	0821-0213	16	70	
	0821-0263	16	55	
	0821-0265	16	70	
	0821-0267	16	90	
	0821-0277	25	55	
	0821-0357	16	55	
	0821-0359	16	70	
	0821-0363	20	70	
	0821-0365	20	90	
	0821-0401	16	55	
	0821-0421	25	55	

Примечание. Другие размеры электродов (диаметр или радиус сферы контактной поверхности, углы скосов и пр.) даны в нормалях, указанных в таблице.

127. Рекомендуемые размеры электродов для точечной и роликовой сварки, мм

Толщина заготовок	Низкоуглеродистые и низколегированные стали				Жаростойкие и нержавеющие стали		
	Прямые электроды		Ролики		Прямые электроды		
	Диаметр электрода	Диаметр контактной поверхности	Ширина ролика	Ширина рабочей поверхности	Диаметр электрода	Диаметр контактной поверхности	Радиус сферы
0,5+0,5	12	4	6	4	12	4	25—50
1+1	12	5	12	6	12	5	75—100
1,5+1,5	16	5	15	8	16	7	100—150
2+2	20	5	20	10	20	8	100—150
2,5+2,5	20	5	—	—	20	9	150—200
3+3	25	10	—	—	25	10	150—200

Толщина заготовок	Жаростойкие и нержавеющие стали			Легкие сплавы			
	Ролики			Прямые электроды		Ролики	
	Ширина ролика	Ширина рабочей поверхности	Радиус рабочей поверхности	Диаметр электрода	Радиус сферы	Ширина ролика	Радиус рабочей поверхности
0,5+0,5	6	4	25—50	12	50	12	50
1+1	10	5	75—100	16	75	20	75
1,5+1,5	12	7	100—150	20	100	20	75
2+2	15	8	100—150	25	100	20	100
2,5+2,5	18	9	150—200	25	150	25	100
3+3	20	10	150—200	30	150	25	150

нять из сплавов повышенной твердости с электропроводностью 40—60% проводимости меди (см. табл. 125). Конструкция электродов в значительной мере определяется формой и размерами свариваемых заготовок.

ТЕХНОЛОГИЯ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ

Подготовка заготовок к сварке

Перед сваркой производят правку и взаимную подгонку заготовок, а также очистку их поверхностей от окалины, ржавчины, смазки, пыли и других загрязнений.

При сварке неочищенных заготовок заметно снижается качество соединений и увеличивается износ электродов контактных машин. Способ очистки выбирают в зависимости от размеров и материала заготовок, характера загрязнений и типа производства. Мелкие детали с окалиной и ржавчиной в условиях массового производства очищают в галтовочных барабанах или травлением в растворах кислот с последующей нейтрализацией в щелочной ванне, промывкой проточной водой и сушкой горячим воздухом. Окалину и ржавчину с крупных заготовок удаляют абразивными кругами или дисковыми металлическими щетками. Применяют также гидropескоструйную или дробеструйную обработку. Жиры и масло удаляют бензином, ацетоном или другими растворителями.

Сборка заготовок при точечной и роликовой сварке должна обеспечивать достаточно плотное взаимное прилегание. Наличие зазоров препятствует образованию хорошего контакта между заготовками, что приводит к возникновению дефектов сварки.

Торцы заготовок, соединяемые стыковой сваркой сопротивлением, обрабатывают до получения ровной поверхности, перпендикулярной к оси заготовок. При сварке оплавлением к подготовке торцов предъявляют меньшие требования (пригодны заготовки после резки на прессах, ножницах, механических пилах, а также после газовой резки с очисткой поверхности от шлака).

При всех способах стыковой сварки необходимо очищать поверхности заготовок, соприкасающиеся с токоподводящими губками.

Стыковая сварка

Для получения качественного стыкового соединения необходимо равномерно нагреть заготовки по всему сечению в прилегающих к стыку зонах; обеспечить возможность одинаковой пластической деформации обеих заготовок; предотвратить или свести до минимума окисление металла на торцах в процессе нагрева; обеспечить условия для свободного удаления окислов из стыка. Выполнение этих требований возможно при надлежащей подготовке деталей к сварке и правильно выбранных способе и режиме сварки.

128. Рекомендуемые режимы сварки сопротивлением круглых или квадратных заготовок из углеродистой стали

Площадь сечения заготовки, мм ²	Установочная длина на обе заготовки, мм	Давление осадки, кгс/мм ²	Припуск на осадку, мм			Плотность тока, А/мм ²	Время нагрева, с
			Общий	Под током	Без тока		
7	7	1—3	2,2	1,6	0,6	—	0,2—0,3
25	12		2,5	1,7	0,8	200	0,6—0,8
50	16		2,7	1,8	0,9	160	0,8—1,0
100	20		3,0	2,0	1,0	140	1,0—1,5

Примечание. Величина припуска на осадку указана для сварки заготовок с плотно подогнанными торцами

Сварка сопротивлением. Величины основных показателей режимов сварки приведены в табл. 128 и 129

129. Давление при сварке сопротивлением

Свариваемые материалы		Давление, кгс/мм ²
Правая деталь	Левая деталь	
Низкоуглеродистая сталь	Малоуглеродистая сталь	1—3
Нержавеющая сталь	Нержавеющая сталь	0,5—1,5
Нихром	Нихром	
Медь	Медь	1—1,5
Алюминий	Алюминий	
Медь	Латунь	
Латунь	Латунь	
Низкоуглеродистая сталь	Латунь	

Примечание. Для нержавеющей стали и нихрома значения удельного давления указаны при сварке заготовок диаметром до 5 мм

Силу сварочного тока подсчитывают как произведение плотности тока (А/мм²) на площадь сечения заготовок (мм²). Необходимая плотность тока возрастает с уменьшением сечения заготовок, с уменьшением времени сварки, с повышением теплопроводности и снижением удельного сопротивления металла.

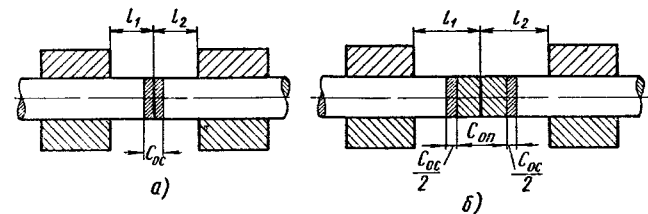


Рис. 124. Схема установки свариваемых деталей при стыковой сварке: а — сопротивлением; б — непрерывным оплавлением; $l_1 + l_2$ — суммарная установочная длина; $C_{оп}$ — припуск на оплавление; $C_{ос}$ — припуск на осадку

Целесообразно осуществлять сварку на повышенных плотностях тока, так как при этом повышается качество соединения и снижается расход электроэнергии.

Величину усилия осадки P (кгс) подсчитывают как произведение удельного давления (кгс/мм²) на площадь заготовок (мм²). Установочная длина l (мм) — величина выступающих из губок концов деталей в начале сварки (рис. 124). При заниженной установочной длине детали прогреваются недостаточно, так как тепло интенсивно отводится в губки. Завышение ее сопровождается перегревом деталей и увеличением длины деформируемого участка. Кроме

того, возможны перекосы или несоосность торцов вследствие потери устойчивости.

Припуск на осадку $C_{ос}$ (мм) распределяют на осадку под током и осадку без тока. Если осадка недостаточна, в стыке остаются окислы и раковины, наблюдаются непроваренные участки. При завышении величины осадки качество стыков также понижается вследствие искривления волокон и перегрева металла.

Время нагрева $t_{св}$ (с) — время прохождения тока через заготовки. При сварке на машинах, у которых выключение тока осуществляется в определенный момент осадки регулируемым конечным выключателем, время нагрева зависит в основном от плотности тока. Кроме того, оно зависит от давления и величины осадки под током. Наиболее качественные стыки можно получить, если время нагрева соответствует значениям, указанным в табл. 129.

Завышенное время нагрева является одной из причин возникновения окислов в стыке и образования малопластичной перегретой структуры металла.

Сварка оплавлением. Величины основных показателей сварки приведены в табл. 130—136.

Припуск на оплавление $C_{оп}$ (мм) должен быть таким, чтобы осуществить равномерный и достаточный нагрев деталей, выравнять зазоры между торцами и получить на торцах тонкий слой жидкого металла. Для создания защитной среды, препятствующей окислению металла в зоне сварки, оплавление должно быть устойчивым. Припуск на оплавление возрастает с увеличением диаметра или толщины деталей.

Силу сварочного тока (А) подсчитывают так же, как и при сварке сопротивлением. Плотность тока для стальных заготовок при сварке непрерывным оплавлением 3—50 А/мм², при сварке с подогревом 3—15 А/мм² (нижние пределы соответствуют сварке заготовок большого сечения). В момент осадки и коротких замыканий плотность тока в 2—3,5 раза выше, чем при устойчивом оплавлении.

Необходимая мощность машины при стыковой сварке зависит от производительности процесса и типа свариваемых заготовок. Она равна произведению площади сечения заготовок на удельную мощность, выбранную по табл. 131. Напряжения холостого хода указаны в табл. 132.

Скорость оплавления $v_{оп}$ (мм/с) в начале процесса незначительна, возрастает до своего максимального значения перед осадкой. Низкая начальная скорость оплавления увеличивает глубину прогрета деталей, а высокая конечная скорость оплавления предупреждает окисление металла на торцах.

Скорость осадки $v_{ос}$ (мм/с) должна быть не ниже определенного предела, который растет с увеличением теплопроводности и склонности металла к окислению. Высокая скорость осадки (особенно в начальный момент, когда закрывается зазор между оплавленными торцами) затрудняет образование окислов и способствует более полному удалению окислов из стыка.

Усилие осадки $P_{ос}$ (кгс) возрастает с повышением жаропрочности свариваемого материала (табл. 130). Оно также возрастает с уменьшением температуры металла в околостыковых зонах, за счет которых происходит пластическая деформация.

130. Ориентировочные величины давления (кгс/мм²) при стыковой сварке оплавлением

Металл	Способ сварки	
	Непрерывным оплавлением	Оплавлением с подогревом
Низкоуглеродистая сталь	8—10	4—6
Среднеуглеродистая сталь	10—12	4—6
Высокоуглеродистая сталь	12—14	4—6
Низколегированная сталь	10—12	4—6
Аустенитная сталь	16—25	10—18
Медь	25—40	—
Алюминий	12—15	—
Алюминиевые сплавы	13—20	—
Латунь	14—18	—
Бронза	14—18	—
Титан	3—6	3—4
Чугун	8—10	4—6

131. Ориентировочная потребная мощность (кВА/мм²) при сварке оплавлением различных марок конструкционной стали

Способ сварки	Мелкосерийное производство	Массовое производство
Непрерывным оплавлением	0,15—0,25	0,25—0,40
Оплавлением с подогревом	0,05—0,08	0,12—0,16
Сварка колец непрерывным оплавлением . .	—	0,40—0,60

132. Наименьшие значения напряжения холостого хода при стыковой сварке

Способ сварки	Вторичное напряжение (В) при площади сечения заготовки, мм ²							
	До 50	Св. 50 до 100	Св. 100 до 250	Св. 250 до 500	Св. 500 до 1000	Св. 1000 до 2000	Св. 2500 до 5000	Св. 5000 до 10 000
Сопротивлением	1,5	2	2,5	3	—	—	—	—
Непрерывным оплавлением	4	4,5	5	6,5	8	10	—	—
Оплавлением с предварительным подогревом . .	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7

133. Припуски (мм) при стыковой сварке оплавлением стержней из низкоуглеродистых и низколегированных конструкционных сталей (на оба стержня)

Диаметр стержня, мм	Площадь сечения, мм ²	Припуск при сварке с подогревом			Припуск при сварке непрерывном оплавлением		
		общий	на оплавление	на осадку	общий	на оплавление	на осадку
5	20	—	—	—	6	4	2,0
10	78	7,3	5	2,3	8	5,7	2,3
14	154	9,3	6,5	2,8	12	9,5	2,5
18	254	11,2	8,0	3,2	16	13	3,0
22	380	12,6	9,0	3,6	18	14,8	3,2
26	530	15	11,2	3,8	22	18,5	3,5
30	707	16	12,0	4,0	25	21,5	3,5
36	1018	18	13,0	5,0	30	26	4,0
40	1257	20	14,5	5,5	33	28,5	4,5
45	1590	21	15,0	6,0	37	31,5	5,5
50	1963	22	15,5	6,5	43	37	6,0
55	2376	23	16,0	7,0	—	—	—
60	2827	25	17,5	7,5	—	—	—
70	3848	26	18,0	8,0	—	—	—
80	5027	28	19,5	8,5	—	—	—
90	6362	32	23,0	9,0	—	—	—
100	7850	38	28,0	10,0	—	—	—

Примечания 1 Суммарная установочная длина равна 1,5 диаметра стержня при сварке низкоуглеродистых сталей и 2—2,4 диаметра стержня при сварке низколегированных сталей
2 При наличии зазоров между неровно срезанными торцами надо соответственно увеличить общий припуск на сварку (за счет припуска на оплавление)
3 Припуск на осадку под током составляет 40—50% от общего припуска на осадку

134. Припуск и его распределение при сварке полос низкоуглеродистой стали
Размеры в мм

Толщина полосы	Ширина полосы	Припуск				
		общий	на оплавление	на осадку		
				общий	под током	без тока
2	100	9	7	2	1	1
	200	11	9			
	400	11,5	9	2,5	1	1,5
	800	13,5	10	3,5	1,5	2
	1200	15	11	4	2	2,5
	2000	17,5	13	4,5		
3	100	12	9	3	1	2
	200	13,5	10	3,5	1,5	
	400	15	11	4		2
	800	16,5	12	4,5	3	
	1200	18	13	5		3
	2000	20	14	6		
4	100	13,5	10	3,5	1,5	2
	200	15	11	4	2	
	400	16,5	12	4,5		2,5
	800	18	13	5	3	
	1200	19,5	14	5,5		3,5
	2000	21	15	6		
5—10	100	14	10	4	2	2
	200	16	11,5	4,5	2	2,5
	400	17,5	12	5,5	2,5	3
	800	19,5	13,5	6		
	1200	21,5	15	6,5	3	3,5
	2000	23	16	7		

Примечание. При толщине полос $a \leq 3$ мм установочная длина $l_y = (2,0 \div 2,5) a + C_0$; при $a = 5 \div 10$ мм $l_y = (3 \div 3,5) a + C_0$, где C_0 — общий припуск на сварку

135. Ориентировочные режимы сварки труб из низкоуглеродистой и низколегированной стали непрерывным оплавлением
Размеры в мм

Размер трубы	Установочная длина	Вторичное напряжение холостого хода, В	Припуск		
			на оплавление	на осадку	
				под током	без тока
83×5 83×4 76×6 60×6 60×5 60×3	70	6,5—6,8	10—12	4	2
		6,5	10—11	2	3
		6,8—7,2	10—12	4	1,5
		6,5—6,8		2	2
		5,0—5,5	9—10	2	4
		5,0—5,5	8—10	3	2,5
38×4,5 32×5,5 32×4,0 32×3,0	60	6,0—6,5	10—12	3	1
		6,0—6,2	8—9	2	2
		5,0—5,4			

136. Режим стыковой сварки инструмента

Диаметр, мм	Площадь, мм ²	Вторичное напряжение, В	Установочная длина, мм	Припуск, мм						
				общий			на подогрев	на оплавление	на осадку	
				для быстрорежущей стали	для углеродистой стали	Быстрорежущая сталь			Углеродистая сталь	Всего
8—10	50—80	3,8—4	10	15	3	2	5	1	2	1,5
11—15	80—180		12	20	3,5	2,5	0	1,5	2,5	
16—22	200—380	4,0—4,3	15	27	4	3	7	2		0,5
23—30	415—700	4—4,5	18	30	5	3	8	2,5	2	
31—35	750—960	4,5—5,1	20	33	5,5	3,5	9			3
36—40	1000—1260	5,1—5,5	20	30	5,5	3,5	9	2,5	1	
41—46	1320—1660	5,5—6	22	33	6	4	10			3
47—50	1730—1965	6—6,5	22	33	6	4	10	2,5	1	
51—55	2000—2375	6,5—6,8	25	40	7	5	12			4
55—80	2375—5000	7—8	25	40	7	5	12	4	1,5	

Установочная длина и припуск на осадку влияют на качество соединения при сварке оплавлением так же, как при сварке сопротивлением. Их значения при сварке стержней, листов, труб, заготовок инструмента приведены в табл. 133—136; в табл. 137 даны режимы стыковой сварки оплавлением латунных прутков.

137. Режимы стыковой сварки латунных стержней

Марка	Диаметр стержней, мм	Вторичное напряжение, В	Установочная длина, мм	Припуск на оплавление, мм			Припуск на осадку, мм	Усилие механизма осадки, кгс
				равномерное	ускоренное	суммарное		
ЛС59-1	12,5	5,44	40	7	5	12	15	5000
	13,4				6	13		
Л62	15,0	5,65	48	7	8	15	17	6000
	16,0							
ЛМц58-2	17,0	5,65	60	7	8	15	17	7500
ЛЖМц59-1-1	19,5							20,0

Примечания: 1. Сварка осуществлялась на машине, оснащенной пневматическим приводом подачи подвижной плиты с гидротормозом. Сопротивление короткого замыкания машины $Z = 120 \cdot 10^{-6}$ Ом.
2. Скорость равномерного оплавления 1 мм/с, оплавления перед осадкой — 15—18 мм/с.
3. Прутки диаметром более 15 мм сваривают оплавлением с предварительным подогревом одним—тремя замыканиями и размыканиями.

Точечная сварка

Конструкция узлов для точечной сварки должна позволять применять нормальные электроды (см. табл. 126), интенсивное охлаждение которых повышает их стойкость; выполнять сварку без введения больших участков стальных заготовок в сварочный контур машины; сваривать точки в необходимой последовательности, обеспечивающей наименьшую деформацию деталей.

С увеличением количества одновременно свариваемых заготовок снижается качество сварного соединения. В связи с этим в ответственных конструкциях рекомендуется одновременно сваривать не более двух заготовок.

Толщины двух заготовок из листового материала не должны различаться более чем в 3 раза. При большей разности для получения качественного соединения рекомендуется применять конденсаторную или рельефно-точечную сварку.

Точки на деталях необходимо размещать с учетом шунтирования тока. Чем меньше расстояние между точками, а также чем больше толщина и выше электропроводность материала заготовок, тем большая часть общего тока шунтируется через ранее сваренную точку.

Минимальные значения шага точек приведены в табл. 138

138. Рекомендуемые размеры (мм) шага точек

Толщина более тонкой детали	Шаг точек				Толщина более тонкой детали	Шаг точек			
	Конструкционная сталь	Нержавеющая сталь	Сплавы меди	Сплавы алюминия		Конструкционная сталь	Нержавеющая сталь	Сплавы меди	Легкие сплавы
0,5	10	8	15	10	2,0	18	14	25	20
0,8	12	10		12	2,5	22	16	30	23
1,0				14	14	3,0	25		18
1,2	14	12		16	3,5	30	20	35	28
1,5			4,0		35	22	30		

Примечание. При сварке пакета из трех деталей размер шага увеличивают приблизительно на 50%.

Порядок сварки. Участки вблизи ребер жесткости, углы и другие труднодеформируемые места должны быть сварены в первую очередь; участки больших размеров должны свариваться от середины к концам; точки должны свариваться подряд, так как это препятствует образованию гофр и уменьшает шунтирование тока.

Режим сварки определяется следующими основными показателями: величиной силы тока, временем включения тока, усилием сжатия заготовок, формой и диаметром контактной поверхности электродов. Величины этих показателей зависят от свариваемого материала и его толщины.

При сварке двух заготовок различной толщины режим в основном определяется более тонкой заготовкой с некоторым увеличением тока.

Режимы точечной сварки некоторых материалов приведены в табл. 139—143.

Рельефная сварка

Форма, размеры и количество рельефов изменяются в широких пределах в зависимости от формы и толщины свариваемых заготовок, а также их назначения. Для получения качественных соединений требуются тщательная очистка заготовок и точная штамповка как заготовок, так и рельефов. Это обеспечивает равномерное распределение тока и усилия сжатия между рельефами. Скорость нагрева рельефов должна быть оптимальной, чтобы не возникло выплесков (если она завышена) или преждевременного расплющивания рельефов без образования литого ядра (если она занижена). Для предупреждения выплесков целесообразно также постепенное нарастание тока. Применение ковочного усилия обеспечивает получение более устойчивых результатов. Режимы рельефной сварки низкоуглеродистых сталей приведены в табл. 144 и 145.

139. Ориентировочные режимы точечной сварки низкоуглеродистой стали

Толщина заготовки, мм	Диаметр контактной поверхности электродов, мм		Продолжительность прохождение сварочного тока, с	Усилие на электродах, кгс	Сила тока, А
	начальный	перед запуском			
0,5+0,5	5	6	0,2—0,3	30—40	4 000—5 000
1+1	5	6	0,2—0,35	80—120	6 000—7 000
1,5+1,5	5	7	0,25—0,35	120—160	7 000—8 000
2+2	7	8	0,25+0,35	160—200	8 000—9 000
2,5+2,5	8	10	0,4—0,6	200—250	11 000—12 000
3+3	10	12	0,6—1,0	500—600	12 000—16 000
4+4	12	14	0,8—1,1	600—800	14 000—18 000
5+5	12	14	0,9—1,2	800—900	17 000—22 000
6+6	14	15	1,1—1,5	900—1200	20 000—25 000

140. Ориентировочные режимы точечной сварки стали марок 30ХГСА, 40ХНМА и 45 с последующей термообработкой в электродах машины

Толщина заготовок, мм	Диаметр контактной поверхности электродов, мм	Усилие на электродах, кгс	Первый импульс		Пауза между импульсами, с	Второй импульс	
			Сила тока, А	Продолжительность, с		Сила тока, А	Продолжительность, с
0,8+0,8	4—5	60	5 000	0,5	0,24	2500	0,5
1,0+1,0	5—6	80	6 000	0,6	0,20	3000	0,6
1,2+1,2	6—7	100	7 000	0,8	0,24	3500	0,8
1,5+1,5	6—7	140	8 000	1,0	0,30	4000	1,0
2,0+2,0	7—9	200	9 000	1,4	0,40	4500	1,4
2,5+2,5	8—10	300	10 500	1,6	0,46	5000	1,6
3,0+3,0	9—10	400	12 000	2,0	0,5	6000	2,0

141. Ориентировочные режимы точечной сварки аустенитной стали типа Х18Н9

Толщина заготовок, мм	Диаметр контактной поверхности электродов, мм	Усилие на электродах, кгс	Продолжительность включения сварочного тока, с	Сила сварочного тока, А
0,2+0,2	2,5	45—90	0,02—0,06	2 000—3 000
0,5+0,5	4	90—180	0,04—0,08	3 000—4 000
0,8+0,8	5	150—300	0,08—0,12	4 000—5 000
1,0+1,0	5	200—400	0,10—0,16	4 500—6 000
1,5+1,5	7	350—600	0,16—0,24	5 500—8 000
2,0+2,0	8	450—700	0,20—0,28	6 000—10 000
2,5+2,5	8	600—800	0,20—0,30	8 000—11 000

142. Режимы точечной сварки алюминиевых сплавов на однофазных машинах переменного тока [3]

Толщина деталей, мм	Характеристика режима	Сплавы типа Д16АТ, Д20АТ, АМг6						Сплавы типа Д16АМ, Д20АМ, АМг					
		Сварочное уси- лие, кгс	Ковочное уси- лие, кгс	Начало ково- чного уси- лия, с	Действующее значение силы тока, кА	Длительность нарастающей силы тока, с	Длительность силы тока, с	Общее время включения тока, с	Сварочное уси- лие, кгс	Ковочное уси- лие, кгс	Начало ково- чного уси- лия, с	Действующие значения силы тока, кА	Время включе- ния тока, с
0,5±0,5	НН	220	—	—	17	—	—	0,08	130	—	—	16	0,08
	МН	200	—	—	16	0,04	0,12	0,24	—	—	—	—	—
1,0±1,0	НН	450	—	—	24	—	—	0,12	250	—	—	22	0,12
	МН	350	—	—	23	0,04	0,14	0,30	—	—	—	—	—
1,5±1,5	НН	650	—	—	30	—	—	0,16	350	—	—	27	0,14
	МН	550	—	—	29	0,06	0,16	0,38	—	—	—	—	—
2,0±2,0	НК	450	1200	0,18	28	—	—	0,16	—	—	—	—	—
	НН	800	—	—	35	—	—	0,20	500	—	—	32	0,18
	МН	700	—	—	33	0,08	0,18	0,46	400	1000	0,22	30	0,18
	НК	650	1500	0,24	32	—	—	0,20	—	—	—	—	—

Обозначения режимов НН — сила тока и усилие не меняются в процессе сварки;
 МН — сила тока модулированная, усилие не меняется,
 НК — сила тока не меняется, ковочное усилие возрастает

Примечание Начало ковочного усилия дано по отношению к началу включения сварочного тока

143. Режимы точечной сварки алюминиевых сплавов на конденсаторных машинах [3]

Толщина деталей, мм	Усилие, кгс		Начало ково- чного усилия (от на- чала включе- ния тока), с	Сила свароч- ного тока, кА	Длительность импульса, с		Настройка машины типа МК-75 (коэффициент трансформации 40)		
	сварочное	ковочное			Нараста- ние тока	Общая		Напря- жение конден- саторов, В	Емкость батарей, мкФ
0,3±0,3 0,5±0,5 0,8±0,8 1±1 1,5±1,5 2±2 2,5±2,5	120	—	—	16,0	0,006	0,021	0,027	360	8 400
	200	—	—	25,0	0,012	0,027	0,039	320	16 800
	300	500	0,034	27,0	0,014	0,039	0,053	360	25 200
	400	800	0,041	30,5	0,018	0,046	0,064	340	33 600
	600	1400	0,065	48,0	0,026	0,068	0,094	360	84 000
	800	2100	0,084	55,0	0,028	0,074	0,102	380	109 200
	1000	3000	0,127	67,0	0,038	0,104	0,142	400	176 400
	80	—	—	15,0	0,006	0,021	0,027	340	8 400
0,3±0,3 0,5±0,5 0,8±0,8 1±1 1,5±1,5 2±2 2,5±2,5	120	—	—	20,5	0,012	0,027	0,039	320	16 800
	190	—	—	28,0	0,018	0,046	0,064	320	33 600
	250	—	—	32,5	0,019	0,050	0,069	340	42 000
	400	—	—	44,0	0,024	0,064	0,088	360	67 200
	550	1000	0,084	54,0	0,026	0,078	0,104	380	100 800
	700	1400	0,118	65,0	0,032	0,100	0,132	400	168 000

Сплавы типа Д16АТ

Сплавы типа Д16АМ

144. Режимы одноимпульсной рельефной сварки тонколистовой низкоуглеродистой стали [2]

Толщина каждой детали, мм	Размеры рельефа, мм		Рекомендуемые минимальные размеры, мм		Минимальный диаметр литого ядра, мм	Сила сварочного тока на рельеф, кА	Усилие на рельеф, кгс	Продолжительность сварочного импульса, с
	Диаметр	Высота	Расстояние между рельефами	Нахлестка фланцев				
0,6	2	0,5	14	5	3	5,5	90	0,06
0,8	2,5	0,5	16	5,5	3	6,6	110	0,06
1		0,7	21	7	4	8	150	0,16
1,2	3	0,7	24	8	4,5	8,8	180	0,16
1,5	4	0,9	28	10	5,5	10,3	250	0,24
1,8	4	0,9	30	10	5,5	11	300	0,28
2	5	1	32	11	6	11,8	360	0,3
2,4	5,5	1	34	13	7	13,1	460	0,32
2,8	6	1,4	46	16	8	14,1	560	0,38
3,2	7	1,5	48	18	9	14,8	680	0,44

145. Режимы рельефной сварки низкоуглеродистой стали повышенных толщин [2]

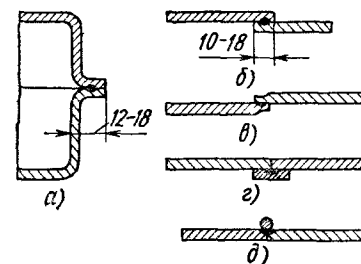
Толщина каждой детали, мм	Размеры рельефа, мм		Рекомендуемые минимальные размеры, мм		Минимальный диаметр литого ядра, мм	Сила сварочного тока, кА	Усилие на рельеф, кгс		Продолжительность нарастания силы тока, с	Общая продолжительность сварки, с
	Диаметр	Высота	Расстояние между рельефами	Нахлестка фланцев			при сварке	при проковке		
<i>Нормальные рельефы</i>										
3,6	8	1,6	38	19	11	15,4	900	1900	0,3	1,2
4	9	1,7	40	20	12	16,1	1040	2080	0,3	1,4
4,4	9,5	2	44	22	13	17,4	1200	2400	0,4	1,64
4,8	10	2	48	24	14	18,8	1330	2660	0,4	1,96
5,2	11	2,3	50	25	15	20,2	1440	2880	0,5	2,24
6,4	13,5	2,8	64	32	18	23,3	1770	3540	0,6	2,9
<i>Уменьшенные рельефы</i>										
3,6	6,8	1,5	40	19	9	11,1	640	1280	0,3	1,2
4	7,5	1,6	42	20	10	11,8	650	1300	0,3	1,4
4,4	8	1,7	43	21	11	12,8	680	1360	0,4	1,64
4,8	8,5	1,8	44	23	11,5	13,9	725	1450	0,4	1,96
5,2	9	2	46	24	12	14,9	785	1570	0,5	2,24
6,4	10	2,2	52	28	13	17,3	950	1900	0,6	2,9

Роликовая сварка

Типы соединений для роликовой сварки выбирают с учетом толщины и материала заготовок, а также условий работы изделия. При изготовлении сосудов предпочтительнее соединение с отбортовкой (рис. 125, а). При таком соединении деталь во время сварки не вводится в сварочный контур машины, следовательно, сохраняется постоянная величина силы сварочного тока.

Введение в сварочный контур машины магнитных материалов, например, заготовок из низкоуглеродистой стали, вызывает рост индуктивного сопротивления машины, в результате чего уменьшается сила

Рис. 125. Типы соединений при роликовой сварке:
 а — с отбортовкой;
 б — внахлестку; в — с уменьшенной нахлесткой; г — с подкладкой; д — встык с пруток



сварочного тока. Ширина отбортовки для стальных заготовок толщиной 1—2 мм находится в пределах 12—18 мм.

Широко применяют соединение внахлестку (рис. 125, б), которые при роликовой сварке обеспечивают высокую прочность и плотность швов. Величину нахлестки берут 10—18 мм. Другие соединения, показанные на рис. 125, применяют значительно реже, так как они не обеспечивают достаточной прочности.

Длинные швы при роликовой сварке заготовок из магнитных материалов, вводимых в контур машины, рекомендуется разбивать на два или более участка. При разбивке на два участка швы сваривают от середины к концам. При большом количестве одинаково расположенных участков выделяют в отдельные группы, которые затем сваривают на разных ступенях трансформатора. Это позволяет предупредить непрочный шва вследствие уменьшения силы тока при введении в контур машины магнитных материалов.

Режим сварки. Общими показателями режима для всех способов роликовой сварки (см. табл. 114) являются: величина силы сварочного тока, усилие сжатия заготовок между электродами, скорость сварки, форма и ширина контактной поверхности роликов. Для прерывистой роликовой сварки дополнительными показателями являются время включения и время выключения тока, составляющие в сумме цикл сварки. Циклы следуют один за другим так, что отдельные сварные точки перекрывают одна другую, образуя прочноплотный шов.

Режимы роликовой сварки приведены в табл. 146—149.

146. Режимы непрерывной роликовой сварки низкоуглеродистой стали

Толщина заготовок, мм	Ширина роликов, мм	Усилие сжатия, кгс	Скорость сварки, м/мин	Сила тока, А
0,2+0,2 0,5+0,5 1+1	4 5 5	80 100 120	1	2500 3000 3500
0,2+0,2 0,5+0,5 1+1	4 5 5	80 100 120	1,5	3000 3500 5000
0,2+0,2 0,5+0,5 1+1	4 5 5	80 100 120	2	3500 4500 7000

147. Режимы прерывистой роликовой сварки низкоуглеродистой стали

Толщина заготовок, мм	Ширина контактной поверхности роликов, мм	Усилие сжатия, кгс	Время включения тока, с	Время выключения тока, с	Приблизительное количество прерываний		Скорость сварки, м/мин	Сила тока, А	Примерный шаг точек, мм
					в секунду	на 1 м шва			
0,25+0,25	5	175	0,04	0,02	16	500	2	8 000	2
0,5+0,5					12,5	400	1,9	11 000	2,5
0,75+0,75	6	300	0,06	0,04	10	333	1,88	13 000	3
1+1					8	386	1,75	15 000	3,5
1,25+1,25	8,5	450	0,08	0,06	7	252	1,7	16 500	3,9
1,5+1,5					6	250	1,5	17 500	4
2+2	10	650	0,12	0,1	5	200	1,4	19 000	5

148. Режимы прерывистой роликовой сварки нержавеющей стали

Толщина заготовок, мм	Ширина контактной поверхности роликов, мм	Усилие сжатия, кгс	Время включения тока, с	Время выключения тока, с	Приблизительное количество прерываний		Скорость сварки, м/мин	Сила тока, А	Примерный шаг точек, мм
					в секунду	на 1 м шва			
0,1+0,1	3	60	0,02	0,2	25	1000	1,5	2000	1
0,2+0,2					16	640		2500	
0,3+0,3	4	100	0,04	0,04	12,5	500	1,2	3000	1,5
0,4+0,4								3500	
0,5+0,5	5	150	0,06	10	600	1,0	4000	2	
0,6+0,6	6	180					4200		
0,8+0,8	7	200	0,06	8,3	500	1,0	4500	1,6	
1+1							5000		
1,2+1,2	350	270	0,08	0,08	6,2	370	5000	2	
							6000		2,7

149. Режимы прерывистой роликовой сварки алюминиевых сплавов

Толщина заготовок, мм	Ширина контактной поверхности роликов, мм	Усилие сжатия, кгс	Время включения тока, с	Время выключения тока, с	Приблизительное количество прерываний		Скорость сварки, м/мин	Сила тока, А	Примерный шаг точек, мм
					в секунду	на 1 м шва			
0,4+0,4	2,3	230	0,02	0,06	12,5	800	0,95	22 000	1,25
0,6+0,6	2,8								
0,8+0,8	3,3	320	0,04	0,08	8,3	588	0,8	24 000	1,70
1,0+1,0	3,6								
1,2+1,2	4	390	0,06	0,14	5	500	0,6	36 000	2,0
1,5+1,5	4,8								
2,0+2,0	6,6	490	0,08	0,24	3,1	400	0,5	41 000	2,5

ДЕФЕКТЫ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА

Основные дефекты стыковой, точечной и роликовой сварки, а также причины их возникновения приведены в табл. 150 и 151

150. Дефекты стыковой сварки и их причины

Дефект	Причина
Неметаллические включения в стыке (главным образом окислы)	Неустойчивое оплавление, мала конечная скорость оплавления, недостаточная величина осадки преждевременное выключение тока, низкая скорость осадки
Непровар	Недостаточное давление осадки, недостаточный нагрев заготовок вследствие заниженных сил тока, времени нагрева, припусков на подогрев и оплавление, мала осадка
Перегрев металла	Велики припуски на оплавление, осадку под током велики силы тока и время его протекания, чрезмерный подогрев перед оплавлением, завышена установочная длина
Смещение торцов заготовок	Неправильная подготовка торцов заготовок, плохая наладка машины, недостаточная жесткость зажимов машины и ее направляющих, большая установочная длина
Поджог на поверхности заготовок в местах токоподвода	Не очищены заготовки, загрязнены токоподводящие губки, недостаточное усилие зажатия, плохое охлаждение электродов
Трещины в зоне сварки	Недостаточный предварительный нагрев, малая установочная длина, перегрев металла, большое давление осадки, чрезмерно быстрый нагрев и охлаждение (при завышенной силе тока)

151. Дефекты точечной и роликовой сварки и их причины

Дефект	Причина
Непровар (отсутствие или малые размеры литого ядра)	Недостаточные силы тока или время включения, плохая сборка и очистка заготовок, завышены контактная поверхность электродов или давление, большое шунтирование тока из за малого шага точек, плохой сборки и очистки заготовок или случайного касания заготовок с токоведущими частями машины
Перегрев наружных поверхностей заготовок, выплеск	Плохая очистка заготовок, включение тока при недостаточном усилии на электродах, завышены сила тока или время включения, не очищены электроды
Трещины и раковины в ядре точки	Недостаточны время включения, время проковки и усилии на электродах, с за позданием осуществляется проковка по вышенным давлением после выключения тока, плохая очистка заготовок
Хрупкость сварного соединения	Интенсивное охлаждение места сварки в результате недостаточного времени включений тока или завышенного времени пребывания детали под электродами после выключения тока
Негерметичность роликово-го соединения	Недостаточны ток или время сварочного импульса, велико время паузы между импульсами тока, уменьшился ток вследствие введения в контур машины заготовок из магнитных материалов, плохая очистка заготовок
Глубокие вмятины на поверхности заготовок	Завышены сила сварочного тока или время его включения, недостаточные размеры контактной поверхности электродов

При изготовлении деталей контактной сваркой необходимо контролировать исходные заготовки, состояние и настройку контактных машин, режимы сварки и качество деталей после сварки. Сварка загрязненных заготовок приводит к непроварам, выплескам, прожогам, повышенному износу электродов и другим дефектам.

В процессе подготовки машины к сварке необходимо проверить зажимы, направляющие, устранить зазоры, установить необходимые усилия сжатия, отрегулировать момент включения и выключения тока.

Правильность выбранных режимов проверяют сваркой опытных образцов с последующим испытанием их на прочность (при необходимости соединения, выполненные роликовой сваркой, испытывают также на плотность).

Качество деталей после сварки контролируют внешним осмотром, механическими испытаниями на прочность, анализом макро- и микроструктуры в зоне соединения. В отдельных случаях применяют физические методы контроля, например рентгеновский, ультразвуковой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гельман А. С. Технология и оборудование контактной электросварки. М., Машгиз, 1960, 364 с.
2. Гуляев А. И. Технология точечной и рельефной сварки сталей. М., «Машиностроение», 1969, 235 с.
3. Зайчик Л. В., Орлов Б. Д., Чулошников П. Л. Контактная электросварка легких сплавов. М., Машгиз, 1963, с. 98—122.
4. Кабанов Н. С., Слепак Э. Ш. Технология стыковой контактной сварки. М., «Машиностроение», 1970, с. 124—256.
5. Слюзберг С. К. Медные сплавы и электроды контактных сварочных машин. М., «Машиностроение», 1970, 50 с.

ГЛАВА 10

НОВЫЕ СПОСОБЫ СВАРКИ

СВАРКА ПЛАЗМЕННОЙ ДУГОЙ

Сварка плазменной дугой находит все более широкое применение в различных отраслях техники.

Плазменная дуга характеризуется весьма высокой температурой (до 30 000° С) и широким диапазоном регулирования ее технологических свойств [10].

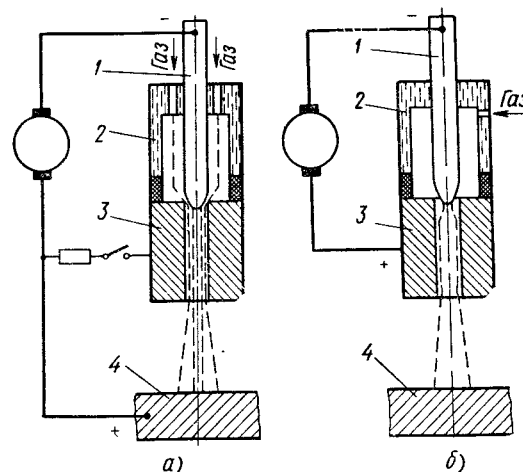


Рис. 126. Схемы устройства плазматронов: а — с дугой прямого действия; б — с дугой косвенного действия

По сравнению с аргоно-дуговой сваркой в связи с более высокой проплавляющей способностью плазменная сварка обладает следующими преимуществами: повышенная производительность, меньшая величина зоны термического влияния, более низкие деформации при сварке, пониженный расход защитных газов, более высокая стабильность горения малоамперной дуги и меньшая чувствительность качества шва к изменению длины дуги.

Для получения плазменной дуги служит устройство, называемое плазматроном. Существует два типа плазматронов — с дугой прямого (рис. 126, а) и с дугой косвенного действия (рис. 126, б).

В плазмотронах прямого действия плазменная дуга создается между стержневым (как правило, вольфрамовым) электродом 1, смонтированным в газовую камеру 2, и свариваемым изделием 4.

Сопло 3 электрически нейтрально и служит для сжатия и стабилизации дуги.

В плазмотронах косвенного действия плазменная дуга создается между электродом 1 и соплом 3.

Для плазменной сварки обычно применяют плазмотроны с дугой прямого действия.

Сжатие столба дуги происходит следующим образом: рабочий газ, проходящий через столб дуги, нагревается, ионизируется и выходит из сопла плазмотрона в виде плазменной струи.

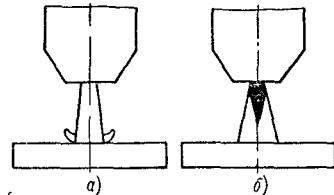


Рис. 127. Внешний вид:

а — плазменной струи, совмещенной со столбом дуги прямого действия, б — плазменной струи, выделенной из столба дуги косвенного действия

Плазменная струя дуги прямого действия имеет почти цилиндрическую форму, немного расширяющуюся к изделию (рис. 127, а). Плазменная дуга косвенного действия имеет форму ярко выраженного конуса с вершиной, обращенной к изделию и окруженной факелом (рис. 127, б).

Слой газа, омывающий столб дуги снаружи, остается относительно холодным, образуя теплоизоляцию между плазменной дугой и каналом сопла. Плотность тока дуги в плазмотронах достигает до 100 А/мм², а температура 15 000—30 000°С.

Плазменная струя, истекающая из плазмотрона с дугой прямого действия, совмещена со столбом дуги в отличие от плазмотронов с дугой косвенного действия и поэтому характеризуется более высокой температурой и тепловой мощностью. Процесс возбуждения дуги непосредственно между электродом и изделием осуществить очень трудно. В связи с этим вначале возбуждается дуга между электродом и соплом (дежурная), а затем при касании ее факела изделия происходит автоматическое зажигание основной дуги между электродом и изделием.

Дежурная дуга при устойчивом процессе горения основной отключается. Дежурная дуга обычно питается от того же источника, что и основная, через токоограничивающее сопротивление.

В плазмотронах с дугой прямого действия в изделие вводится дополнительное тепло за счет электронного тока и к. п. д. их значительно выше, чем у плазмотронов с дугой косвенного действия. В связи с этим плазмотроны с дугой прямого действия целесообразно применять для сварки, резки, наплавки, а плазмотроны с дугой косвенного действия — для напыления, нагрева и т. п.

Плазменная дуга может быть широко использована: при сварке тонколистового материала толщиной менее 1 мм, включая тугоплавкие металлы, при сварке металлов с неметаллами, для наплавки и нанесения покрытий путем расплавления электродной или дополнительной подаваемой в дугу присадочной проволоки, для пайки, для дополнительной резки и поверхностной обработки различных материалов.

Режимы сварки плазменной дугой приведены в табл. 152 [4, 10].

152. Режимы сварки плазменной дугой

Марка материала	Толщина листов, мм	Скорость сварки, м/ч	Сила тока, А	Напряжение дуги, В	Расход газа, л/мин
0X18H10T	1,0	40	65	22	0,3—0,5
AMr 6	3	50	120	16	2—3
	4	30	150		
	5		220		
	6	25	300	18	3—4
	7		350		
	8	380	20	4—5	5—6

153. Характеристика плазменных головок ИМЕТ

Тип и варианты исполнения	Мощность, кВт	Максимальная сила тока, А		Диаметр, мм			Длина канала сопла, мм	Углубление, мм	Газаритные размеры, мм	Масса, кг	Основные области применения
		С разделенным соплом и каналом*	С совмещенным соплом и каналом**	Электрод	Сопло	Канал					
ИМЕТ-104 для автоматической работы	15	180	300	2—6	1,5—5	4—8	4—10	15—30	50×240	0,6	Сварка, резка
ИМЕТ-105 для автоматической работы	25	250	500	4—8	3—10	6—10	5—10	15—27	60×220	1,4	Нанесение покрытий, резка, наплавка
ИМЕТ 106 для ручной и автоматической работы	15	—	300	4—6	3—5	—	6—8	10—12	50×110	0,35	Резка

* Со струей, выделенной из столба дуги

** Со струей, выделенной или совпадающей со столбом дуги

Технические характеристики горелок для выполнения сварки плазменной дугой конструкции института металлургии им. А. А. Байкова АН СССР приведены в табл. 153. Технические характеристики выпускаемой серийно аппаратуры для плазменной сварки даны в табл. 154.

154. Аппаратура для плазменной сварки

Установка и назначение	Напряжение холостого хода, В	Номинальная сила сварочного тока, А	Предел регулирования силы тока, А	Потребная мощность, кВт	Масса, кг	Завод-изготовитель
УПСР-300 2, разработана ВНИИЭСО, предназначена для сварки нержавеющей и малоуглеродистых сталей толщиной 1—5 мм	65	300	30—300	—	18	Завод «Электрик»
АП-4 * (источник питания), разработан ИЭС имени Е. О. Патона АН УССР, предназначен для сварки различных металлов и сплавов толщиной от десятков микрон до нескольких миллиметров	40	30	1—30	1,2	55	Симферопольский электромашиностроительный завод
АП 5 *, назначение такое же, как и у АП 4	40	100	5—100	4,0	150	То же
А 1255, разработана ИЭС имени Е. О. Патона АН УССР, предназначена для микроплазменной сварки металлов и сплавов толщиной до 1 мм	55	10	1—10	0,8	5,4	Опытный завод ИЭС имени Е. О. Патона
А-1326, назначение такое же, как и у А-1255	80	30	1—30	2,5	150	

* При дополнительном комплектовании плазмотронами

Примечания 1 Напряжение питающей сети 380 В
2 Диаметр вольфрамового электрода установки УПСР-300 2—3 мм
3 Пределы регулирования импульса тока и паузы для установок АП 4 и АП 5 0,03—0,6 с
4 Время гашения дуги установок АП-4 и АП 5 1—10 с

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ СВАРКА

Этот способ сварки основан на использовании энергии, высвобождаемой при торможении потока ускоренных электронов в свариваемых материалах [6]. Преобразование кинетической энергии в тепловую характеризуется высоким к. п. д.

Преимущества электронно-лучевой сварки: отсутствие окисления расплавленного металла и гарантированное высокое качество сварного соединения, возможность сварки тугоплавких металлов, большая скорость сварки, не уступающая дуговой сварке.

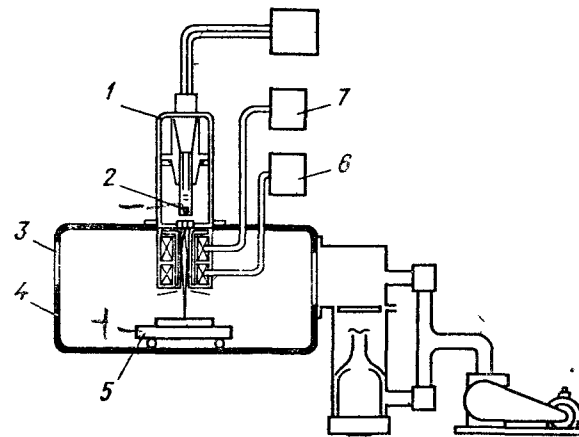


Рис. 128. Схема установки для электронно-лучевой сварки

Схема установки для электронно-лучевой сварки показана на рис. 128. Она включает следующие основные элементы: электронно-лучевую сварочную пушку 1 с системами управления и электропитания, формирующую поток электронов, электроны могут быть ускорены до энергии 20—30 кэВ (низковольтные пушки), 30—100 кэВ (пушки с промежуточным ускоряющим напряжением), 100—200 кэВ (высоковольтные пушки), вакуумную камеру 4 с люками загрузки и выгрузки деталей, механизмами перемещения свариваемых деталей 5 и со смотровыми окнами 3, вакуумную систему, обеспечивающую при сварке в рабочем объеме камеры разрежение 10^{-4} — 10^{-5} мм рт. ст.

Поток электронов, эммитируемых катодом, формируется предварительно электростатическим полем в области катод—анод.

Регулировка величины тока луча производится путем подачи отрицательного напряжения на управляющий (прикатодный) электрод 2.

Величина удельной энергии, высвобождаемой в месте бомбардировки металла потоком электронов, может изменяться с помощью системы электромагнитной фокусировки луча 7.

Для совмещения пятна нагрева со сварным стыком при отклонении последнего от геометрической оси пушки или при сварке по сложному контуру служит система электромагнитного отклонения луча 6.

155. Режимы электронно-лучевой сварки некоторых металлов

Материал	Толщина, мм	Режим сварки			Приближительная ширина шва, мм
		Ускоряющее напряжение, кВ	Сила тока луча, мА	Скорость сварки, м/ч	
Вольфрам	0,5	18—20	40—50	60	1,0 1,5
	1,0	20—22	75—80	50	
Тантал	0,5	18—20	30—40	60—75	1,0 1,5
	1,0	20—22	50	50	
Молибден	1,0	18—20	60—80	60—75	3,0
	2,0	20—22	130—150	50	
Ниобий	1,0	18—20	50	60	1,5
Медь	1,0	18—20	100—120	60—70	
Титан ВТЗ-1	1,0	18—20	50—60	60—80	
Константан	1,5	18—20	50—60	50—70	
Сталь Х18Н9Т	1,5	18—20	50—60	60—70	2 4 7
	10	18—20	240	50	
	20	20—22	270	50	
	35	20—22	500	20	
Молибден и вольфрам	0,5+0,5	18—20	45—50	35—50	1,0
Бронза Бр. Х0,8 и титан ВТЗ-1	1+1	18—20	90—100	50—60	1,5

Электронно-лучевые пушки изготавливают стационарными или перемещаемыми внутри вакуумной камеры. Размеры вакуумной камеры определяют габариты свариваемого изделия. Установки для сварки изделий малых и средних габаритов, как правило, снабжают специальными механизмами для перемещения изделий.

Электронным лучом можно сваривать вольфрам, молибден и другие тугоплавкие металлы, которые обычными методами не свариваются. Режимы электронно-лучевой сварки встык без разделки кромок приведены в табл. 155.

Технические характеристики отечественных и зарубежных установок для электронно-лучевой сварки даны в табл. 156.

156. Универсальные установки для электронно-лучевой сварки мелких и средних изделий

Тип установки	Назначение	Габаритные размеры вакуумной камеры, мм	Параметры пушки и источника питания *	Изготовитель
ЭЛУ-4	Универсальная установка	$\varnothing 700$, $l \approx 1200$	$\frac{60}{35}$	Тбилисский завод «Электросварка» им Патона
У-3М2	Многопозиционная установка для сварки продольных и кольцевых швов на изделиях длиной 250 мм и диаметром 70 мм	$\varnothing 529$, $l \approx 1000$	$\frac{25}{500}$	Киевский завод порционных автоматов имени Ф. Э. Дзержинского
A.306.02	Универсальная установка для сварки изделий электронной техники	$500 \times 500 \times 500$	$\frac{20}{150}$	Электропромышленность СССР
A.306.05		$500 \times 500 \times 500$	$\frac{25}{200}$	
У-74	Специализированная установка для сварки труб с трубными досками	$\varnothing 800$, $l \approx 1000$	$\frac{40}{75}$	Опытный завод ИЭС имени Е. О. Патона
У-101	Специализированная установка для сварки труб большой длины встык и вварки пробок в трубы	$500 \times 500 \times 500$	$\frac{25}{500}$	

*

Продолжение табл. 156

Тип установки	Назначение	Габаритные размеры вакуумной камеры, мм	Параметры пушки и источника питания *	Изготовитель
443	Универсальная промышленная установка	550×550× ×550	$\frac{40}{50}$	Фирма Сиакс
456		1200×500× ×750	$\frac{30}{350}$	
УХ-20-30-48		—	$\frac{30}{350}$	
2410		∅ 760, $l \approx 1070$	$\frac{30}{200}$	США
ЕВ-2	∅ 550, $l \approx 600$	$\frac{20}{150}$		
JEBW-2B	Универсальная установка лабораторного типа	∅ 550, $l \approx 660$	$\frac{25}{30}$	Япония
JEBW-2C		∅ 800, $l \approx 1200$	$\frac{25}{100}$	
JEBW-3A		400×400× ×400	$\frac{25}{30}$	
JEBW-4A	Специализированная установка для сварки пакетов из листов 300× ×1000×200 мм	800×800× ×800	$\frac{30}{500}$ **	
JEBW-5B	Специализированная установка для сварки пакетов из листов 1500× ×3000×300 мм	6000×4450× ×1200	$\frac{50}{500}$ **	

* В числителе указано ускоряющее напряжение в кВ, в знаменателе — сила тока пучка в мА

** Две пушки.

СВАРКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЛЬТРАЗВУКА

Ультразвук — это волнообразно распространяющееся колебательное движение частиц твердых тел, жидкостей, газов, происходящее с частотой более 16—20 кГц.

Сущность процесса ультразвуковой сварки состоит в том, что при приложении колебаний высокой частоты к свариваемым деталям в них возникают касательные напряжения, вызывающие пластические деформации материала свариваемых поверхностей [9].

В результате механических колебаний в месте соединения металла развивается повышенная температура, зависящая от свойств свариваемого материала. Эта температура способствует возникновению пласти-

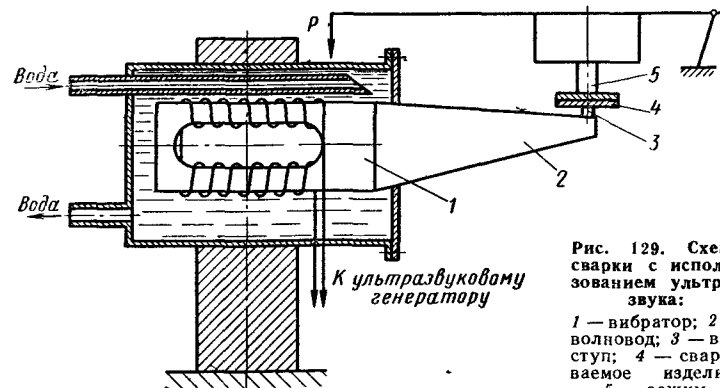


Рис. 129. Схема сварки с использованием ультразвука:

1 — вибратор; 2 — волновод; 3 — выступ; 4 — свариваемое изделие; 5 — зажим

ческого состояния материалов и их соединению. В местах сварки образуются совместные кристаллы, обеспечивающие прочность сварного соединения.

Длительность процесса сварки исчисляется для деталей малой толщины долями секунды. Схема установки, разработанной МВТУ и МЭИ, для получения точечных соединений ультразвуком показана на рис. 129. Вибратор 1, обмотка которого питается током высокой частоты, изготовлен из пирмендиора и охлаждается водой. Вибратор служит для преобразования тока высокой частоты в механические колебания, которые передаются на волновод 2, являющийся одновременно усилителем-концентратором механических колебаний.

На конце волновода имеется выступ 3, который служит одним из электродов. При сварке деталь 4 зажимают между выступом 3 волновода и подвижным зажимом 5, через который передается на деталь необходимое для сварки давление. Сварка происходит в момент включения электрического тока высокой частоты на обмотку вибратора.

Сварка ультразвуком по сравнению с другими видами сварки имеет ряд преимуществ:

не происходит нагрева значительных объемов металла до температуры плавления или близких к ней. В связи с этим сварка ультразвуком незначительно изменяет физико-химические свойства металла;

157. Режимы ультразвуковой сварки некоторых металлов и их сплавов

Марка материала	Толщина, мм	Параметры режима			Материалы наконечника	Твердость материала наконечника НВ
		Контактное усилие	Время сварки, с	Амплитуда колебаний, мкм		
<i>Алюминий и его сплавы</i>						
А1	0,3—0,7 0,8—1,2 1,3—1,5	20—30 35—50 50—70	0,5—1,0 1,0—1,5 1,5—2,0	14—16	Сталь 45	160—180
Д1АМ АМ16 АМ13 Д16АМ	0,3—0,7 0,3—0,5 0,6—0,8 0,3—0,7 0,8—1,0 1,1—1,3 1,4—1,6	30—60 30—50 60—80 30—60 70—80 90—100 110—120	0,5—1,0 1,0—1,5 0,5—1,0 0,5—1,0 1,0—1,5 2,0—2,5 2,5—3,5	17—19 22—24		
Д16АТ	0,3—0,7 0,8—1,0 1,1—1,3 1,4—1,6	50—80 90—110 110—120 130—160	1,0—2,0 2,0—2,5 2,5—3,0 3,0—4,0	20—22	Сталь 45	160—180
Д16АТ анодированный	0,4 0,6 1,8 1,0	50 60 80 100	1,0 1,25 1,0 2,0	22—24 24—26		
М1	0,3—0,6 0,7—1,0 1,1—1,3	30—70 80—100 100—130	1,5—2,0 2,0—3,0 3,0—4,0	16—20	<i>Титан и его сплавы</i>	
АТ3	0,2	40	0,3	16—18	Наконечник с твердой наплавкой	60 *
АТ3	0,25	80	0,25	22—24		
АТ4	0,25 0,5			40 60		
ВТ1	0,5	80	0,5	20—22	20	60 *
	0,8	90	1,5	22—24		
	1,0	120	0,25	18—20		
	0,5 0,5+0,5	90	0,25	23—25		

Примечание. Радиус сферы наконечника при сварке алюминия и его сплавов, титана и его сплавов и циркония равен 10 мм, а при сварке меди — 10—15 мм.

* Твердость НРС.

158. Установки для ультразвуковой сварки

Параметры	УЗСМ-1	УЗСМ-2	УЗСМ-3	УТ-4	УЗТШ-1	ИО20-019	МТУ-0,4	МТУ-1,5	МТУ-4
	Мощность магнитострикционного ультразвукового преобразователя, кВт	2,5—4,0	2,5—4,0	1,0	4,0	4,0	0,5	0,4	1,5
Рабочая частота, кГц	19,5	19,5	22	20	20	14—19	24,5	22,1	18
Наибольшая толщина свариваемой детали, мм	1,5*1	—	—	—	—	1,0**2	0,2	0,5**3	1,2
Пределы регулирования контактного усилия, кгс	20—200	20—140	5—20	5—200	10—200	2—40	8—60	15—150	50—550
Пределы регулирования времени сварки, с	0,1—4,0	—	—	0,1—2,0	0,2—8	0,2—5,7	—	—	—
Род привода, создающего контактное усилие	Пневматический	Рычажно-механический	Рычажный	Рычажно-механический	Пневматический	Рычажно-механический	Пневматический	—	—
Скорость сварки, м/ч	—	4,5—150	—	—	4,5—145	—	—	—	—
Габаритные размеры в мм	1250	1320	150	1020	1440	1300	1200	1400	1400
высота	430	490	180	635	570	670	450	500	500
ширина	670	490	180	680	745	1000	610	650	650
длина	120	200	750	70	240	105	60	82	105
Масса, кг	—	—	8	—	—	—	—	—	—
Источник питания (генератор)	УЗГ-2,5 или УЗГ-5	УЗГ-2,5 или УЗГ-5	УЗГ-2,5	УЗГ-5 или ГУЗ-56	ГУЗ-56	А624-12	УМ-1-0,4	УЗМ-1,5	УМЗ-10

* По алюминию.

** По вольфраму.

** По меди.

для получения сварного соединения требуется малая электрическая мощность;

возможность производить сварку плакированных и оксидированных поверхностей, так как при этом способе сварки пластические деформации происходят лишь в тонком слое у поверхности соприкосновения соединяемых деталей, способствующих разрушению хрупких окисных и других имеющихся здесь пленок. Не требуется тщательная подготовка поверхностей свариваемых деталей, обычно ограничиваются их обезжириванием.

Этот способ можно применять как для сварки двух листов малой толщины, так и для пакетной сварки, сварки разнородных металлов (нержавеющих сталей с алюминием, меди с алюминием и др.), деталей малой и большой толщины, трудносвариваемых металлов (молибдена, вольфрама, тантала, циркония и др.), а также для сварки пластмасс.

Экспериментально установлено, что прочность соединения, выполненного сваркой ультразвуком, во многих случаях превосходит прочность соединения, полученного контактной сваркой.

Рекомендуемые режимы сварки алюминия и его сплавов, меди, титана и его сплавов, циркония приведены в табл. 157.

При сварке сталей различных толщин колебания вводят со стороны более тонкой детали. Технические характеристики установок для выполнения сварки ультразвуком приведены в табл. 158.

ДИФфуЗИОННАЯ СВАРКА В ВАКУУМЕ

Способ сварки основан на диффузионном соединении материалов в вакууме без их расплавления [4, 8]. Образование подобного соединения объясняется возникновением металлических связей за счет локальной пластической деформации при повышенной температуре, значительным сближением поверхностей, а также взаимной диффузией в поверхностных слоях контактирующих материалов.

Диффузионная сварка в вакууме по сравнению с другими способами имеет следующие преимущества: дает возможность соединять разнородные материалы без каких-либо особых трудностей, позволяет выполнять соединения из очень тонких элементов в сочетании с элементами значительной толщины, обеспечивает равнопрочность основного металла и сварного соединения, позволяет соединить любые материалы, изготовленные стандартными методами, в процессе сварки отсутствует плавление металла, что исключает влияние на сварное соединение целого ряда неблагоприятных металлургических явлений, удешевляет конструкцию (в частности, за счет отсутствия флюсов, припоев и т. п.).

Процесс сварки с помощью диффузионного соединения условно подразделяют на две стадии.

На первой стадии происходит нагрев материалов до высокой температуры и приложение давления, что вызывает пластическое течение микровыступов, разрушение и удаление различных пленок на контактирующих поверхностях. При этом образуются многочисленные участки непосредственного металлического контакта (металлические связи).

На второй стадии происходит ликвидация оставшихся микронесплошностей и образование объемной зоны взаимного соединения под действием процессов диффузии.

Для получения соединения материалов с помощью диффузионной сварки с технологической точки зрения необходимо выполнить следу-

ющие операции: очистить соединяемые поверхности (лучше всего металлической щеткой) и устранить возможность дальнейшего их окисления, приложить сжимающее усилие, нагреть соединяемые детали, обеспечив выдержку их при заданной температуре.

С помощью диффузионной сварки в вакууме можно соединять однородные и разнородные черные, цветные металлы и сплавы, а также металлокерамические изделия с металлами. Оптимальные режимы диффузионной сварки некоторых металлов и сплавов приведены в табл. 159.

Для выполнения диффузионной сварки разработано более 40 типов сварочных диффузионных вакуумных установок (СДВУ).

Сварочные диффузионные вакуумные установки состоят из следующих основных узлов: вакуумной системы для обеспечения вакуума в рабочей камере, системы для создания давления на соединяемые детали, системы для подъема и опускания камеры, электросистемы и системы автоматизации (привод и управление узлами установок)

Технические характеристики сварочных диффузионных вакуумных установок приведены в табл. 160.

159. Режимы диффузионной сварки некоторых металлов и сплавов

Материал	Температура сварки, К	Удельное давление, кгс/мм ²	Время сварки, мин	Температура плавления, К	T/T _{пл}
<i>Алюминий и его сплавы</i>					
Алюминий АД1 + ковар Н29К18А . . .	723	0,1—0,2	5	913	0,7
Силумин Д1 + сталь 38ХН10А	643	0,2	10	776	0,8
Алюминий АД1 + медь М1	723	0,3—	8	913	0,7
Сплав АМг6 + сплав АМг6	773	0,2	10	883	0,87
<i>Медь и ее сплавы</i>					
Медь М1 + медь М1	1153	0,56	8	1356	0,84
Медь М1 + ковар Н29К18А	1123	0,3	10	1356	0,83
Медь М1 + сталь 45	1123	0,5	10	1356	0,83
Медь МБ + молибден М2—1	1173	0,5	15	1356	0,86
<i>Прочие металлы</i>					
Сталь 45 + сталь 45	1273	1,2	5	1623	0,78
Ниобий + ниобий . .	1573	1,5	10	2743	0,57
Молибден + ниобий .	1673	1	20	2743	0,61
Молибден + молибден	1873	1	20	2898	0,64
Вольфрам + вольфрам	2273	1	20	3683	0,62
Молибден + вольфрам	2173	2	30	2898	0,75
Вольфрам + рений + молибден	2173	2	30	2898	0,75

160. Установки диффузионной сварки в вакууме**

Установка и назначение	Количество камер (число позиций)	Размеры рабочего пространства, мм	Максимальная температура, °C	Диапазон рабочих усилий, кгс	Средняя скорость разрядки в рабочей камере, мм рт. ст.	Лабораторные размеры установки без источника нагрева, мм	Источник нагрева (тип выходящего генератора)	Проектирующая организация, калыкодержатель
СДВУ-4М, многопозиционная сварочная установка для сварки резцов, угольников, магнитов и т. д.	1 (12)	619×364× X 186	1200	25—480	10 ⁻³ 10 ⁻⁵	1610×1070× X 1775	ЛЗ-67	—
СДВУ-6, лабораторная сварочная установка	1	360×315× X 270	1200	20—1200	5·10 ⁻⁸	850×660× X 1760	ЛЗ-13	—
СДВУ-15-1, для сварки различных деталей из металлов и металлов	1 (1)	Ø 350; H=500 (Ø 250; H=350)*1	1500	13,5—16 800	10 ⁻⁴	1050×830× X 2305	ЛЗ-67	—
СДВУ-15-2	2**	320×345× X 500	1500	450—21 000	2·10 ⁻⁴	2350×970× X 2335	ЛЗ-67	ПНИЛДСВ
СДВУ-12, полуавтоматическая установка для сварки металлов, сплавов и металлов	1 (2)	Ø 50; H=100	1100	350—500**	5·10 ⁻⁶	1270×720× X 1400	ЛЗ-13	—
СДВУ-30, для сварки крупнобаритных изделий	1	Ø 460; H=430	1900	35 000	10 ⁻⁴ 5·10 ⁻⁵	6100×1200× X 3350	ЛЗ-107	—

Продолжение табл. 160

Установка и назначение	Количество камер (число позиций)	Размеры рабочего пространства, мм	Максимальная температура, °C	Диапазон рабочих усилий, кгс	Средняя скорость разрядки в рабочей камере, мм рт. ст.	Лабораторные размеры установки без источника нагрева, мм	Источник нагрева (тип выходящего генератора)	Проектирующая организация, калыкодержатель
СДВУ-7, многопозиционная установка для сварки хвостового инструмента	1 (8)	Ø 25—35 Ø 155—340	1400	950—2400**	10 ⁻² —10 ⁻⁴	1700×1100× X 1810	ППВ 100/8000 на 100 кВт	Московский завод «Фрезер»
СДВУ-24, для сварки тугоплавких материалов	1 (2)	Ø 185; H=155	—	—	5·10 ⁻⁶ ÷ ÷ 5·10 ⁻⁷	350×680× X 1440	—	ПНИЛДСВ
ТОР-39, многопозиционная установка для сварки пластин твердого сплава с микровинтом и пяткой микрометра	1 (8)	—	—	530—9530	10 ⁻⁴	—	ЛЗ-2-67	Московский инструментальный завод «Калибр»
УДСВ-КС-2; универсальная установка для сварки сталей, тугоплавких металлов и сплавов	1 (1)	(D ≤ 600; L ≤ 800)	—	15 000	(2÷4) 10 ⁻⁵	1500×850× X 2000	—	г. Москва
УДСВ-ДТ, для сварки газовых турбин	1 (1)	H=300; площадь S=1800 см ²	—	4 350	10 ⁻⁴	1400×800× X 1800	ЛЗ2-67	г. Николаев, Николаевский кораблестроительный институт
СЖМ2 327000	1 (1)	Ø 120; H=180	1100	50—10 000	2·10 ⁻⁴ ÷ ÷ 5·10 ⁻⁵	1550×1000× X 2110	ИО 60083 на 25 кВт	—

Продолжение табл. 160

Установка и назначение	Количество камер (число позиций)	Размеры рабочего пространства, мм	Максимальная температура, °С	Диапазон рабочих усилий, кгс	Степень разрежения в рабочей камере, мм рт. ст.	Габаритные размеры установки без источника нагрева, мм	Источник нагрета (тип вы-сокочастотного генератора)	Проектирующая организация, выполняющая тепл
А306-10 сварки металлообра-ботки в среде защитных газов (во-дороде)	1 (1) 1 (1)	Ø 80; H=100 Ø 80; H=100	1300 1300	5—500 100—10 000	2·10 ⁻⁴ ÷ 5·10 ⁻⁵ Водород р=0,04 ат, азот р=0,06÷ 0,08 ат для про- дувки 2·10 ⁻⁴ ÷ 5·10 ⁻⁵ водород и азот для продувки	1530×1440× X2010 1655×1400× X2030 2570×1500× X2100	А-624,25 на 25 кВт	— — —
А306-20, для сварки металличе-ских узлов в вакууме и металло-керамических узлов в водороде	1 (1)	Ø 120; H=180	1100	100—10 000	—	1050×830× X2305	Л132-67	ПНИЛДСВ
СДВУ-32, полу-автоматическая установка для сварки металлов и неметаллических ма-териалов	1 (1)	L=320; B=345; H=500 (300×250× X400)	—	248—9 050	5·10 ⁻³	—	—	—
18; установка для плавления диффузионной сварки, термической обработки и очистки металлов в тлеющем разряде	1 (1)	—	2660	≤1000	5·10 ⁻² до 1 атм	—	—	—

Продолжение табл. 160

Установка и назначение	Количество камер (число позиций)	Размеры рабочего пространства, мм	Максимальная температура, °С	Диапазон рабочих усилий, кгс	Степень разрежения в рабочей камере, мм рт. ст.	Габаритные размеры установки без источника нагрева, мм	Источник нагрета (тип вы-сокочастотного генератора)	Проектирующая организация, выполняющая тепл
СДВУ-17 (АЛ-39-01-00-00), предназначена для сварки в вакууме крупногабаритных деталей	1 (1)	Ø 250; весом до 100 кг	1400— 1500	—	1·10 ⁻¹	1020×800× X2950	—	Московский комбинат твердых сплавов им. Соловьева
Приспособление к прессу с усилием 1000 т, предназна-чено для сварки в вакууме в про-цессе прессования через матрицу	—	Ø 50; l ~ 600	1800	1 000 000	1·10 ⁻⁴ ÷ 1·10 ⁻⁷	—	—	г. Москва, ВИАМ

*1 В скобках указаны габаритные размеры свариваемых деталей.

*2 Одна позиция в каждой камере

*3 На одном штоке.

*4 См. Диффузионное соединение в вакууме металлов, сплавов и неметаллических материалов. Сборник научных трудов VI Межвузовской конференции. Под ред. Н. Ф. Казакова. М., ПНИЛДСВ, 1971, с. 269—273.

Примечания: 1. Нагрев заготовок в установках А306-10, А306-11 — радиационный, в установке с тлеющим разрядом — ионный, в остальных — индукционный (установка СДВУ-17 имеет радиационный и индукционный нагрев).

2. Система скатывания деталей гидравлическая, установка А306-10 имеет механическую (пружинную) систему.

3. Обозначение размеров: L — длина, H — высота, B — ширина, D — диаметр, S — площадь основания.

СВАРКА ТРЕНИЕМ

При сварке этим способом для нагрева соединяемых деталей используют тепло, образующееся в стыке при трении двух поверхностей в результате преобразования механической энергии в тепловую непосредственно в свариваемом узле. Сварка трением имеет целый ряд преимуществ по сравнению с другими видами стыковой сварки: высокую производительность, высокое и стабильное качество сварного соединения, позволяет сваривать разнородные металлы и сплавы в различных сочетаниях, характеризуется высокими энергетическими показателями (при сварке трением углеродистой стали обыкновенного качества удельная электрическая мощность равна 15—20 Вт/мм², а при электрической контактной сварке — 120—150 Вт/мм²) и улучшает условия труда.

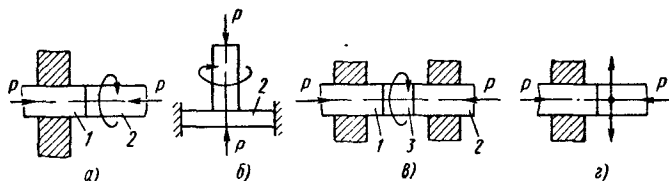


Рис. 130. Схема процесса сварки трением:

а — соединение встык двух круглых деталей; б — сварка стержней или труб впритык к пластинам или дискам; в — приварка торцов деталей к промежуточному диску; г — сварка вибротрением; 1 и 2 — свариваемые детали; 3 — вспомогательный стержень (кольцо, стержень)

Сварка трением может быть использована при изготовлении инструмента (сверл, разверток и т. п.), различной арматуры для железобетона и т. п.

Возможен ряд схем процесса сварки трением. Простая и наиболее распространенная из них показана на рис. 130, а, ее применяют при соединении встык двух круглых стержней или труб относительно небольшой длины. Две свариваемые детали располагают соосно, одна из них 1 закреплена неподвижно, другая 2 приводится во вращение вокруг их общей оси. На сопряженных поверхностях деталей, прижатых одна к другой осевым усилием P , возникают силы трения, вызывающие выделение тепла и интенсивный нагрев этих поверхностей, а также прилегающего к ним металла до температуры, достаточной для осуществления сварки давлением (для углеродистых сталей обыкновенного качества составляет 900—1350° С). При достижении температуры сварки процесс трения должен быть резко прекращен. Сварка заканчивается естественным охлаждением деталей при сжимающем осевом усилии.

Схема (рис. 130, б) для сварки стержней или труб впритык к дискам или пластинам (2) незначительно отличается от приведенной выше, эту схему широко используют.

Сварку трением встык массивных или длинных труб или стержней можно производить по другой схеме (рис. 130, в). Торцы двух массивных деталей (1 и 2) поджимают к промежуточному вспомогательному диску (кольцу, стержню 3), приводимому во вращение, и приваривают

к нему, образуя соединение, состоящее из трех частей. Эта схема представляет большой интерес для выполнения монтажных работ, но она пока еще не нашла широкого применения в промышленности.

Сущность способа сварки вибротрением (рис. 130, г) заключается в том, что для сварки невращающихся деталей различной формы применяют колебательное перемещение одной из соединенных деталей по отношению к другой.

Технология сварки трением характеризуется скоростью вращения детали, удельным давлением при нагреве, удельным давлением при проковке (сварке) и величиной осадки.

Ориентировочные режимы сварки трением различных металлов приведены в табл. 161.

161. Режимы сварки трением некоторых металлов

Металл	Диаметр деталей, мм	Частота относи- тельного враще- ния, об/мин	Давление, кгс/мм ²		Осадка, мм	Машин- ное время сварки, с
			при нагреве	при осадке		
<i>Однородные металлы</i>						
Стали:						
Ст3	20	1500	5	5	5	5
Ст3	40	1000	10	10	12	20
Ст5	16	1500	5	5	5	4,5
20	10	3000	4	4	3	3
45	10	3000	4	4	5	4,5
4X13	10	1500	12	12	3—4	3
20X	12	3000	4	4	4	4
60С2А	20	1500	5	10	6	10
25Г2С	22	1500	4,5	4,5	4	10
30ХГСА	10	1500	10	10	4	2
38ХМЮА	10	1500	10	10	4	2
40X	15	1260	3	7	6	—
35	30—35	1260	3,5	6,5—7	7	—
Ст5 (трубы)	85/70	1000	3	6	10	12
50Г (трубы)	50/32	1000	3	6	6	9
35 (45) (трубы)	160/130	900	0,6/4	10—12	25	40 *
X18H9T	127/107	900	4,6	17	17	30 *
Цветные металлы:						
Алюминий АД1	20	3000	0,8	0,8	7	3

Продолжение табл 161

Металл	Диаметр деталей, мм	Частота относи- тельного враще- ния, об/мин	Давление, кгс/мм ²		Осадка, мм	Машин- ное время сварки, с
			при нагреве	при осадке		
Алюминий АД1 . . .	40	760	3	3	30	10
Дюралюми- ний . . .	40	750	10	10	20	13
Медь . . .	40	1000	3,5	15	20	30
Латунь Л62	16	3000	3,3	3,3	7	3
<i>Разнородные металлы</i>						
<i>Стали</i>						
X18H9T и 45	20	3000	8	8	7	3
X12M и 45 . .	20	3000	8	8	7	4
3X19H9MBVT (ЭИ572) и 40X	20	1000	6	21	1,8	9
3X19H9MBVT и ОХМ . . .	28	1000	6	21	2,2	14
P18 и 45X . .	10—22	1900— 2100	8—12	18—22	3—4	2—8
35 и 50Г . . .	12 (шпиль- ка) к плите (50Г)	1200	От 0,5 до 10		6	2
<i>Цветные метал- лы и стали:</i>						
Латунь ЛМц58-2 и сталь 20	30	1500	2,5	2,5	7	8
Алюминий АД1 и сталь Ст3	40	760	5	5	13—15	3,5—4
Алюминий АД1 и медь М1	32	1000	3	20	18	—

* Контроль процесса по времени

Для выполнения сварки трением можно использовать различные типы токарных, сверлильных станков, а также выпускают специальные сварочные машины, технические характеристики которых приведены в табл. 162.

ХОЛОДНАЯ СВАРКА

Метод холодной сварки основан на использовании пластической деформации, с помощью которой разрушают на свариваемых поверхностях хрупкую пленку окислов — основное препятствие для соединения металлов [1].

Образование цельнометаллического соединения происходит за счет возникновения металлических связей между соединяемыми металлами. Эти связи возникают между атомами при сближении поверхностей соединяемых металлов на расстояние порядка нескольких Å в результате образования общего электронного облака, взаимодействующего с ионизированными атомами обеих металлических поверхностей.

Метод холодной сварки имеет ряд преимуществ перед другими методами: малую стоимость, высокую производительность, небольшое количество затрачиваемой энергии, большие возможности автоматизации, возможность работы во взрыво- и огнеопасной среде, возможность сварки деталей с нанесенной изоляцией и гигиеничность.

С помощью холодной сварки можно сваривать металлы, обладающие высокими пластическими свойствами: алюминий и его сплавы, медь и ее сплавы, кадмий, никель, свинец, олово, цинк, титан, серебро и др. Этот метод применяют при сварке разнородных металлов, например меди с алюминием.

Поверхности, подлежащие сварке, должны быть тщательно очищены от любых органических пленок. Прежде всего свариваемые детали при наличии на них слоя жира и грязи должны быть промыты и досуха вытерты.

Лучшие результаты дает механическая очистка деталей. Очистку деталей при сварке внахлестку и деталей больших сечений при сварке встык рекомендуется выполнять вращающейся стальной щеткой.

Диаметр щетки при ее стационарной установке 200 мм, а диаметр проволок 0,2—0,3 мм. В переносных установках диаметр щетки должен быть не более 100 мм. Частота вращения щетки 1500—3000 об/мин.

Подготовку стержней малых и средних сечений, а также проводов к сварке встык рекомендуется выполнять обрезкой их концов и в исключительных случаях — многократным осаживанием их вылетов в зажимных губках сварочной машины.

Мелкие алюминиевые детали можно подготавливать к сварке с помощью прокалывания при температуре 350—400°С при свободном доступе воздуха, а медные детали — никелированием по методу С. Б. Айнбиндера и Э. Ф. Клоковой. Химическое обезжиривание деталей не может применяться для подготовки деталей к холодной сварке.

Очищенные детали не должны загрязняться (даже прикосновение пальцами к поверхностям, подлежащим сварке, резко снижает прочность сварного соединения).

Сварку внахлестку. Этот вид холодной сварки похож на контактную точечную сварку. Свариваемые детали собирают внахлестку и помещают под пресс. Рабочие пуансоны прессы производят пластическую деформацию деталей, тем самым образуя сварное соединение.

162. Машины для сварки трением, разработанные

	Универсальные полуавто					
	МСТ-1	МСТ-2	МСТ-22-3	МСТ-31	МСТ-23	МСТ-35
Мощность привода вращения, кВт	10	10	10	20	10	20
Напряжение питающей сети, В . .	220/380	220/380	220/380	220/380	220/380	220/380
Число оборотов шпинделя в минуту	1430	1430	1430	930	1500	1000
Осевое усилие, кгс:						
минимальное	400	400	250	1000	500	1000
максимальное	4500	4500	4500	10 000	5000	10 000
Диаметр свариваемых заготовок, мм	10—22	10—22	10—22	15—40	10—25	16—36
Максимальная длина свариваемых заготовок, мм:						
вращающейся	—	—	—	1000	1000	500
невращающейся	—	—	—	—	Неограниченная	
Машинное время сварки, с	5—12	5—12	5—12	10—30	10—20	10—30
Производительность сварки стыков в час . .	150	75	150—200	60	150	120
Габаритные размеры, мм:						
длина	1790	1790	—	—	1550	1760
ширина	700	700	—	—	550	705
высота	1185	1185	—	—	1185	1290
Масса машины, кг	850	900	—	—	1500	2000

ВНИИЭСО, ЧТЗ, КТИАМ и ГАЗ

маты		Специализированные полуавтоматы					
МСТ-41	МСТ-51	МСТ-4	МСТ-6	ЧТЗ № Т-9953-252	ЧТЗ № Т-9953-278	КТИАМ № 152-00	ГАЗ 45-V-20210
40	75	4,5 X 2	2,8	10	40	20	20
380	380	380	220/380	220/380	220/380	220/380	220
750	500	1430	4000	740—2800	2800	830	700
2000	4000	500	50	600	5000	1000	2000
20 000	40 000	1600	400	4500	50 000	120 000	30 000
20—50	32—70	12—14	10—12	10—22	24—55	16—40	22—44
2000	2500	—	—	310	200	150	200
—	—	100—1190	—	175	Неограниченная		
15—45	—	5	2,5	5—12	12—60	10—20	12—40
100	70	1500 пар стыков в смену	400	120—140	50—100	60—120	60—120
2130	2840	—	—	2100	3000	2400	—
765	950	—	—	850	1750	1050	—
1330	1770	—	—	1230	1500	1450	—
3200	—	—	—	1500	3500	2500	2500

При использовании пуансонов с хорошо развитой опорной частью и достаточно высоким давлением на эту часть прочность сварного соединения увеличивается по мере углубления рабочих выступов в металл.

Подобная зависимость наблюдается как при двустороннем, так и при одностороннем деформировании свариваемых деталей.

Однако при двустороннем деформировании максимальное значение прочности достигается при углублении, почти равном толщине свариваемых деталей, а при одностороннем деформировании — при углублении, равном около 60% толщины свариваемых деталей.

В практике применяются следующие методы сварки: без предварительного зажатия свариваемых деталей, с предварительным зажатием свариваемых деталей, с односторонним деформированием свариваемых деталей.

Точечная сварка без предварительного зажатия деталей (рис. 131). Детали 1, подготовленные к сварке, устанавливаются между расположенными соосно пуансонами 2.

При воздействии определенного усилия рабочие выступы пуансонов вдавливаются в металл, обеспечивая необходимую для его сварки деформацию.

Для получения заданной прочности сварного соединения необходимо приложить соответствующее давление рабочего выступа пуансона, обеспечивающее деформацию свариваемого материала и продавливание пуансона на заданную глубину. Для сварки алюминия это давление составляет 17—25 кгс/мм² площади торца рабочего выступа пуансона. При сварке меди оно должно быть увеличено в 2—4 раза.

Наиболее рациональная форма рабочих выступов пуансонов прямоугольная и круглая.

Ширину или диаметр рабочего выступа пуансона берут равными 1—3 толщине свариваемых деталей в зависимости от толщины последних.

В случае сварки разнородных материалов диаметры круглых или ширины прямоугольных рабочих выступов пуансонов рекомендуется брать обратно пропорциональными твердости этих материалов.

Недостатком описанного способа сварки является коробление деталей, что особенно затрудняет сварку деталей больших толщин (свыше 4 мм), а также деталей, изготовленных из материала со сравнительно малой пластичностью (нагартованная медь, алюминий и т. д.).

Вследствие коробления сварка каждой последующей точки ослабляет или разрушает смежную, ранее сваренную точку.

Точечная сварка с предварительным зажатием деталей (рис. 132). Этот способ сварки позволяет устранить основные недостатки,

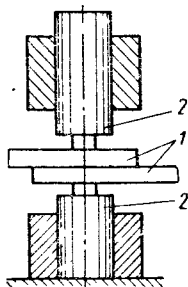


Рис. 131. Схема сварки без предварительного зажатия свариваемых деталей:

1 — свариваемые детали; 2 — пуансоны

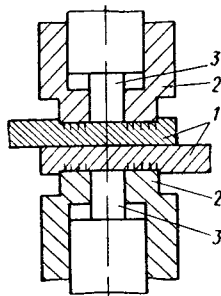


Рис. 132. Схема сварки с предварительным зажатием свариваемых деталей:

1 — свариваемые детали; 2 — прижимы; 3 — пуансоны

присущие способу сварки без предварительного зажатия деталей. Рабочий выступ пуансона изготовляют в виде отдельной детали, подвижной относительно опорной части, предназначенной для зажатия деталей с начала процесса сварки и до его окончания. Зажатие деталей между опорными частями (прижимами) 2 производится до вдавливания рабочих выступов пуансонов 3 в металл (деталь) 1 или одновременно с ним. За счет этого устраняется коробление свариваемых деталей и увеличивается прочность сварного соединения.

Прочность сварного соединения растет с увеличением глубины вдавливания рабочих пуансонов в металл.

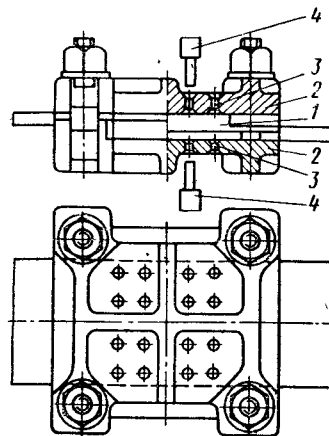


Рис. 133. Схема сварки с предварительным зажатием свариваемых деталей в кондукторе:

1 — свариваемые детали; 2 — прижимные плиты; 3 — отверстия; 4 — пуансоны

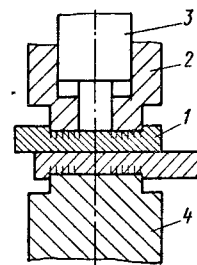


Рис. 134. Схема сварки с односторонним деформированием свариваемых деталей: 1 — свариваемые детали; 2 — прижим; 3 — пуансон; 4 — основание

Максимальная прочность получается в том случае, когда рабочие пуансоны углубляются в металл почти на полную его толщину.

При этом способе сварки давление на прижимы рекомендуются в пределах 3—5 кгс/мм². Площадь прижима должна превышать площадь торца рабочего выступа пуансона в 15—20 раз.

В частности, при сварке алюминия конечное давление на рабочий пуансон составляет 40—150 кгс/мм² площади торца его рабочего выступа в зависимости от толщины свариваемого металла.

При сварке полосовых материалов рекомендуется применять зажимные плиты (кондукторы, рис. 133). В плитах делают сквозные калиброванные отверстия 3 по размерам и форме рабочих пуансонов 4, служащие для них направляющими.

Использование этих кондукторов дает возможность уменьшить массу сварочных клещей, их конструкцию, исключает разметку и прихватку деталей перед сваркой.

Точечная сварка с односторонним деформированием (рис. 134). Этот способ сварки применяют в том случае, когда требуется ровная поверх-

ность сварного соединения с какой-то одной стороны соединения по техническим или эстетическим требованиям.

В этом случае соединяемые внахлестку детали 1 располагаются на плоском основании 4, а рабочий пуансон 3 заданной формы и размеров вдавливаются в эти детали.

Прочность сварного соединения при одностороннем деформировании достигает максимального значения, при глубине вдавливания пуансона около 60% толщины свариваемых деталей. В отличие от сварки при двустороннем деформировании дальнейшее увеличение углубления пуансона не приводит к росту прочности сварного соединения.

При сварке с односторонним деформированием деталей различной толщины вдавливание рекомендуется выполнять со стороны более тонкого металла, а при значительной разнице в толщинах (в частности, $10 + 1$ мм) сварка невозможна.

В случае сварки меди с алюминием вдавливание рекомендуется производить со стороны меди (только, если толщина меди меньше толщины алюминия). Глубина вдавливаемого в металл рабочего выступа пуансона рекомендуется равной 1,5—2,0 толщинам детали, в которую вдавливается пуансон при сварке алюминия с алюминием и 2,0—3,0 толщинам меди при сварке ее с алюминием (вдавливание пуансона в медь).

Для устранения разрезания материала углы рабочих выступов пуансона рекомендуется закруглять по радиусу около 0,2 мм.

Процесс сварки выполняют на любых механических, пневматических или гидравлических прессах, создающих необходимое давление. Рабочие части пресса — пуансоны, зажимные плиты, направляющие и фиксирующие детали — изготовляют применительно к свариваемым деталям. Пуансоны применяют различной формы: круглые (плоские и сферические), клиновидные, квадратные, прямоугольные, эллиптические, в зависимости от конфигурации изделия.

Кроме того, существуют специальные установки для точечной сварки. Некоторые из них, разработанные во ВНИИЭСО, имеют следующие назначение и характеристики.

Передвижная пневмогидравлическая установка типа УГХС-5 для оконцевания медными флажками выводов громоздких алюминиевых обмоток, доставка которых к стационарной машине с неподвижной сварочной головкой (например, УГХС-10) затруднен, для приварки медных отводов к алюминиевым обмоткам галетного типа в процессе их намотки и для сварки алюминиевых шин толщиной до 5 мм; максимальное сварочное усилие 5 тс, давление сжатого воздуха 4 кгс/см², расход на одну сварку 0,1 м³, масса установки 110 кг, клещей 7 кг, габаритные размеры 640×550×650 мм.

Машина МХСА-50 для армирования деталей с размерами участков до 60×60 мм², армируемых медными накладками, максимальное усилие 50 тс, давление сжатого воздуха 5 кгс/см², расход на одну сварку 0,0014 м³, ход рабочего штока поршня 10 мм, масса машины 280 кг, габаритные размеры 400×680×1490 мм.

Машина МХСА-120 для армирования медными накладками выводов алюминиевых обмоток, шин, линейных зажимов и других деталей с размерами армируемого участка до 120×120 мм², максимальное давление масла в гидросети 200 кгс/см², потребляемая электриче-

ская мощность 10 кВт, максимальное расстояние между плитами 262 мм, ход поршня гидроцилиндра 83 мм, масса машины 1380 кг, габаритные размеры 1200×60×1730 мм.

Пневмопресс ПП-1 для прихватки медных накладок к алюминиевым деталям перед холодной сваркой при армировании, усилие пресса при давлении сжатого воздуха 4 кгс/см² равно 800 кгс, расход сжатого воздуха на одну прихватку (сварку) 0,0005 м³, производительность 20 прихваток (сварок) в минуту, масса 40 кг, габаритные размеры 220×300×600 мм.

Сварка непрерывным швом (шовная сварка рис. 135). При этом способе сварки металл деформируют вдавливанием в него рабочих выступов вращающихся роликов. Для сварки прямых листов непрерывные швы непригодны, так как уменьшают сечение деталей и по этой линии может произойти излом. Поэтому такой способ сварки используют для различных кольцевых и продольных швов в замкнутых контурах.

Для шовной сварки алюминия и его мягких сплавов рекомендуются следующие параметры шовной сварки: диаметр ролика должен быть примерно 50S, ширина рабочего выступа (1—5) S, высота рабочего выступа (0,8÷0,9) S, где S — толщина свариваемых деталей.

Ширина опорной части ролика должна быть в 2—3 раза больше ширины рабочего выступа [8].

Стандартное оборудование для холодной шовной сварки не выпускают, а только отдельные предприятия создают специализированное оборудование для ее выполнения. В частности, завод «Электрик» создал шовную установку для приварки дна к электрочайнику. Средняя линейная скорость вращения ролика 3 м/мин, усилие, приложенное к роликам, может изменяться от 1,5 до 8 тс. Для сварки, например, алюминия толщиной 2 + 1,5 = 3,5 мм рабочее усилие на роликах равно 1,8 тс.

Стыковая сварка. При этом способе соединяемые детали закрепляют в специальных зажимах, расположенных соосно, а торцы свободных, выключенных из зажимов концов деталей примыкают один к другому.

Величина выпущенных концов зависит от свариваемых сечений и материала. При осевой осадке выпущенные концы пластически деформируются и в месте стыка образуется сварное соединение.

Место сварки всегда имеет утолщение по сварному стыку.

Схемы зажимных устройств показаны на рис. 136. При сварке по первой схеме происходит затрудненное истечение деформируемого металла и необходимо прикладывать большие прессовые усилия, при сварке по второй схеме требуются меньшие усилия прессования, при этом обеспечиваются высокие показатели прочности.

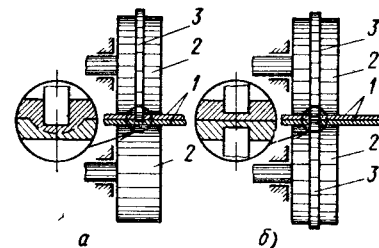


Рис. 135. Схема шовной (роликовой) сварки:

а — с односторонним деформированием, б — с двусторонним деформированием; 1 — свариваемые детали, 2 — ролики; 3 — рабочие выступы

Длина вылета рабочей части детали (по данным Г. П. Сахатского) должна быть для алюминия $(1 \div 1,2) d$; для меди $(1,25 \div 1,75) d$; для свинца $(0,9 \div 1,1) d$; для серебра $(1,25 \div 1,50) d$, где d — диаметр стержня или размер меньшей стороны прямоугольника.

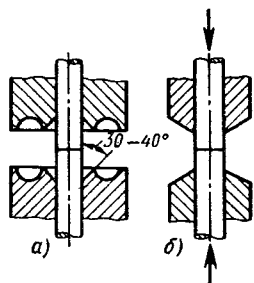


Рис. 136. Схема зажимов для стыковой холодной сварки:

а — с затрудненным истечением металла; б — со свободным истечением металла

Рекомендуемые (оптимальные) длины вылетов для холодной сварки деталей приведены в табл. 163—165.

При сварке алюминия с медью вылет алюминиевого стержня должен быть меньше, чем медного, примерно на 30—50%.

При выполнении стыковой сварки усилие осадки для проводов из одного и того же материала растет линейно с увеличением длины вылета. Величину удельного усилия осадки можно определить с помощью кривых, показанных на рис. 137. При сварке алюминия с медью нужно руководствоваться зависимостью усилия осадки от длины вылета при сварке меди.

Величина усилия зажатия деталей при использовании зажимных устройств замкового типа и при наличии насечки на губках должна быть не менее 45% от усилия осадки.

Основные технические характеристики некоторых машин для стыковой сварки приведены в табл. 166. Кроме того, для стыковой холодной сварки применяют следующие ручные инструменты:

ручные клещи для сварки проводов диаметром 0,8—2 мм; ручные клещи КС-6 для сварки проводов диаметром 1,7—3,6 мм с четырьмя сменными комплектами наконечников, масса клещей 1,4 кг;

настольный станок СНС-3 для сварки алюминиевых проводов сечением до 25 мм², медных сечением до 10 мм², а также алюминиевых проводов сечением до 10 мм² с медным сечением до 6 мм², масса станка 12 кг;

приспособление ПС-7 для сварки круглых алюминиевых проводов сечением 1,1—5 мм² и медных сечением 1,1—2,5 мм², масса приспособления 4 кг, габаритные размеры 300×190×65 мм.

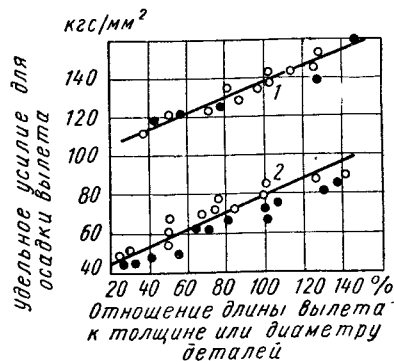


Рис. 137. Зависимость удельного усилия осадки от относительной длины вылета:

1 — при сварке алюминия; 2 — при сварке меди; O — провода круглого сечения; ● — провода прямоугольного сечения

163. Длина вылета, обеспечивающая прочное соединение при сварке алюминиевых деталей круглого и прямоугольного сечения

Размеры сечения или диаметр провода, мм	Минимальная		Оптимальная (рекомендуемая)		Максимально допустимая	
	мм	%	мм	%	мм	%
6×60	4	67	6		8	
10×20	7	70	10	100	13	
10×100						130
12,5×20	6	48	9	75	16	
∅ 1,8	0,9		1,8		2,5	
∅ 2,4	1,2		2,4		3,3	
∅ 2,8	1,4		2,8	100	3,9	
∅ 3,5	1,7	50	3,5		5	
∅ 8	4		6	75	11	140
∅ 10	5		7	70	14	
∅ 12	6		9	75	17	
∅ 20	7	35	10		28	
∅ 30	11	37	15	50	42	

Примечание. В процентах приведены отношения длин вылета к диаметру или толщине образцов

164. Длина вылета, обеспечивающая прочное соединение при сварке медных проводов круглого и прямоугольного сечения

Размеры сечения или диаметр провода, мм	Минимальная		Оптимальная (рекомендуемая)		Максимально допустимая	
	мм	%	мм	%	мм	%
6×80	6		7,5	125	9	
10×20	10	100	12	120	15	
∅ 1,81	1,4		2,0		2,7	
∅ 2,44	1,9		2,7		3,7	
∅ 2,83	2,3	80	3,1	110	4,2	
∅ 3,53	2,8		3,9		5,3	
∅ 5	4		5,5		7,5	150
∅ 8	6	75	8		12	
∅ 10	8	80	10	100	15	
∅ 12	9	75	12		18	
∅ 20	10	50	15	75	30	

Примечание. См. примечание к табл. 163.

165. Длина вылета, обеспечивающая прочное соединение при сварке медных проводов с алюминиевыми

Диаметр или сечение провода, мм	Минимальная						Рекомендуемая					
	суммарная		по алюминию		по меди		суммарная		по алюминию			
	мм	%	мм	%	мм	%	мм	%	мм	%		
∅ 1,81	2,9		0,5		1,5		4,2		1,8			
∅ 2,44	3,9	160	0,7	30	2,0	80	5,6	230	2,4	100		
∅ 2,83	4,5		0,8		2,3		6,5		2,8			
∅ 3,54	5,6		1,1		2,8		8,1		3,5			
∅ 8	10	125	4		6		14		5		75	
∅ 10	12	120	5	50	7	70	17	190	8		80	
∅ 12	14	117	6		8	67	18	150			65	
∅ 20	20	100	9	45	11	55	25	130	11		55	
∅ 28	28		13	47	15	54	35	260	15		120	
10×20	22	220	9	90	13	130	25	260	12		120	

Диаметр или сечение провода, мм	Рекомендуемая		Максимально допустимая							
	по меди		суммарная		по алюминию		по меди			
	мм	%	мм	%	мм	%	мм	%		
∅ 1,81	2,4	130	5,4	300	3,3	180	3,3	180		
∅ 2,44	3,2		7,3		4,4		4,4			
∅ 2,83	3,7		8,5		5,2		5,2			
∅ 3,54	4,6		10		6,3		6,3			
∅ 8	8	100	24	300	14	175	14	175		
∅ 10	10		30		18	180	18	180		
∅ 12		85	36		150	150	18	150		
∅ 20	15	75	56	280	28	140	28	140		
∅ 28	21		75	270	38	135	38	135		
10×20	14	140	30	300	15	150	15	150		

Примечание. См. примечание к табл. 163.

166. Основные технические характеристики некоторых машин для стыковой холодной сварки, разработанных во ВНИИЭСО

Машина и назначение	Напряжение питающей сети, В	Потребная электрическая мощность, кВт	Рабочее давление сжатого воздуха, кгс/см ²	Максимальное усилие осадки, тс	Максимальное давление масла в гидросети, кгс/см ²	Максимальное расстояние между внутренними торцами зажимных губок, мм	Табличные размеры в плане, мм	Высота, мм	Масса, кг
МСХС-5-3; сварка алюминиевых проводов сечением 2—30 мм ² , медных и алюминиевых с медными сечением 2—20 мм ²	—	—	До 5	5	—	11	485×320	300	62
МСХС-8; сварка алюминиевых проводов сечением 3—80 мм ² , медных и алюминиевых с медными сечением 3—50 мм ²	380	0,25	До 5	8	—	16	920×740	1370	480
МСХС-30; сварка медных контактных проводов сечением до 100 мм ² и медных с алюминиевыми сечением до 300 мм ²	380	1,0	—	30	250	72	500×1100	1100	380
МСХС-35; сварка алюминиевых проводов сечением 20—300 мм ² , медных — 20—150 мм ² и медных с алюминиевыми сечением 20—200 мм ²	380	1,7	—	35	50	40	1120×620	1240	720

Машина и назначение	Напряжение питающей сети, В	Потребная электрическая мощность, кВт	Рабочее давление сжатого воздуха, кгс/см ²	Максимальное усилие осадки, тс	Максимальное давление масла в гидросети, кгс/см ²	Максимальное раскрытие зажимных губок, мм	Расход сжатого воздуха на одну сварку, м ³	Максимальное расстояние между внутренними торцами зажимных губок, мм	Габаритные размеры в плане, мм	Высота, мм	Масса, кг
МСХС-120; сварка алюминиевых деталей сечением 100—1500 мм ² , медных и алюминиевых с медными сечением 100—1000 мм ²	380	17	—	120	100	41	—	70	1850 X 1320	1600	3500
МСХС-80; сварка алюминия сечением 100—1000 мм ² , меди — 100—600 мм ² и меди с алюминием сечением 100—800 мм ²	380	10	—	80	50	36	—	70	1810 X 1350	1500	2500
МСХС-20-3; сварка алюминиевых проводов сечением 30—120 мм ² , медных и алюминиевых с медными — 30—120 мм ² , медных контактных проводов сечением до 100 мм ²	380	5,5	—	20	100	16	—	30	1000 X 920	1440	700

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов И. В. Холодная сварка пластичных материалов. М.—Л., «Машиностроение», 1969, с 5—32, 32—48, 59—76, 162—201.
2. Вавилов А. Ф., Воинов В. П. Сварка трением. М., Машгиз, 1964, с. 5—10, 51—61, 80—82, 126—127.
3. Вильд В. И., Терентьев Ю. Я. и Штернин Л. А. Сварка трением М., ВНИИЭМ, 1965, с. 3—12.
4. Казаков Н. Ф. Диффузионная сварка в вакууме. М., «Машиностроение», 1968, с. 3—8, 28, 108—152.
5. Казаков Н. Ф. Диффузионная сварка материалов. М., «Машиностроение», 1970, с. 3—11, 35—47, 52—53.
6. Назаренко О. К., Истомина Е. И. и Локшин В. Е. Электронно-лучевая сварка. М., «Машиностроение», 1966, с. 5—6, 24—26, 109—110.
7. Первицкий Ю. Д. Холодная сварка давлением. — «Приборостроение», 1958, № 5, с. 3—12.
8. Сборник трудов XI Межвузовской научно-технической конференции. Диффузионное соединение в вакууме металлов, сплавов и неметаллических материалов. Под ред. Н. Ф. Казакова М., «Машиностроение», 1971, с. 269—273
9. Силин Л. Л., Баландин Г. Ф. и Коган М. Г. Ультразвуковая сварка. М., Машгиз, 1962, с. 1—12, 13—24, 75, 79, 80.
10. Эсбиян Э. М. Плазменно-дуговая аппаратура Киев, «Техника», 1971, с. 5—16, 140—147.

ГЛАВА 11

ОСНОВЫ ПРОИЗВОДСТВА СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

ПРЕИМУЩЕСТВА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Сварные металлические конструкции используют практически во всех отраслях народного хозяйства страны. Особенно широко сварные конструкции применяют при производстве металлургического, горно-рудного, энергетического оборудования, строительно-дорожных машин, подвижного состава железных дорог, автомобилей и сельскохозяйственной техники, судов строительных конструкций и трубопроводов. Объем производства сварных конструкций намечено увеличить в 1975 г. по сравнению с 1970 г. в 1,32 раза при одновременном повышении уровня механизации и автоматизации сборочно-сварочных технологических операций. Дальнейшее развитие получит специализация заводов и цехов по выпуску сварных конструкций.

Сварные металлические конструкции имеют следующие преимущества по сравнению с клепаными конструкциями: экономия металла до 15—20% за счет полного использования рабочих сечений, рационализации формы конструкции, меньшей массы соединительных элементов; уменьшение стоимости изготовления за счет уменьшения массы и трудоемкости изготовления — при изготовлении сварных конструкций исключается трудоемкая операция разметки и образования отверстий под заклепки; стоимость изготовления сварных конструкций снижается также за счет удешевления оборудования — стоимость оборудования сварочных цехов ниже стоимости оборудования для постановки клепаных соединений; улучшение условий труда — процесс сварки по сравнению с клепкой относительно бесшумен. По сравнению с литыми конструкциями: экономия металла до 30—60% за счет уменьшения припусков на обработку и более высокой механической прочности сварных конструкций; уменьшение стоимости изготовления — капитальные затраты литейных цехов значительно превосходят затраты на сварочное оборудование. Степень удешевления сварных конструкций по сравнению с литыми зависит от сложности конструкции и объема производства.

При индивидуальном или мелкосерийном производстве, а также при необходимости изготовления конструкций сложной формы вариант в сварном исполнении более выгоден. Очень высоки технико-экономические показатели комбинированных сварных конструкций, в которых используют различные материалы и отдельные части, изготовленные различными технологическими процессами — литьем, ковкой и др. При этом достигается снижение трудозатрат, сокращение цикла изготовления, экономия металла и более полное использование его свойств, снижение массы конструкции и повышение ее эксплуатационной надежности.

Сварные конструкции имеют ряд особенностей, которые могут отрицательно влиять на их прочность и эксплуатационную надежность. Основными из них являются: монолитность, повышенная чувствительность к геометрическим концентраторам напряжений и к хрупким разрушениям, изменение исходных свойств основного материала в зоне сварного шва, а также остаточные деформации и напряжения. Влияние этих факторов можно исключить выбором правильной схемы конструкции, рациональным конструктивным оформлением узлов и соединений, правильным выбором основного и сварочных материалов и назначением оптимальной технологии заготовительных, сборочных и сварочных операций.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Для обеспечения необходимых свойств сварных соединений и конструкций решающее значение имеет выбор материала. Правильным выбором основного металла можно обеспечить не только необходимую прочность несущих элементов в конструкции, но также и прочность околошовных зон. Прочностные свойства металла определяются его механическими характеристиками (табл. 167). Одним из основных условий, определяющих выбор материала для сварных конструкций, является свариваемость материала. При прочих равных условиях предпочтение следует отдавать материалам, имеющим наиболее хорошую свариваемость.

Для изготовления сварных конструкций широко применяют стали углеродистые обыкновенного качества. Эти стали регламентированы ГОСТ 380—71*. В зависимости от назначения и гарантируемых характеристик стали подразделяют на группы: А — стали, поставляемые потребителю с гарантией механических свойств, Б — с гарантией химического состава и В — стали, которые поставляют с гарантией механических свойств и химического состава. Сталь каждой группы подразделяют на категории. Нормируемые показатели для сталей всех трех групп приведены в табл. 168—170.

Настоящий стандарт предусматривает поставку спокойных, полуспокойных и кипящих сталей, не подразделяя их по способу производства. Спокойные стали хорошо раскислены, содержат меньше вредных примесей и более однородны. В качестве раскислителей применяют кремний, алюминий и другие элементы. Кипящие стали дешевле спокойных, но имеют более низкое качество. Они более склонны к образованию трещин при динамических нагрузках и отрицательных температурах. У сжатых крупногабаритных элементов из кипящей стали возможно расслоение материала. Поэтому кипящие стали применяют при производстве конструкций, которые работают при статических нагрузках, а также для конструкций с невысокой степенью ответственности при температуре до -30°C . Для ответственных конструкций применяют спокойные и полуспокойные стали, поставляемые по группе В с гарантией механических свойств и химического состава. Механические свойства сталей, поставляемых по группе А, должны соответствовать нормам, указанным в табл. 171. Ударная вязкость сталей марок ВСтЗсп, ВСтЗсп, ВСтЗГпс, ВСт4пс, ВСт4сп категорий 3—6 должны соответствовать нормам, указанным в табл. 172.

167. Величины, характеризующие основные механические свойства металлов

Свойство	Обозначение и размерность	Определение
Предел прочности (временное сопротивление разрыву)	σ_B , кгс/мм ²	Напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению образца, $\sigma_B = \frac{P_B}{F_0}$ P_B — наибольшая разрушающая нагрузка, F_0 — первоначальная площадь поперечного сечения образца
Предел текучести (условный)	σ_T , кгс/мм ²	Напряжение, при котором остаточное удлинение образца достигает 0,2% расчетной длины, $\sigma_T = \frac{P_T}{F_0}$ P_T — нагрузка, вызывающая остаточное удлинение образца 0,2% расчетной длины
Относительное удлинение после разрыва	δ или δ_{10} , % (цифра означает отношение расчетной длины к диаметру)	Отношение приращения расчетной длины образца после разрыва к ее первоначальной величине $\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} 100\%$ l_0 — первоначальная расчетная длина образца, l_1 — расчетная длина образца после разрыва
Относительное сужение после разрыва	ψ , %	Отношение уменьшения площади поперечного сечения образца в месте разрыва к начальной площади поперечного сечения образца $\psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} 100\%$ F_0 — начальная площадь сечения образца; F_1 — площадь сечения образца в месте разрыва

Продолжение табл. 167

Свойство	Обозначение и размерность	Определение
Модуль нормальной упругости (жесткость материала)	E , кгс/см ²	Характеристика упругих свойств материала Для стали $E = 2,1 \cdot 10^8$ кгс/см ²
Ударная вязкость	a_K , кгс-м/см ²	Работа удара, затрачиваемая на единицу площади сечения образца для его разрушения на копре, $a_K = \frac{A_K}{A_0}$ A_K — работа, затрачиваемая на разрушение образца
Предел выносливости	σ_R , кгс/мм ² (R — коэффициент асимметрии цикла)	Наибольшее значение максимального (по величине) напряжения цикла, при действии которого не происходит усталостного разрушения образца после произвольно большого количества циклов
Угол загиба	α°	Максимальный угол загиба до появления трещин, надрывов, расслоений

168. Нормируемые показатели для стали группы А

Категория стали	Временное сопротивление	Относительное удлинение	Изгиб в холодном состоянии	Предел текучести
1	+	+	-	-
2	+	+	+	-
3	+	+	+	+

Примечания: 1. Таблица относится к сталям Ст0—Ст6 всех степеней раскисления и с повышенным содержанием марганца
2. Для стали Ст6 изгиб в холодном состоянии не нормируется
3. Знак плюс — показатель нормируется, знак минус — не нормируется.

169. Нормируемые показатели для стали группы В

Категория стали	Марки сталей всех степеней раскисления и с повышенным содержанием марганца	Содержание углерода, марганца, кремния, фосфора, серы, мышьяка, азота	Содержание хрома, никеля, меди
1	ВСт0—ВСт6	+	—
2	ВСт1—ВСт6	+	+

Примечание. Для стали ВСт0 нормируется только содержание углерода, фосфора и серы.

170. Нормируемые показатели для стали группы В

Категория стали	Марки сталей всех степеней раскисления и с повышенным содержанием марганца	Химический состав	Временное сопротивление	Предел текучести	Относительное удлинение	Изгиб в холодном состоянии	Ударная вязкость		
							при температуре, °С		после механического старения
							+20	-20	
1	ВСт2—ВСт5	+	+	—	+	+	—	—	—
2		+	+	+	+	+	—	—	—
3	ВСт3—ВСт4	+	+	+	+	+	—	—	—
4	ВСт3	+	+	+	+	+	—	+	—
5		+	+	+	+	+	—	+	+
6		+	+	+	+	+	—	—	+

Примечание. Сталь категорий 3—6 поставляют спокойной и полуспокойной. По соглашению сторон допускается поставлять кипящие стали марок ВСт3 и ВСт4 категории 3, при этом нормы ударной вязкости при +20°С принимают в соответствии с нормами табл. 172 для спокойной и полуспокойной стали.

171. Механические свойства сталей группы А (ГОСТ 380—71*)

Марка	Временное сопротивление σ_B , кгс/мм ²	Предел текучести, кгс/мм ²				Относительное удлинение, δ_5 , % для толщин, мм			Изгиб на 180° для толщин до 20 мм
		До 20	Св. 20 до 40	Св. 40 до 100	Св. 100	До 20	Св. 20 до 40	Св. 40	
Ст0	≥31	—	—	—	—	23	22	20	$d=2a$
Ст1кп	31—40	—	—	—	—	35	34	32	
Ст1пс, Ст1сп	32—42	—	—	—	—	34	33	31	$d=0$
Ст2кп	33—43	22	21	20	19	33	32	30	
Ст2пс, Ст2сп	34—44	23	22	21	20	32	31	29	$d=0,5a$
Ст3кп	37—47	24	23	22	20	27	26	24	
Ст3пс, Ст3сп	38—49	25	24	23	21	26	25	23	$d=2a$
Ст3Гпс	38—50	26	25	24	23	25	24	22	
Ст4кп	41—52	27	26	25	24	24	23	21	$d=3a$
Ст4пс, Ст4сп	42—54	29	28	27	26	20	19	17	
Ст5пс, Ст5сп	50—64	—	—	—	—	—	—	—	—
Ст5Гпс	46—60	32	31	30	30	15	14	12	
Ст6пс, Ст6сп	≥60	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечания: 1. a — толщина образца, d — диаметр оправки
2. Для толщин свыше 20 мм диаметр оправки d увеличивают на толщину образца

172. Ударная вязкость стали группы В (ГОСТ 380—71)

Марка	Вид проката	Расположение образцов относительно проката	Толщина, мм	Ударная вязкость, кгс·м/см ² , при температуре, °С		После механического старения
				+20	-20	
				не менее		
ВСт3пс ВСт3сп	Листовая сталь	Поперек	5—9	8	4	4
			10—25	7	3	3
			26—40	5	—	—
	Широкополосная сталь	Вдоль	5—9	10	5	5
			10—25	8	3	3
			26—40	7	—	—
Сортовой и фасонный прокат	Вдоль	5—9	11	5	5	
		10—25	10	3	3	
			26—40	9	—	—

*

Продолжение табл. 172

Марка	Вид проката	Расположение образцов относительно проката	Толщина, мм	Ударная вязкость, кгс·м/см ² , при температуре, °С		После механического старения
				+ 20	- 20	
				не менее		
ВСт3Гпс	Листовая сталь	Поперек	5—9	8	4	4
			10—30	7	3	3
			31—40	5	—	—
	Широкополосная сталь	Вдоль	5—9	10	5	5
			10—30	8	3	3
			31—40	7	—	—
Сортовой и фасонный прокат	Вдоль	5—9	11	5	5	
		10—30	10	3	3	
		31—40	9	—	—	
ВСт4пс ВСт4сп	Листовая сталь	Поперек	5—9	7	—	—
			10—25	6	—	—
			26—40	4	—	—
	Сортовой и фасонный прокат	Вдоль	5—9	10	—	—
			10—25	9	—	—
			26—40	7	—	—

Выбор основного металла для строительных сварных конструкций регламентирован строительными нормами и правилами СНиП ПВ.3—62. Согласно этим правилам наиболее широкое применение при производстве строительных конструкций получили стали группы В следующих марок: ВСт3сп (спокойная), ВСт3пс (полуспокойная), ВСт3кп (кипящая). Эти стали хорошо свариваются. Применение спокойной стали обязательно для всех конструкций, эксплуатирующихся при температурах ниже -30°C , а также для конструкций с тяжелым режимом работы независимо от температуры эксплуатации.

Наряду с углеродистыми сталями обыкновенного качества для конструкций с тяжелым режимом работы применяют низколегированные стали. Эти стали регламентированы ГОСТ 5058—65* и поставляются по механическим свойствам и химическому составу. Отличительной особенностью этих сталей является малое содержание углерода и высокие механические характеристики. Они хорошо свариваются и имеют высокие показатели по ударной вязкости. Низколегированные стали устойчивы против коррозии. Для изготовления строительных сварных конструкций рекомендуются следующие марки стали: 16ГС, 10Г2С1, 15ХСНД, 10ХСНД и др. Применение низколегированных сталей должно быть экономически обосновано. Механические свойства низколегированных конструкционных сталей по ГОСТу 5058—65* приведены в табл. 173.

173. Механические свойства низколегированных сталей для металлических конструкций *

Сталь	Толщина проката, мм	σ_B	σ_T	δ_5	a_{H1} (кгс·м/см ²) при температуре, °С					
		кгс/мм ² , не менее		%, не мене	+ 20	- 40	- 70			
14Г 19Г	4—10	40	29	21						
		48	32					3,5		
09Г2	4—20	45	31	21			3,0			
	21—31	45	30				4,0			
14Г2	4—10	47	34	21			3,5			
	11—32	46	33				3,0			
18Г2	8—10	52	36	26			—			
	4—10	47	32				4			
16ГС	4—10	50	33	21			3			
		49	32				6	3	2,5	
	21—32	48	30	29			—			
	33—60	47	30				до 160			
17ГС	4—10	52	35	23			4,5			
	11—20	50	34				3,5	3,5		
09Г2С	4—10	50	35	21			4			
	11—20	45	33				6	3,5	3	
	21—32	47	31							
	33—60	46	29				Св 80	до 160		—
	61—80	45	28							4
	Св 80	44	27				до 160			—
4—10	52	38	6	3	2,5					
10Г2С1	11—20	51	36	21			—			
	21—32	50	35				4			
	33—60	48	34					6	3	2,5
	Св 60	46	32							
15ГФ	4—10	52	38	21			4			
	11—20	52	36				3	—		
21—32	48	34	22			—				
4—10	50	35				4	3	3		
14ХГС 15ХСНД	4—32	50	35	21	—		4			
10ХСНД	4—10	54	40	19			5			
	11—15						4	—		
	16—32	52	40	19			4			
	33—40						5	3		

* Все стали для металлических конструкций должны иметь угол загиба в холодном состоянии 180° при $s = 2S$, где s — толщина оправки, S — толщина проката. Механические свойства сталей 14ХГС и 18Г2 всех толщин, 09Г2 толщиной 21—32 мм и 10ХСНД толщиной более 15 мм относятся к термически обработанным сталям. Ударная вязкость сталей 09Г2 и 15ХСНД толщиной 5—10 мм при температуре -40°C должна быть не менее 4 кгс·м/см².

174. Рекомендации по применению различных сталей

Группа конструкций	Характеристика конструкций и особые условия их эксплуатации	Сталь для конструкций, эксплуатируемых при расчетной температуре, °С		
		— 30 и выше	ниже — 30, но выше — 40	— 40 и ниже
1	Ответственные уникальные конструкции, эксплуатируемые при особо тяжелых условиях, а также все стальные строительные и крановые конструкции при соответствующем технико-экономическом обосновании	10Г2С1, 15ХСНД, 14Г2, 16ГС	10Г2С1, 15ХСНД, 14Г2, 16ГС	10Г2С1, 15ХСНД, 14Г2, 16ГС
2	Сварные конструкции, работающие в особо тяжелых условиях: несущие конструкции металлургических цехов (балки рабочих площадок мартеновских цехов, элементы разгрузочных эстакад, подкрановые балки, копры, кожухи доменных печей и др.), резервуары для нефтепродуктов объемом свыше 100 м ³ , а также газгольдеры низкого давления объемом свыше 1000 м ³ , мачты и башни сооружений связи высотой 180 м и более, мостовые и порталные краны при тяжелом и весьма тяжелом непрерывном режиме работы и краны перегружателя	ВСтЗсп	ВСтЗсп	10Г2С1, 15ХСНД, 10ХСНД, 14Г2, 16ГС
3	Сварные конструкции, работающие в тяжелых условиях или подвергающиеся непосредственному воздействию подвижных или вибрационных нагрузок: фермы, главные балки, решетчатые и сплошные ригели рам покрытий и перекрытий и др., подкрановые балки под краны легкого и среднего режимов работы, пролетные строения галерей, вспомогательные конструкции металлургических цехов, мосты и башни сооружений связи высотой менее 180 м, опоры ЛЭП, резервуары для воды объемом менее 1000 м ³ , нефтепродуктов менее 100 м ³ , газгольдеры низкого давления объемом менее 1000 м ³ , мостовые краны легкого и среднего режимов работы	ВСтЗпс	ВСтЗсп	10Г2С1, 14Г2, 16ГС

Продолжение табл. 174

Группа конструкций	Характеристика конструкций и особые условия их эксплуатации	Сталь для конструкций, эксплуатируемых при расчетной температуре, °С		
		— 30 и выше	ниже — 30, но выше — 40	— 40 и ниже
4	Сварные конструкции, не подвергающиеся непосредственному воздействию подвижных или вибрационных нагрузок: колонны, стойки, прогоны, балки общего назначения, резервуары и баки общего назначения, бункеры	ВСтЗкп	ВСтЗпс	ВСтЗсп
5	Сварные вспомогательные конструкции зданий и сооружений	ВСтЗкп	ВСтЗкп	ВСтЗпс

Рекомендации по выбору марок углеродистых и низколегированных сталей для строительных, крановых и других конструкций даны в табл. 174.

В мостостроении для изготовления сварных элементов применяют стали М16С по ГОСТ 6713—53 и 15ХСНД по ГОСТ 5058—65*. Для элементов из проката, не подвергающихся сварке, может применяться сталь СтЗМ по ГОСТ 6713—53. Мостовые конструкции работают в особо тяжелых условиях. Поэтому к сталям для мостостроения предъявляют высокие требования. Они должны быть хорошо раскислены, не должны иметь склонности к старению, должны иметь определенные механические свойства и химический состав, имеющиеся примеси в стали должны располагаться равномерно.

Для машиностроительных конструкций применяют углеродистые качественные стали по ГОСТ 1050—60**. К этим сталям предъявляют требования как по химическому составу, так и по механическим свойствам. Находят применение в машиностроительных конструкциях также и низколегированные стали по ГОСТ 5058—65. Выбор стали производят, исходя из требований, предъявляемых к конструкции или изделию. В необходимых случаях в машиностроении применяют легированные стали по ГОСТ 4543—71, а также жаростойкие и жаропрочные стали по ГОСТ 5632—61.*

Для производства ответственных сварных конструкций с тяжелым режимом работы широко применяют термически упрочненные низколегированные стали. Опыт изготовления и эксплуатации показал, что применение этих сталей позволяет снизить массу несущих конструкций (на 20—60%), повысить их эксплуатационную долговечность (в 2—3 раза). Конструкции из таких сталей успешно эксплуатируют при отрицательных температурах (до —60°С). При выборе термически упрочненных сталей для сварных конструкций следует руководствоваться строительными нормами СН 347—66, согласно которым термически упрочненные стали объединены в классы. Классы сталей характеризуются нормативными сопротивлениями (пределами текучести).

175. Механические свойства низколегированных термически упрочненных сталей

Марка	Толщина, мм	σ_T , кгс/мм ²	σ_B , кгс/мм ²	δ , %	Ударная вязкость a_K , кгс·м/см ²
14ХМНДФ	4—50	60	70	14	4,0
14Х2ГМР	60			15	
15ГСХМФР	8—32	70	85	14	—
15ХГ2СФР				12	
15ХГ2СФМР	8—30	60	70	13	—
12Г2СМФ		75	80	10	
12ХГ2СМФ	8—40	60	70	12	3,0
14ГСМФР					

Примечание. Ударная вязкость дана при температуре —40° С.

176. Механические свойства некоторых алюминиевых сплавов

Марка	Состояние материала	Предел прочности при растяжении, кгс/мм ²	Относительное удлинение, %
АМц	Отожженный. Нагартованный	13 16	20 10
АМг		20 25	23 6
АМг5п		27 35	23 5
Д1 Д16	Закаленный и естественно состаренный	42 47	18 17
АВ	Отожженный Закаленный Отожженный	21 22 13	18 22 24
АК4 АК6 АК8	Закаленный и искусственно состаренный	44 42 49	10 13 13
АМг3 АМг6	Отожженный	18 32	15 15

Приняты следующие классы сталей: С45, С45Р, С50, С50Р, С60, С60Р, С75 и С75Р (Р — стали, разупрочняемые при сварке). Механические свойства некоторых применяемых в СССР термически упрочненных сталей приведены в табл. 175.

Для изготовления сварных конструкций применяют алюминиевые сплавы. Они обладают высокой прочностью и хорошими антикоррозионными свойствами. Получили распространение сплавы на основе алюминия с добавкой легирующих элементов (меди, марганца, магния, кремния и др.) по ГОСТ 4784—65.*** Наиболее целесообразно применять алюминиевые сплавы в конструкциях, перекрывающих большие пролеты (мосты, ангары, спортивные сооружения, выставочные павильоны), в многократновозводимых конструкциях, в конструкциях подвижных и подъемно-транспортных устройств, для которых снижение массы приводит к снижению эксплуатационных расходов. Алюминиевые сплавы широко применяют также в самолетостроении, судостроении и других отраслях промышленности. Свойства некоторых алюминиевых сплавов, используемых для производства сварных конструкций, приведены в табл. 176.

При производстве некоторых типов сварных конструкций используют титановые сплавы. Они обладают высокими механическими свойствами, теплоустойчивостью, коррозионной стойкостью и малой плотностью. Механические свойства некоторых титановых деформируемых свариваемых сплавов приведены в табл. 177.

177. Механические свойства деформируемых свариваемых титановых сплавов при различных температурах

Сплав	σ_B , кгс/мм ²			σ_T , кгс/мм ²			a_K , кгс·м/см ²		δ_{10} , %	
	70°	20°	400°	70°	20°	400°	70°	20°	70°	20°
ВТ1-1 (листы и прутки)	60	45	15	—	38	15	—	7; 5 *	20	25
ВТ1-2 (листы и прутки)	76	61	23	—	47	19	—	5; 3,5 *	17	22
ОТ4-1 (листы)	—	65	31	—	47	26	5	7,0	15 **	20 **
ВТ5-1 (листы, поковки, штамповки)	95	75	48	85	65	—	—	7,5	8	15
АТ-3 (листы и прутки)	113	75	50	—	70	40	—	6	9 **	20 **
АТ-4 (листы и прутки)	—	90	60	—	85	55	—	4	—	15 **

* Первое число — для продольных образцов, второе — для поперечных.
** Укороченные образцы (δ_s , %).

ТИПЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

К сварным соединениям предъявляют следующие общие требования: металл шва должен быть равнопрочным основному металлу, конструкция соединения должна быть технологичной, швы не следует располагать в наиболее нагруженных местах и сечениях, а также в зонах с максимальной концентрацией напряжений, форма и размеры швов должны соответствовать чертежу, нельзя допускать скученности швов, нужно стремиться, чтобы соединение имело плавный переход от основного металла к металлу шва, а также от одного сечения к другому. Кроме общих требований, к сварным соединениям предъявляют дополнительные требования (например, коррозионной стойкости и др.).

Классификация сварных соединений. Кромки стыкуемых листов могут быть без разделки и с разделкой. Форма разделки определяется типом соединения, толщиной металла и способом сварки. Для способов сварки, не предусмотренных ГОСТами, конструкции соединений должны быть показаны на чертежах или оговорены в технических условиях.

В производстве сварных конструкций применяют следующие типы сварных соединений.

Соединение встык (рис. 138, а) является наиболее распространенным типом соединения. Соединение имеет высокую прочность при статических и динамических нагрузках. Его рационально применять для соединения листового металла, а также при стыковании угловых профилей, швеллеров и двутавровых балок.

Соединение втавр (рис. 138, б и в) применяют при производстве балок, стоек, колонн, каркасов зданий и других пространственных конструкций. Тавровые соединения могут быть без подготовки кромок и с подготовкой кромок. В соединениях без подготовки кромок возможен непровар корня шва. Поэтому такие соединения плохо работают при переменных и ударных нагрузках. Односторонний и двусторонний скосы кромок обеспечивают полный провар соединяемых элементов. Эти соединения имеют хорошую прочность при любых нагрузках. При выборе формы разделки кромок следует руководствоваться положениями, изложенными выше.

Соединение внахлестку применяют при сварке листовых конструкций, разного рода обшивок, строительных и крановых ферм и т. д. Такие соединения менее прочны по сравнению со стыковыми при переменных и ударных нагрузках, не экономичны, так как наличие перекрытия приводит к перерасходу основного металла. Соединения внахлестку не рациональны при толщине металла свыше 20 мм. Достоинством нахлесточных соединений является сравнительно простая подготовка и сборка под сварку. Соединения внахлестку осуществляют при помощи угловых швов. В зависимости от расположения швов по отношению к действующему усилию усилию угловые швы могут быть лобовыми (рис. 138, е), если они расположены перпендикулярно к направлению усилия, и фланговыми (рис. 138, ж), когда швы расположены параллельно направлению усилия. Напряжения по длине фланговых швов распределяются неравномерно. Крайние участки швов более нагружены. Поэтому при проектировании соединений с фланговыми швами длину шва принимают равной не более 50 катетам.

Угловые соединения (рис. 138, з), как правило, применяют в качестве связующих элементов. Угловые соединения обычно не рассчитывают.

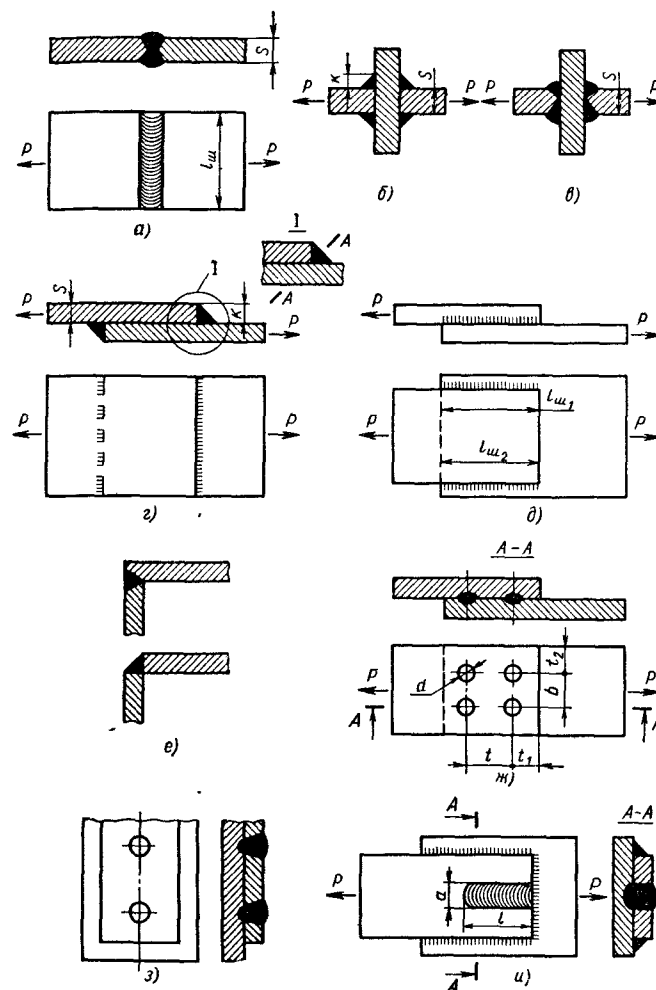


Рис. 138. Типы сварных соединений:

а — встык, б — втавр без подготовки кромок под сварку; в — втавр с подготовкой кромок под сварку; г — внахлестку с лобовыми швами, д — внахлестку с фланговыми швами, е — угловое, ж — точечное односрезное соединение внахлестку; з — электрозаклепное, и — прорезное с лобовым и фланговыми швами

Точечные соединения, выполненные контактной точечной сваркой, применяют большей частью в листовых изделиях толщиной до 20 мм. Точечную сварку широко применяют в серийном и массовом производствах автомобилей, вагонов, самолетов и других изделий и машин, в конструкциях из углеродистых, легированных сталей и цветных металлов. Помимо листовых изделий, с помощью точечной сварки можно сваривать арматурные стержни железобетонных конструкций. Листовые точечные соединения могут быть двух основных типов: внахлестку и с накладками. Последние выполняют с одной или двумя накладками. В зависимости от расположения точек соединения бывают однорядные и многорядные. Количество рядов определяют расчетом. Диаметр точек d назначают в зависимости от толщины соединяемых листов S по формуле

$$d = 1,2S + 4 \text{ мм при } S \leq 3 \text{ мм};$$

$$d = 1,5S + 5 \text{ мм при } S > 3 \text{ мм}.$$

Конструкция точечного соединения (рис. 138, ж) определяется шагом $t = 3d$, расстоянием от центра точки до края листа в направлении действия силы $t_1 = 2d$, расстоянием от центра точки до края листа в направлении, перпендикулярном к действию силы $t_2 = 1,5d$, расстоянием между точками b .

Электрозаклепочные соединения (рис. 138, з) можно выполнять внахлестку, втавр и стыковые. Эти соединения могут быть с пробивкой отверстий в верхнем листе или же без пробивки. При толщине верхнего листа до 3 мм целесообразно сваривать без пробивки отверстий.

Прорезные соединения (рис. 138, и) применяют в том случае, когда основных сварных швов недостаточно для передачи действующих усилий.

РАСЧЕТ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ПРОЧНОСТЬ

Методы расчета на прочность. Существует два метода расчета на прочность: по допускаемым напряжениям и по предельному состоянию.

Расчет по допускаемым напряжениям сводится к сопоставлению расчетных напряжений с допускаемыми:

$$\sigma \leq [\sigma]; \quad \tau \leq [\tau].$$

Допускаемые напряжения устанавливают в зависимости от следующих факторов: свойств материалов, степени точности расчета, характера нагрузки, рода усилия (растяжение, сжатие, срез, смятие).

Допускаемое напряжение на растяжение в машиностроительных конструкциях, работающих при статических нагрузках, определяют по формуле

$$[\sigma_p] = \frac{\sigma_T}{n_3},$$

где σ_T — предел текучести металла;
 n_3 — коэффициент запаса прочности.

Коэффициент запаса прочности учитывает возможность перегрузки, отклонения от норм качества материала и качества монтажа, условия эксплуатации конструкции. Для деталей из стального проката поковки и штамповок $n_3 = 1,2 \div 1,6$.

Допускаемое напряжение на сжатие $[\sigma_{сж}]$ равно или меньше допускаемого напряжения на растяжение $[\sigma_p]$, в зависимости от формы и размеров сжатого элемента:

$$[\sigma_{сж}] \leq [\sigma_p].$$

Допускаемое напряжение на срез

$$[\tau] = 0,6 [\sigma_p].$$

Допускаемое напряжение на смятие

$$[\sigma_{см}] = 1,5 [\sigma_p].$$

Для сварных соединений допускаемые напряжения выбирают в зависимости от вида технологического процесса. Зависимости для определения допускаемых напряжений в сварных соединениях машиностроительных конструкций из низко- и среднеуглеродистых сталей приведены в табл. 178. Так, например, допускаемые напряжения для швов, выполненных автоматической дуговой сваркой под флюсом или электродами Э42А, при допускаемом напряжении основного металла $[\sigma_p] = 1600 \text{ кгс/см}^2$ будут иметь следующие значения: $[\sigma'_p] = 1600 \text{ кгс/см}^2$, $[\sigma'_{сж}] = 1600 \text{ кгс/см}^2$, $[\tau'] = 1000 \text{ кгс/см}^2$.

178. Допускаемые напряжения в сварных соединениях машиностроительных конструкций

Вид технологического процесса	Допускаемые напряжения в швах		
	Растяжение	Сжатие	Срез
Автоматическая и полуавтоматическая сварка под слоем флюса, в среде защитных газов, сварка электродами типа Э42А, Э50А	$[\sigma_p]$	$[\sigma_p]$	$0,65 [\sigma_p]$
Ручная сварка электродами типа Э42, Э50	$0,9 [\sigma_p]$	$[\sigma_p]$	$0,6 [\sigma_p]$

Если швы сварены электродами Э42, то соответственно $[\sigma'_p] = 1440 \text{ кгс/см}^2$, $[\sigma'_{сж}] = 1600 \text{ кгс/см}^2$, $[\tau'] = 960 \text{ кгс/см}^2$.

Допускаемые напряжения в сварном соединении, которое должно работать в тяжелых условиях, например при высокой температуре, в кислотной или щелочной среде, назначают после проведения специальных исследований, воспроизводящих условия эксплуатации.

Расчет по предельному состоянию позволяет отдельно учитывать влияние нагрузки, качество материала, условия работы сварной конструкции. Сущность этого метода заключается в следующем. Конструкцию при расчете рассматривают не в рабочем состоянии, а в предельном, т. е. в таком состоянии, за пределами которого дальнейшая нормальная эксплуатация конструкции недопустима. Сварные конструкции рассчитывают по двум предельным состояниям: по несущей способности и по развитию чрезмерных деформаций. При расчете по несущей способности расчетное напряжение от расчетных усилий не должно превышать расчетного сопротивления металла

$$\sigma \leq R.$$

Расчетное усилие (осевое усилие N , изгибающий момент M и др.) находят по общим правилам сопротивления материалов и строительной механики от расчетных нагрузок P . Расчетную нагрузку определяют как произведение нормативной нагрузки на коэффициент перегрузки:

$$P = P^n n.$$

Коэффициент перегрузки учитывает опасность превышения нагрузки по сравнению с ее нормативным значением. Значения коэффициентов перегрузки зависят от вида нагрузки. Например, для нагрузки от собственного веса $n = 1,0 \div 1,1$, для полезной нагрузки мостовых кранов $n = 1,2 \div 1,3$, для снеговой нагрузки $n = 1,4$ и т. д.

Следовательно, при расчете по первому предельному состоянию рассматривают воздействие на конструкцию не эксплуатационных (нормативных) нагрузок, а расчетных.

Расчетное сопротивление R характеризует несущую способность конструкции. Оно зависит от механических свойств металла, геометрических характеристик сечения (площади сечения F , момента сопротивления W и т. д.) и условий работы конструкции.

Расчетное сопротивление определяют по формуле

$$R = kR^n m,$$

где R^n — нормативное сопротивление металла, равное наименьшему значению предела текучести σ_T . Для стали ВСт3 $R^n = 2100$ кгс/см², k — коэффициент однородности металла, учитывающий опасность снижения сопротивления металла по сравнению с нормативным его значением. Для обычных углеродистых сталей $k = 0,9$, для низколегированных сталей и алюминиевых сплавов $k = 0,85$; m — коэффициент условий работы, который учитывает возможные отклонения от нормальных условий эксплуатации, а также особенности работы конструкции. Например, при расчете резервуаров для хранения нефтепродуктов принимают $m = 0,8$, при расчете подкрановых балок с тяжелым режимом работы $m = 0,9$.

Значение расчетных сопротивлений для различных сталей при $m = 1$ приведены в табл. 179.

В отдельных случаях для материалов, не обладающих свойствами текучести, нормативное сопротивление принимают равным пределу прочности.

179. Расчетное сопротивление прокатной стали в кгс/см²

Вид напряженного состояния	Условное обозначение	Углеродистая сталь		Низколегированная сталь			
		Ст3, Ст4	Ст5	14Г2 и 15ГС при толщине проката, мм		10Г2С, 10Г2СД, 15ХСНД	10ХСНД
				20 и менее	21—32		
Растяжение, сжатие и изгиб	$\frac{R}{\gamma}$	2100	2300	2900	2800	2900	3400
Срез	$\frac{R_{cp}}{\gamma}$	1300	1400	1700	1700	1700	2000
Смятие торцовой поверхности (при наличии пригонки)	$R_{cm.т}$	3200	3400	4300	4200	4300	5100
Смятие местное при плотном касании	$R_{cm.м}$	1600	1700	2200	2100	—	—
Диаметральное сжатие катков при свободном касании (в конструкциях с ограниченной подвижностью)	$R_{с.к}$	80	90	110	110	110	130

Для сварных швов расчетные сопротивления зависят от технологического процесса сварки и методов контроля качества швов. Значения расчетных сопротивлений для сварных швов даны в табл. 180.

Основные формулы для расчета по несущей способности:

при растяжении

$$\sigma = \frac{N}{F_{нт}} \leq R;$$

при изгибе

$$\sigma = \frac{M}{W_{нт}} \leq R,$$

где σ — напряжения в элементе конструкции от расчетных нагрузок; N , M — расчетные усилия; $F_{нт}$ — площадь сечения нетто (за вычетом отверстий); W — момент сопротивления нетто; R — расчетное сопротивление материала.

Метод расчета по несущей способности более совершенен по сравнению с расчетом по допускаемым напряжениям, так как при этом методе более точно учитывают факторы, влияющие на прочность соединения.

180. Расчетное сопротивление металла сварных швов (кгс/см²)

Вид сварных швов	Вид напряженного состояния	Условное обозначение	Ст3 и Ст4		14Г2 и 15ГС при толщине проката, мм		10Г2С, 10Г2СД, 15ХСНД	10ХСНД	
			20 и менее	21—32	Электроды				
					Э42 и Э42А	Э50А			Э55
Швы встык	Сжатие	$R_c^{св}$	2100	2900	2900	2900	3400		
	Растяжение: при автоматической сварке	$R_p^{св}$	2100	2900	2800	2900	3400		
								при полуавтоматической и ручной сварке с применением для контроля качества швов: повышенных способов	$R_p^{св}$
	обычных способов	$R_p^{св}$	1800	2500	2400	2500	2900		
	Срез	$R_{ср}^{св}$	1300	1700	1700	1700	2000		
Угловые швы	Сжатие, растяжение и срез	$R_y^{св}$	1500	2000	2000	2000	2400		

Условием расчета по развитию чрезмерных деформаций является

$$\Delta \leq \Delta_{пр},$$

где Δ — деформация (прогиб), возникающая в результате внешних воздействий (определяют расчетом);

$\Delta_{пр}$ — предельная деформация (прогиб), устанавливается нормами в зависимости от назначения конструкции.

Предельные деформации элементов конструкций приведены в табл. 181.

Расчет прочности основных типов сварных соединений. При расчете предполагают, что напряжение в основном шве распределяется равномерно. Формулы расчета прочности приведены в табл. 182.

Расчет сварных соединений на выносливость. При этом расчете допускаемые напряжения или расчетные сопротивления основного ме-

181. Предельные деформации элементов конструкций

Элементы конструкций	Относительный прогиб
Подкрановые балки и формы. при ручных кранах	1/500
при электрических кранах грузоподъемностью до 50 т	1/600
то же, 50 т и более	1/750
Пути кран-балок	1/500
Монорельсовые пути	1/400
Балки междуэтажных перекрытий: главные	1/400
прочие	1/250
Балки рабочих площадок промышленных зданий: при отсутствии рельсовых путей. главные	1/400
прочие	1/250
при узкоколейных путях	1/400
при ширококолейных путях	1/600

Примечание. Прогибы определяют без учета ослабления сечений отверстиями для заклепок и болтов, а также без учета коэффициента динамичности.

талла и сварных соединений, работающих при повторно-переменных (усталостных) нагрузках, определяют путем умножения соответствующих допускаемых напряжений или расчетных сопротивлений, принятых при статических нагрузках, на коэффициент $\gamma \leq 1$, который для строительных конструкций определяют по формуле

$$\gamma = \frac{1}{(a\beta \pm b) - (a\beta \mp b)r},$$

где a и b — коэффициенты, значения берут по табл. 183;

β — эффективный коэффициент концентрации, зависит от типа соединения и механической обработки кромок и сварного шва, принимают по табл. 184;

$r = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$ — характеристика циклов повторно-переменных напряжений;

σ_{\max} , σ_{\min} — наибольшее и наименьшее по абсолютной величине напряжения в элементе, взятые со своими знаками (растяжение — знак плюс, сжатие — знак минус).

Верхние знаки в знаменателе формулы для определения коэффициента γ берут в случае, когда наибольшее по абсолютной величине напряжение является растягивающим, нижние знаки — когда наибольшее по абсолютной величине напряжение является сжимающим.

182. Формулы для расчета сварных соединений на прочность

Тип сварного соединения	Эскиз	Характер нагружения сварного шва	Формулы расчета	
			по допускаемым напряжениям	по предельному состоянию
Стыковое при перпендикулярном расположении швов к действующим силам		Растяжение	$\sigma = \frac{N^H}{l_{ш} S} \leq [\sigma'_p]$	$\sigma = \frac{N}{(l_{ш} - 1) S} \leq R_{p}^{св}$
		Сжатие	$\sigma = \frac{N^H}{l_{ш} S} \leq [\sigma'_{сж}]$	$\sigma = \frac{N}{(l_{ш} - 1) S} \leq R_{сж}^{св}$
Внахлестку с применением лобовых угловых швов		Срез	$\tau = \frac{N^H}{1,4K l_{ш}} \leq [\tau]$	$\tau = \frac{N}{1,4K (l_{ш} - 1)} \leq R_{св}^{св}$
		Срез	$\tau = \frac{N^H}{0,7K l_{ш}} \leq [\tau']$ $l_{ш} = l_1 + l_2 + l_3$	$\tau = \frac{N}{0,7K (l_{ш} - 1)} \leq R_{св}^{св}$

Продолжение табл. 182

Тип сварного соединения	Эскиз	Характер нагружения сварного шва	Формулы расчета	
			по допускаемым напряжениям	по предельному состоянию
Втавр с двумя угловыми швами		Срез	$\tau = \frac{N^H}{1,4K l_{ш}} \leq [\tau']$	$\tau = \frac{N}{0,7K (l_{ш} - 1)} \leq R_{св}^{св}$
		Растяжение	$\sigma = \frac{N^H}{S l_{ш}} \leq [\sigma'_p]$	$\sigma = \frac{N}{S (l_{ш} - 1)} \leq R_{p}^{св}$
Втавр с подготовкой кромок под сварку		Сжатие	$\sigma = \frac{N^H}{S l_{ш}} \leq [\sigma'_{сж}]$	$\sigma = \frac{N}{S (l_{ш} - 1)} \leq R_{сж}^{св}$
		Изгиб	$\tau = \frac{M^H}{W_{нт}} \leq [\tau']$	$\tau = \frac{M}{W_{нт}} \leq R_{св}^{св}$

Продолжение табл. 182

Тип сварного соединения	Эскиз	Характер нагружения сварного шва	Формулы расчета	
			по допускаемым напряжениям	по предельному состоянию
Втавр с подтопкой кромок под сварку		Иаггиб	$\sigma = \frac{M\eta}{W_{\text{нт}}} \leq [\sigma'_p]$ $W_{\text{нт}} = \frac{0,7K\eta^2}{6}$	$\pi = \frac{M}{W_{\text{н}}} \leq R_{\text{св}} R_{\text{у}}$
Точечное односрезное		Срез	$\tau = \frac{N\eta}{n \frac{\pi d^2}{4}} \leq [\tau_0]$ $\pi = 3,14$	$\tau = \frac{N}{n \frac{\pi d^2}{4}} \leq R_{\text{св}} R_{\text{ср}}$
Точечное двухсрезное		Срез	$\tau = \frac{N\eta}{2n \frac{\pi d^2}{4}} \leq [\tau_0]$	$\tau = \frac{N}{2n \frac{\pi d^2}{4}} \leq R_{\text{св}} R_{\text{ср}}$

Продолжение табл. 182

Тип сварного соединения	Эскиз	Характер нагружения сварного шва	Формулы расчета	
			по допускаемым напряжениям	по предельному состоянию
Точечное		Отрыв	$\sigma = \frac{N\eta}{n \frac{\pi d^2}{4}} \leq [\sigma'_p]$	$\tau = \frac{N}{n \frac{\pi d^2}{4}} \leq R_{\text{св}} R_{\text{р}}$

Условные обозначения

$N, M\eta$ — нормативные значения продольного усилия и изгибающего момента,
 N, M — расчетные значения продольного усилия и изгибающего момента,
 S — толщина свариваемого металла, см,
 $l_{\text{ш}}$ — длина сварного шва, см,
 K — катет углового шва, см,
 η — допускаемые напряжения при растяжении, сжатии, срезе в металле сварного шва, кгс/см²,
 W — момент сопротивления расчетного сечения, см³,
 d — диаметр сварной точки, см,
 n — число сварных точек в ряду,
 $R_{\text{св}}, R_{\text{сж}}, R_{\text{ср}}, R_{\text{у}}$ — расчетные сопротивления при растяжении, сжатии и срезе в металле сварного шва,
 $[\sigma'_p], [\sigma'_{\text{сж}}], [\tau]$ — допускаемое напряжение в сварной точке при срезе, определяют экспериментально
 $[\tau_0]$ — допускаемое напряжение в металле сварной точки при срезе,
 $R_{\text{св}}$ — расчетное сопротивление металла сварной точки при срезе,
 $R_{\text{ср}}$ — расчетное сопротивление металла сварной точки при срезе,
 I (см) — величина уменьшения расчетной длины сварного шва, если кратеры не выведены за пределы элемента

183. Значение коэффициентов a и b

Сталь	Подкрановые балки и фермы, а также балки рабочих площадок и элементы конструкций бункерных и разгрузочных эстакад		Конструкции, находящиеся под воздействием полной нормативной переменной нагрузки	
	a	b	a	b
Углеродистая	0,75		0,9	0,3
Низколегированная	0,8	0,3	0,95	0,3

184. Значения эффективного коэффициента концентрации напряжений

Расчетные сечения	Величина коэффициента для стали	
	углеродистой	низколегированной
<i>По основному металлу</i>		
Основной металл с необработанной прокатной поверхностью, с прокатными или обработанными механическим путем кромками по сечениям вне заклепок, болтов и сварных швов	1,0	1,0
То же, но с кромками обрезанными: машинной газовой резкой	1,1	1,2
ручной газовой резкой	1,4	1,8
Основной металл в зоне перехода к стыковому шву, обработанному в этом месте абразивным кругом или специальной фрезой при стыковании листов одинаковой толщины и ширины	1,0	1,0
при стыковании листов разной ширины	1,2	1,4
при стыковании листов разной толщины	1,3	1,6
Основной металл в месте перехода к лобовому условному шву в рабочих соединениях внахлестку:		
без механической обработки при отношении катетов $\frac{K_1}{K_2} = 2$ (больший катет — вдоль усилия)	2,3	3,2
то же, при отношении катетов $\frac{K_1}{K_2} = 1,5$	2,7	3,7
при механической обработке и $\frac{K_1}{K_2} = 2$	1,2	1,4
то же, при $\frac{K_1}{K_2} = 1,5$	1,5	1,9
Основной металл в соединениях с фланговыми швами, работающими на срез от осевой силы, в местах перехода от элемента к концам фланговых швов, независимо от обработки швов	3,4	4,4

Продолжение табл. 184

Расчетные сечения	Величина коэффициента для стали	
	углеродистой	низколегированной
Основной металл вблизи диафрагмы и ребер, приваренных угловыми швами к растянутым поясам балки и элементам ферм без механической обработки швов, но при наличии плавного перехода от швов к основному металлу:		
при ручной сварке	1,6	2,2
при полуавтоматической сварке	1,3	1,5
то же, при механической обработке швов	1,0	1,1
<i>По металлу соединений</i>		
Стыковые швы (по оси шва) с полным проваром корня шва при автоматической (также ручной) сварке и просвечивании	1,0	1,0
при ручной сварке без просвечивания	1,2	1,4
Угловые швы:		
поперечные (лобовые) швы по расчетному сечению шва:		
при ручной сварке	2,3	3,2
при автоматической сварке	1,7	2,4
продольные (фланговые) швы, работающие на срез от осевой силы в соединении, при проверке срезающих напряжений по длине шва	3,4	4,4

ОБОЗНАЧЕНИЕ ШВОВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Условные изображения и обозначения швов сварных соединений регламентированы ГОСТ 2.312—72, согласно которому видимые швы, независимо от способа сварки, условно изображают на чертежах сплошными основными линиями, невидимые швы — штриховыми линиями, видимую одиночную точку изображают знаком «+», который выполняют сплошными основными линиями. Невидимые одиночные точки не изображают.

Условное обозначение стандартного шва или одиночной сварной точки включает:

вспомогательные знаки шва по замкнутой линии и монтажного шва; обозначение стандарта на типы и конструктивные элементы швов сварных соединений;

буквенно-цифровое обозначение шва по стандарту на типы и конструктивные элементы швов сварных соединений;

условное обозначение способа сварки по стандарту на типы и конструктивные элементы швов сварных соединений (допускается не указывать);

знак Δ и размер катета согласно стандарту на типы и конструктивные элементы швов сварных соединений;

для прерывистого шва — размер длины провариваемого участка, знак / или Z и размер шага;

для одиночной точки — размер расчетного диаметра точки;

для шва контактной точечной электросварки — размер расчетного диаметра точки или электрозаклепки; знак / или Z и размер шага;

для шва контактной роликовой электросварки — размер расчетной ширины шва;

для прерывистого шва контактной роликовой электросварки — размер расчетной ширины шва, знак умножения, размер длины провариваемого участка, знак / и размер шага;

вспомогательные знаки (обозначение шероховатости поверхности, знак, показывающий снятие усиления и т. д.).

Условное обозначение нестандартного шва или одиночной сварной точки включает:

вспомогательные знаки шва по замкнутой линии и монтажного шва;

для прерывистого шва — размер длины провариваемого участка, знак / или Z и размер шага;

для одиночной сварной точки — размер расчетного диаметра точки;

для шва контактной точечной электросварки или электрозаклепочного — размер расчетного диаметра точки или электрозаклепки; знак / или Z и размер шага;

для шва контактной роликовой электросварки — размер расчетной ширины шва;

для прерывистого шва контактной роликовой электросварки — размер расчетной ширины шва, знак умножения, размер длины провариваемого участка, знак / и размер шага;

вспомогательные знаки.

Вспомогательные знаки для обозначения сварных швов приведены в табл. 185.

Знаки обозначения швов сварных соединений располагают над полкой линии-выноски, когда она проведена от изображения шва с лицевой стороны и под полкой, если линия-выноска проведена от изображения шва с обратной стороны.

Если для шва сварного соединения установлен контрольный комплекс или категория контроля шва, то их обозначение допускается помещать под линией-выноской.

При наличии на чертеже одинаковых швов обозначение наносят у одного из изображений, а от изображений остальных одинаковых швов проводят линии-выноски с полками. Всем одинаковым швам присваивают один порядковый номер, который наносят:

на линии-выноске, имеющей полку с нанесенным обозначением шва; на полке линии-выноски, проведенной от изображения шва, не имеющего обозначения, с лицевой стороны;

под полкой линии-выноски, проведенной от изображения шва, не имеющего обозначения, с обратной стороны.

Допускается не присваивать порядковый номер швам, если все швы на чертеже одинаковы и изображены с одной стороны. При этом швы, не имеющие обозначения, отмечают линиями-выносками без полок.

Примеры условных обозначений швов сварных соединений приведены в табл. 186—187.

185. Вспомогательные знаки для обозначения сварных швов

Знак	Значение знака	Расположение знака относительно полки линии-выноски	
		с лицевой стороны	с обратной стороны
	Усиление шва снять		
	Наплывы и неровности шва обработать с плавным переходом к основному металлу		
	Шов выполнить при монтаже изделия, т. е. при установке его по монтажному чертежу на месте применения		
	Шов прерывистый или точечный с цепным расположением. Угол наклона линии 60°		
	Шов прерывистый или точечный с шахматным расположением		
	Шов по замкнутой линии — диаметр знака — 3—5 мм		
	Шов по незамкнутой линии. Знак применяют, если расположение шва ясно из чертежа		

Примечания: 1. За лицевую сторону одностороннего шва сварного соединения принимают сторону, с которой производят сварку.

2. За лицевую сторону двустороннего шва сварного соединения с несимметрично подготовленными кромками принимают сторону, с которой производят сварку основного шва.

3. За лицевую сторону двустороннего шва сварного соединения с симметрично подготовленными кромками может быть принята любая сторона.


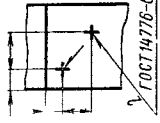
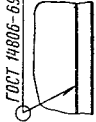
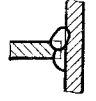
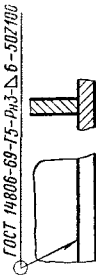
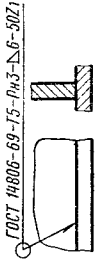
186. Примеры условных обозначений стандартных швов сварных соединений

Характеристика шва	Форма поперечного сечения шва	Условное обозначение шва, изображенного на чертеже	
		с лицевой стороны	с оборотной стороны
Шов стыкового соединения с криволинейным скосом одной кромки, двусторонний, выполняемый электродуговой ручной сваркой при монтаже изделия Усиление снято с обеих сторон Шероховатость поверхностей шва с лицевой стороны $\nabla 5$ с оборотной стороны $\nabla 3$			
Шов углового соединения без скоса кромок, двусторонний, выполненный автоматической сваркой под флюсом с ручной подваркой по замкнутой линии			


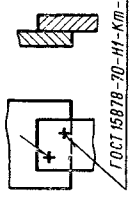
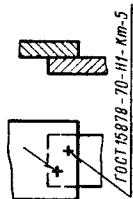


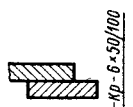

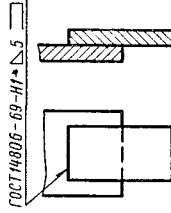
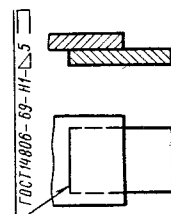
Продолжение табл. 186

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			
Шов электрозаклепочный соединения внахлестку, выполняемый аргоно-дуговой сваркой плавающим электродом Диаметр электрозаклепки 9 мм. Шаг 100 мм Расположение электрозаклепок шахматное Усиление снято Шероховатость обработанной поверхности $\nabla 4$			
Шов стыкового соединения без скоса кромок, односторонний, на остающейся подкладке, выполняемый сваркой нагретым газом с присадкой			

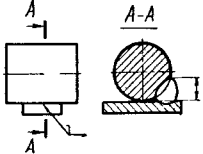
Продолжение табл. 186

Характеристика шва	Форма поперечного сечения шва	Условное обозначение шва, изображенного на чертеже	
		с лицевой стороны	с оборотной стороны
<p>Одиночные электрозаклепки соединения внахлестку, выполняемые электродуговой сваркой под флюсом.</p> <p>Диаметр электрозаклепки 11 мм.</p> <p>Усилие свято.</p> <p>Шероховатость обработанной поверхности $\nabla 3$</p>			
<p>Шов таврового соединения без скоса кромок, двусторонний, прерывистый с шахматным расположением, выполняемый электродуговой ручной сваркой в защитных газах неплавающимся металлургическим электродом по замкнутой линии. Катет шва 6 мм. Длина провариваемого участка 50 мм Шаг 100 мм</p>			

Продолжение табл. 186

Характеристика шва	Форма поперечного сечения шва	Условное обозначение шва, изображенного на чертеже	
		с лицевой стороны	с оборотной стороны
<p>Одиночные точки соединения внахлестку, выполняемые контактной точечной электросваркой. Расчетный диаметр точки 5 мм</p>			
<p>Шов соединения внахлестку, прерывистый, выполняемый контактной роликовой электросваркой.</p> <p>Ширина роликового шва 6 мм. Длина провариваемого участка 50 мм Шаг 100 мм</p>			
<p>Шов соединения внахлестку без скоса кромок, односторонний, выполняемый электродуговой полуавтоматической сваркой в защитных газах плавящимся электродом</p> <p>Шов по незамкнутой линии Катет шва 5 мм</p>			

187. Пример условного обозначения нестандартного шва сварного соединения

Характеристика шва	Условное изображение и обозначение шва на чертеже
Шов соединения без скоса кромок, односторонний, выполняемый ручной электродуговой сваркой при монтаже изделия	
Примечание В технических требованиях делают следующее указание: «Сварка ручная электродуговая».	

СВАРОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ

Сварка, как и другие процессы обработки металлов (литье, прокатка, штамповка, термообработка), вызывает в изделиях собственные напряжения. Собственными напряжениями называют напряжения, которые существуют в изделии без приложения внешних сил. Собственные напряжения, различаются: по времени существования, по характеру распределения, по объему изделия и по направлению в пространстве.

По первому признаку собственные напряжения подразделяют на временные и остаточные. Временные напряжения возникают в изделиях при неравномерном нагревании. Если при этом напряжения в любом объеме изделия не превысят предела упругости, они исчезают после охлаждения изделия. Остаточные напряжения остаются в изделии после исчезновения причины, их вызвавшей. Эти напряжения также возникают при сварке вследствие неравномерного нагрева изделия. Однако в отдельных объемах тела должны иметь место термopластические деформации или структурные превращения. Эти необратимые пластические деформации или структурные превращения, сопровождающиеся изменением удельных объемов, при сварке в большинстве случаев имеют место в околошовной зоне и в шве.

По второму признаку собственные сварочные напряжения классифицируют в зависимости от величины объема, в котором они уравновешиваются.

Собственные напряжения первого рода уравновешиваются в объемах, соизмеримых с целым изделием. Величины напряжений первого рода могут быть определены расчетным путем (чаще всего приближенно) или экспериментально, причем последний способ в практических целях является предпочтительным.

Собственные напряжения второго рода уравновешиваются в микрообъемах тела, соизмеримых с размерами одного или нескольких зерен, не имеют определенной ориентировки и не зависят от формы изделий. Величину этих напряжений можно определить рентгенографированием.

Собственные напряжения третьего рода связаны с искажением кристаллических решеток и уравновешиваются в ультрамалых объемах.

Эти напряжения также не ориентированы определенным образом и не зависят от формы и размеров изделия. Величину напряжений третьего рода также определяют рентгенографированием.

Расчетными инженерными напряжениями являются напряжения первого рода. Особенности этих напряжений, механизм их возникновения и влияние на прочность сварных конструкций изучены достаточно полно. В дальнейшем при рассмотрении вопросов сварочных напряжений речь будет идти только о напряжениях первого рода.

По направлению в пространстве собственные напряжения классифицируют на одноосные, двухосные (плоскостные) и трехосные (объемные). Собственные сварочные напряжения, строго говоря, всегда являются объемными. Однако во многих случаях составляющие собственных объемных напряжений, действующих по одной или двум осям, малы по величине и ими пренебрегают. В этих случаях условно считают собственные напряжения соответственно плоскостными (сварка тонких листов) или одноосными (сварка стержней). Напряжения, действующие вдоль сварного шва, называют продольными, действующие перпендикулярно продольной оси шва в плоскости свариваемых элементов, называют поперечными.

Независимо от характера распределения собственные напряжения в любом сечении, полностью пересекающем тело, всегда уравновешены.

Механизм образования сварочных напряжений и деформаций. Сварка металлов протекает в широком интервале температур: от температуры окружающей среды до 3000—4000° С. При этом интенсивному нагреву подвергаются небольшие объемы металла — шов и околошовная зона. С удалением от оси шва температура нагрева снижается, периферийные участки свариваемых изделий могут вообще не подвергаться нагреву. Через определенный промежуток времени после начала сварки в теле изделия наступает предельное температурное состояние, характеризующееся постоянным положением изотерм в металле относительно источника тепла. После наступления предельного температурного состояния изотермы и источник тепла движутся с одинаковой скоростью, и различные сечения свариваемого изделия претерпевают в разные моменты времени одинаковые температурные состояния. Графическое изображение подвижного температурного поля предельного состояния показано на рис. 139. Как видно, неравномерность нагрева пластины очень высока.

Равномерный нагрев и охлаждение свободно лежащего элемента не вызовут появления в нем ни временных напряжений в процессе нагрева, ни остаточных напряжений после охлаждения. Однако если элемент закреплен, то даже равномерный его нагрев вызывает появление в элементе напряжений. Если возникающие напряжения не превысят предела упругости, то к моменту полного охлаждения (до исходной температуры) элемента они исчезнут. Если же напряжения в каком-либо объеме элемента превысят предел упругости и достигнут величины предела текучести, то в элементе появятся после его охлаждения остаточные напряжения. Аналогичным образом возникают остаточные напряжения, если элемент не имеет внешних закреплений, но нагревается или охлаждается неравномерно так, как это происходит при сварке. Роль закреплений в этом случае играют ненагретые части элемента.

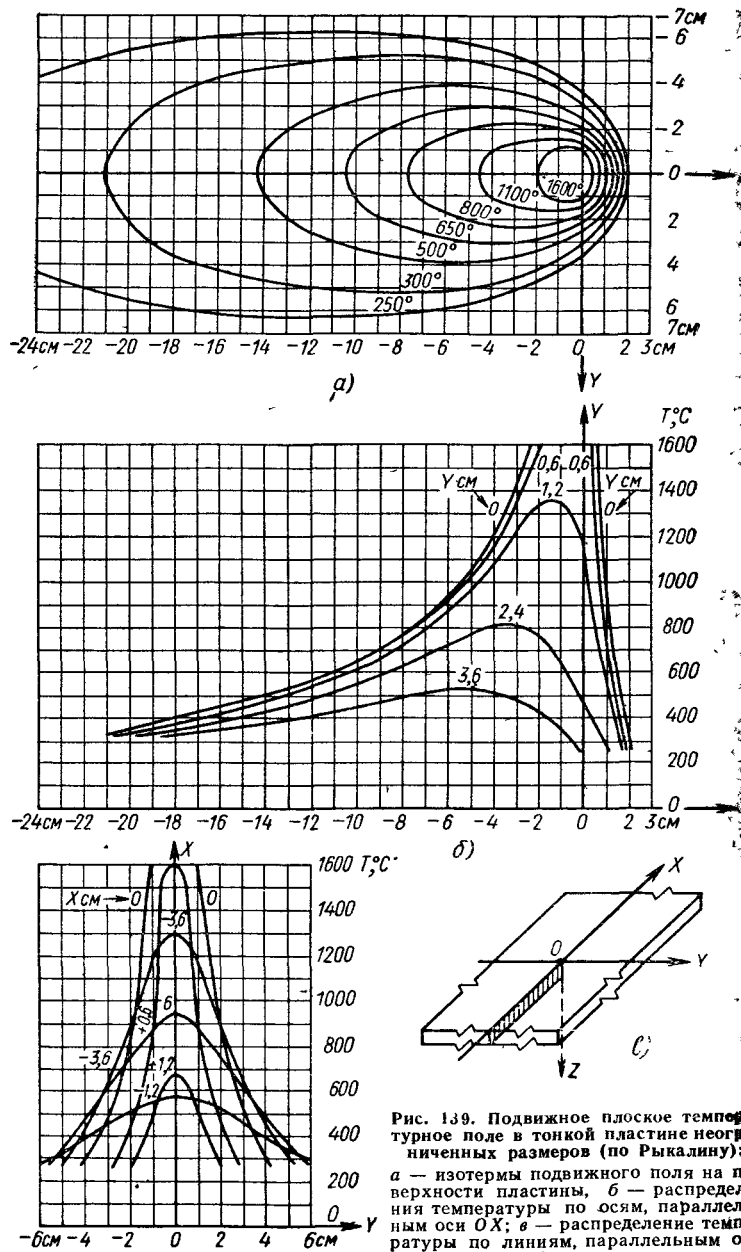


Рис. 139. Подвижное плоское температурное поле в тонкой пластине неограниченных размеров (по Рыкалину): а — изотермы подвижного поля на поверхности пластины, б — распределение температуры по осям, параллельным оси OX; в — распределение температуры по линиям, параллельным оси

При рассмотрении механизма возникновения сварочных напряжений необходимо иметь в виду, что механические свойства металлов зависят от температуры. Например, предел текучести низкоуглеродистой стали при нагреве постепенно понижается. В интервале температур 500—600° С величина этой характеристики резко уменьшается. Практически можно принять, что при нагреве свыше 600° С низкоуглеродистая сталь имеет предел текучести, близкий к нулю.

Рассмотрим механизм возникновения собственных напряжений и деформаций при наплавке валика на поверхность стального листа. Примем следующие допущения, в принципе не искажающие происходя-

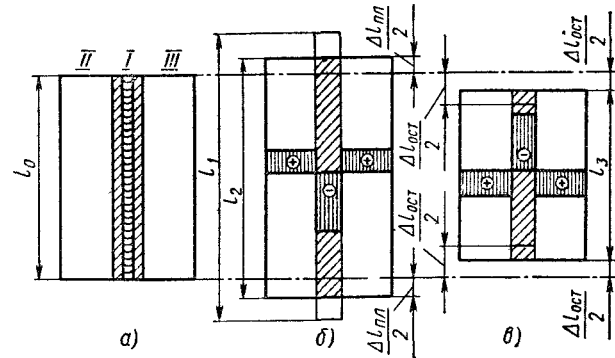


Рис. 140. Механизм возникновения собственных напряжений при наплавке валика на поверхность пластины

щие при наплавке физические явления: валик накладывается одновременно на всю длину листа, в процессе наложения валика нагреву подвергается только центральная полоса пластины I (на рис. 140, а заштрихована), края пластины II и III останутся ненагретыми. Допустим также, что полоса I по толщине нагревается равномерно.

В какой-то момент времени после наложения валика в полосе I наступит тепловое равновесие, и температура нагрева достигнет величины T . Если бы волокна полосы I не были связаны с волокнами полос II и III, то полная длина полосы I вследствие нагрева до температуры T стала бы равной

$$l_1 = l_0 (1 + \alpha T),$$

где α — коэффициент теплового расширения (принимает постоянным)

Однако такая связь имеется, и все три полосы пластины могут деформироваться только совместно. Поэтому полоса I удлинится до величины l_2 , меньшей l_3 (рис. 140, б). Вместе с ней удлинится настолько же полосы II и III, которые в этом случае будут играть роль связей, препятствующих тепловому удлинению полосы I. Следовательно, в процессе нагрева в полосе I возникнут напряжения сжатия, в полосах II и III — напряжения растяжения. Если в процессе нагрева напряжения сжатия в полосе I превысят предел упругости и достигнут

предела текучести (что имеет место на практике при сварке и наплавке), то полоса претерпит пластическую деформацию сжатия, равную $\Delta l_{пл}$.

При охлаждении полоса *I* будет стремиться укоротиться на величину полученной деформации сжатия $\Delta l_{пл}$, но этому препятствуют полосы *II* и *III*. После полного охлаждения лист в целом получит усадку $\Delta l_{ост}$, меньшую, чем $\Delta l_{пл}$. Вместе с этим в полосе *I* возникнут остаточные напряжения растяжения, в полосах *II* и *III* — остаточные напряжения сжатия. Поле остаточных сварочных напряжений в листе в целом будет находиться в равновесии.

Остаточные напряжения равны по величине и обратны по знаку временным напряжениям, имевшим место в период нагрева и исчезнувшим вследствие протекающих пластических деформаций. Упрощенные эпюры временных и остаточных напряжений показаны соответственно на рис. 140, б, в.

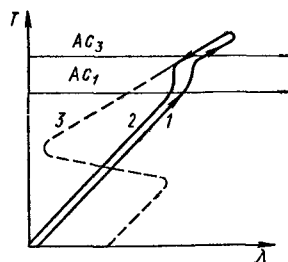


Рис. 141. Зависимость объемных изменений от температуры

В действительности, при сварке и наплавке распределение температуры в элементе подчиняется более сложному закону (см. рис. 139, б). Являясь функцией температуры, тепловые деформации и, следовательно, временные и остаточные напряжения также распределяются по сечению элемента по более сложным законам. Тем не менее в любом случае сварки и наплавки (плавлением) в сварном изделии практически всегда можно выделить участки, где будут протекать пластические деформации и возникнут остаточные сварочные напряжения, равные пределу текучести материала или близкие к нему. Чаще всего это участки шва и околошовной зоны. Протяженность этих участков зависит от многих факторов, в числе которых можно назвать режим сварки и геометрические размеры изделия.

Структурные превращения как причина возникновения остаточных напряжений. Нагрев металла при сварке и наплавке вызывает не только температурные объемные изменения, но и структурные превращения. Эти превращения также приводят к объемным изменениям и возникновению в ряде случаев остаточных (структурных) напряжений.

Механизм возникновения структурных напряжений можно представить следующим образом. Околошовная зона подвергается нагреву до температур, превышающих A_{c1} и A_{c3} *. В интервале этих температур имеет место аустенитное превращение, связанное с уменьшением удельного объема (рис. 141, кривая 1). Низкоуглеродистые стали при этих температурах пластичны, и происходящие объемные изменения не сопровождаются образованием напряжений в металле. При охлаждении распад аустенита у низкоуглеродистых сталей происходит примерно в том же интервале температур, вследствие чего и это фазовое превращение не вызывает возникновения внутренних напряжений (рис. 141, кривая 2).

При охлаждении легированных сталей распад аустенита может сопровождаться образованием мартенситной фазы. Образование мар-

тенсита связано с увеличением удельного объема (рис. 141, кривая 3). В зависимости от химического состава и скорости охлаждения распад аустенита и образование мартенсита может иметь место при низких температурах, когда сталь находится в упругом состоянии. В этом случае расширение объемов с образовавшейся структурой мартенсита препятствуют участки, не претерпевшие структурных превращений. Поэтому в объемах со структурой мартенсита возникают остаточные напряжения сжатия.

Возникновение структурных остаточных напряжений при сварке закаливающихся сталей существенно изменяет характер распределения сварочных напряжений. Например, при сварке стали 35ХНЗМ в шве и околошовной зоне возникают остаточные напряжения сжатия вместо растягивающих напряжений, которые имели бы место при отсутствии структурных превращений.

Влияние остаточных сварочных напряжений на прочность сварных соединений и конструкций. Напряжения, возникающие при сварке, часто достигают в отдельных участках сварного соединения величины предела текучести. Иначе говоря, в сварном изделии действуют напряжения, превышающие допустимые, еще до приложения к ней полезной нагрузки. Прочность сварной конструкции может оказаться выше расчетной, когда остаточные сварочные напряжения и рабочие напряжения разного знака взаимно компенсируются. При этом остаточные сварочные напряжения являются резервом повышения прочности сварной конструкции.

При статической нагрузке остаточные сварочные напряжения не влияют на прочность сварных соединений и конструкций, когда металл сохраняет способность пластически деформироваться. Если напряжения от внешней нагрузки складываются с остаточными напряжениями, наступает местная пластическая деформация, в результате которой увеличение напряжений выше предела текучести не происходит. Местная текучесть обычно захватывает небольшие участки сварного соединения и не исчерпывает пластических свойств металла. В результате местной текучести прочность, а также геометрические размеры соединения или конструкции не изменяются или изменяются незначительно, однако это явление не желательно в конструкциях точных станков и приборов.

Металл утрачивает способность пластически деформироваться в следующих случаях:

при наличии объемного поля остаточных сварочных напряжений (большие толщины, закрепление изделия по трем осям). В этом случае при сложении объемных остаточных напряжений с рабочими разрушение может произойти до появления пластической деформации, так как металл переходит в хрупкое состояние. Следует отметить, что плоское поле остаточных напряжений также снижает способность металла пластически деформироваться, хотя и в меньшей степени;

при наличии резкого концентратора напряжений (острый надрез, непровар, неплавный переход от одного сечения к другому), расположенного поперек действия растягивающих остаточных и рабочих напряжений;

при низкой температуре, которая может перевести металл в хрупкое состояние.

Металл с низкими пластическими свойствами склонен к переходу в хрупкое состояние в значительно большей степени, чем пластичный

* Для низкоуглеродистой стали $A_{c1} = 723^\circ$ и $A_{c3} = 850^\circ$ С.

Ввиду этого сварные соединения и конструкции из высокопрочных сталей весьма чувствительны к наличию остаточных напряжений.

Влияние остаточных сварочных напряжений на прочность при усталостной нагрузке подчиняется общим закономерностям, рассмотренным выше. Эффективность влияния остаточных напряжений на усталостную прочность увеличивается при наличии концентраторов напряжений в виде острых надрезов, а также с понижением пластических свойств металла.

Хрупкое разрушение при наличии сварочных напряжений имеет следующие особенности: разрушение носит внезапный характер и не имеет следов пластических деформаций, хрупкая трещина, возникающая в местах концентрации напряжений, пересекает большую часть или все сечение, разрушение наступает при незначительных рабочих напряжениях.

В этом случае поле остаточных сварочных напряжений играет роль источника энергии для развития возникающей хрупкой трещины. Высокие остаточные сварочные напряжения являются также необходимым (силовым) компонентом условий для возникновения и развития холодных технологических трещин в период времени, непосредственно следующий за сваркой.

Остаточные сварочные сжимающие напряжения могут быть также причиной потери устойчивости листовых сварных конструкций (резервуаров различного рода, трубопроводов), а также колонн и стоек. Потеря устойчивости элементов или конструкций в целом может иметь место даже при отсутствии рабочих напряжений, если уровень остаточных напряжений превысит критический.

Влияние остаточных деформаций на качество сварных конструкций проявляется в следующем. Остаточная деформация узлов и элементов крупной конструкции затрудняет сборку или делает ее невозможной без подгонки, подрубки, правки. Это усложняет технологию и увеличивает трудоемкость изготовления конструкции.

Возникающие в процессе сварки деформации заготовки требуют назначения повышенных припусков на механическую обработку.

Очень опасно искажение расчетных геометрических сечений элементов и конструкций в целом в результате сварочных деформаций. Это явление может привести к появлению неучтенных напряжений при эксплуатации конструкции и выходу ее из строя. Искажение формы трубопроводов и других изделий может существенно изменить эксплуатационные характеристики сварного изделия. И, наконец, остаточные деформации ухудшают внешний вид изделия. Это в основном относится к листовым обшивкам кабин автомобилей, вагонов и др.

Методы устранения сварочных напряжений. Снятие остаточных сварочных напряжений с целью повышения прочности и долговечности сварных конструкций должно подтверждаться действительной необходимостью операции, так как во многих случаях остаточные сварочные напряжения не влияют на прочность сварных конструкций.

Разработаны следующие методы устранения остаточных сварочных напряжений.

Общий высокий отпуск в термических печах. Конструкцию нагревают до 600—650° С и выдерживают при этой температуре при толщине элементов до 20 мм 3 ч, свыше 20 до 36 мм 4 ч. После выдержки — охлаждение на воздухе.

Местный высокий отпуск применяют для снижения уровня остаточных напряжений в отдельных участках или элементах сварных конструкций, а также для повышения пластических свойств. Элементы нагревают в переносных термических печах (т. в. ч.). Следует учитывать, что неравномерный нагрев при местном отпуске вызывает свои остаточные напряжения, которые могут достигать значительной величины.

Механический отпуск заключается в воздействии на конструкцию напряжений, равномерно распределенных по сечению и достигающих предела текучести. Этот способ вызывает побочные явления: наклеп, снижение пластических свойств, а также затруднителен для выполнения, так как требует приложения к конструкции значительных усилий.

Термопластический отпуск заключается в нагреве смежных параллельных шву зон, в которых действуют остаточные напряжения сжатия. Удлинение нагреваемых зон вызывает в шве напряжения растяжения и пластическую деформацию, снимающую остаточные напряжения.

Методом обкатки устраняют одновременно остаточные напряжения и остаточные деформации в тонкостенных сварных изделиях из пластичных материалов. Метод обкатки заключается в пропускании изделия между роликами или валиками с определенным усилием обжатия. Обкатке подвергают шов и околошовную зону или все изделие. Этот метод является развитием метода проковки.

Метод проковки швов также устраняет одновременно остаточные напряжения и деформации. Более эффективна проковка швов в горячем состоянии.

Возникновение остаточных сварочных напряжений можно предотвратить снижением степени неравномерности нагрева изделия при сварке. Поэтому стремятся выбрать режим, обеспечивающий наиболее равномерный нагрев изделия по поперечному сечению, а также применяют сопутствующий подогрев.

Методы предотвращения и устранения сварочных деформаций. Деформации сварных конструкций можно условно подразделить на следующие виды.

Продольное укорочение является следствием продольной усадки шва и околошовной зоны.





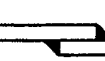


Поперечное укорочение обусловлено поперечной усадкой шва и околошовной зоны. Оба вида деформации образуются при симметричном наложении сварных швов. Численные значения усадки для различных типов сварных соединений в зависимости от способа сварки приведены в табл. 188.

Деформация изгиба конструкции возникает в случае несимметричного расположения швов относительно центра тяжести сечения. Величина деформации изгиба определяется стрелой прогиба (рис. 142).

Скручивание (рис. 143) имеет место при сварке двутавровых, коробчатых и иного сечения балок значительной длины. Деформация этого вида образуется вследствие неодновременности наложения поясных швов, разной жесткости сечения по осям симметрии и наличия полей остаточных напряжений в элементах конструкции до сварки.

Выпучины и волнистость (рис. 144) образуются в листовых конструкциях в результате возникновения остаточных напряжений сжатия и потери устойчивости листов.

188. Усадка сварных соединений различных типов

Эскиз соединения	Толщина металла, мм	Вид шва	Катег шва, мм	Продольная усадка, мм/м		Поперечная усадка, мм/м	
				Ручная сварка ка- чественным электро- дом	Автоматическая сварка	Ручная сварка ка- чественным электро- дом	Автоматическая сварка
	—	Прерывистый шахматный	3—5 5—8	0,20 0,20	— —	— 0,25	— —
	—	Прерывистый цепной	3—5 5—8	0,20 0,20	— —	0,35 0,35	— —
	—	Непрерывный односторонний	3—5 5—8	0,20 0,20	0,10 0,10	0,50 0,70	0,25 0,35
	—	Непрерывный двусторонний	3—5 5—8	0,35 0,35	0,20 0,20	1,0 1,0	0,50 0,70
	—	Непрерывный внахлестку	3—5 5—8	0,35 0,35	0,20 0,20	1,5 1,5	0,70 0,80
	1—4 5—8 9—12	Стыковой без разделки кромок	— — —	0,35 — —	0,20 — —	0,70 — —	0,70 0,85 1,0
	5—8 9—12	Стыковой с разделкой кромок	— —	0,35 0,35	— —	1,20 1,70	— —

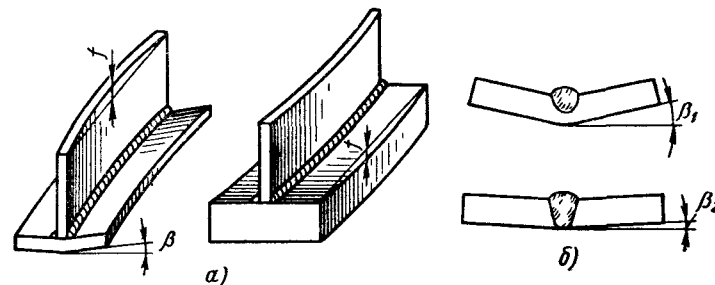


Рис. 142. Остаточные деформации:
а — сварных тавровых балок; б — листов

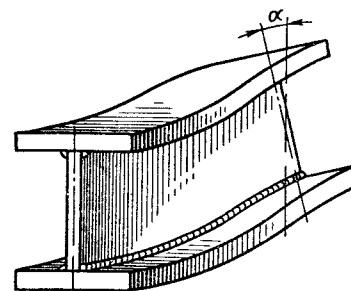


Рис. 143. Остаточная деформация скручивания двутавровой сварной балки

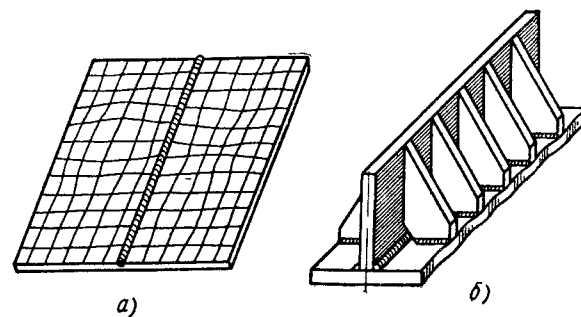


Рис. 144. Местные остаточные деформации:
а — выпучивание листов; б — волнистость пояса сварной тавровой балки

Угловые деформации возникают в результате поперечной усадки сварных швов и зон, в которых в процессе нагрева имели место пластические деформации обжатия. В листах (см. рис. 142, б), угловые деформации имеют место при неполном проплавлении толщины. При полном проплавлении толщины угловые деформации незначительны и полностью отсутствуют.

В двутаврах и таврах угловая деформация приводит к так называемой грибовидности полков. Величина угловой деформации оценивается величиной угла β (см. рис. 142).

Деформации сварных конструкций имеют, как правило, сложный характер. Так, в сварных тавровых и двутавровых балках имеют место продольные и поперечные укорочения, продольный изгиб, угловые деформации (грибовидность полков). При сварке листов встык также развиваются деформации продольного и поперечного укорочения, продольный изгиб, угловые деформации и т. д. Деформации сварных составных конструкций (тавровые и двутавровые балки и др.) определяются в основном деформацией наиболее жестких элементов конструкции. Например, деформация продольного изгиба при сварке тавра с нормальной толщиной полки определяется деформацией наиболее жестких элементов конструкции. Например, деформация продольного изгиба при сварке тавра с нормальной толщиной полки определяется деформацией наиболее жестких элементов конструкции.

Рис. 145. Остаточная деформация изгиба при сварке двух листов разной ширины встык

формацией стенки, при сварке тавра с увеличенной толщиной полки — деформацией полки (см. рис. 142, а). При сварке листов разной ширины встык деформация соединения будет определяться деформацией более широкого и, следовательно, более жесткого листа (рис. 145).

Мероприятия по уменьшению сварочных деформаций и можно разделить на три группы: конструктивные, технологические, проводимые в процессе сварки, технологические, проводимые после сварки. Первая и вторая группы мероприятий имеют целью предотвращение возникновения деформаций, третья группа направлена на устранение возникших деформаций в готовых изделиях.

Конструктивные мероприятия заключаются в следующем: сечения сварных швов назначают минимальные по условиям прочности, увеличение сечения швов ведет к увеличению объемов, в которых протекают пластические деформации, швы необходимо располагать возможно ближе к оси, проходящей через центр тяжести сечения, каждую пару параллельных швов располагают симметрично относительно оси, проходящей через центр тяжести сечения, для уравнивания деформаций, припуски деталей на усадку должны быть равны усадке с тем, чтобы размеры конструкции после сварки соответствовали проектным;

для уменьшения угловой деформации угол раскрытия V-образной разделки должен быть минимальным;

в пространственно развитых конструкциях коробчатого сечения для предотвращения потери устойчивости элементов и образования выпучин целесообразно применять вспомогательные элементы в виде ребер жесткости, диафрагм, косынок, распоров;

необходимо предусматривать возможность использования зажимных сборочно-сварочных приспособлений; количество швов в конструкции должно быть по возможности минимальным.

Наиболее важные технологические меры предотвращения возникновения сварочных напряжений: назначение оптимального режима сварки, с тем чтобы зона разогрева деталей была минимальной; правильный порядок выполнения швов, деформация, образующаяся после наложения первого шва, должна компенсироваться обратной деформацией после наложения последующего шва; при выполнении швов большой протяженности использовать обратноступенчатый способ сварки; проковка швов в процессе сварки, при выполнении многослойных швов последний слой проковывать не рекомендуется во избежание появления трещин;

применение способа обратных деформаций (рис. 146). Способ заключается в придании свариваемым элементам деформации в сторону, обратную ожидаемой. Величину и направление действительных деформаций определяют предварительно опытным путем

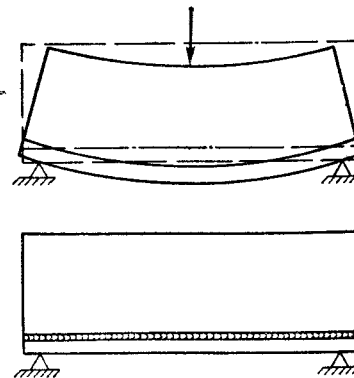


Рис. 146. Схема обратных деформаций при сварке тавровой балки

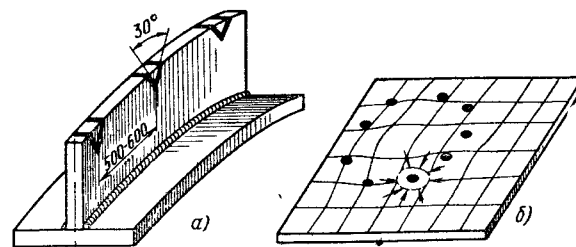


Рис. 147. Схема правки нагревом: а — тавровой балки, б — выпучин листа

Для устранения остаточных деформаций применяют холодную и горячую правку изделий. Холодная правка основана на растяжении укороченных элементов сварных изделий до проектных размеров. В процессе холодной правки происходит пластическое деформирование растягиваемых волокон, что вызывает наклеп и перераспределение полей остаточных напряжений. Необходимо учитывать, что чрезмерная деформация может вызвать появление в металле трещин, что для конструкций недопустимо. Наклеп, вызванный пластической деформацией, увеличивает склонность металла к хрупкому разрушению. Холодную

правку выполняют с помощью прессов, домкратов, вальцов или ручную кузнечным инструментом.

Горячую правку выполняют с помощью электрического или газо-пламенного нагрева. Этим способом можно устранить искривление сварных элементов, а также выпучины в листовых конструкциях. При этом способе правки нагревают пятнами или участками удлиненные волокна элемента, чем вызывают пластические деформации укорочения (обжатия). В процессе охлаждения места обжатия натягивают прилежащие волокна и выравнивают деформированные места.

Характер нагрева при горячей правке показан на рис. 147. Для контроля за ходом правки рекомендуется вести нагрев пятнами или участками через интервал времени, достаточный для остывания поля нагретого участка.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПРОИЗВОДСТВА СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Огромное разнообразие типов сварных конструкций, выпускаемых промышленными предприятиями страны, вызвало необходимость разработать «Технологическую классификацию сварных конструкций в машиностроении». Этот документ позволил типизировать технологические процессы изготовления, приемки, испытаний и монтаж, подразделить по технологическим и другим возможностям сварочное оборудование, установки, оснастку, что позволяет разрабатывать типовые проекты сборочно-сварочных цехов и участков с типовыми технологическими процессами. Основными параметрами, которые объединяют группы сварных конструкций, являются: конструктивная форма изделия, тип заготовок, толщина, масса и марки металлов, характер сопряжения свариваемых элементов, классификация швов, тип сварного соединения, габариты изделия. В зависимости от количества общих параметров все машиностроительные конструкции подразделяются на виды, типы, классы, подклассы, группы и подгруппы. В подгруппе сварные конструкции имеют максимальное количество общих параметров.

Принципиальная и рабочая технология (технологическая карта) разрабатывается на основе соответствующих ГОСТов, технических условий, правил Госгортехнадзора, Морского и Речного регистра, специальных технических условий, а также на основе отраслевых и заводских стандартов и дополнительных технических условий, зафиксированных на чертежах данного изделия.

В общих технических условиях содержатся требования:

- к материалам и заготовкам с указанием методов их приемки и испытания;
- к изготовлению деталей конструкции с указанием способов заготовительных операций;
- к сборочным операциям с указанием допусков на размеры и форму;
- к сварочным операциям с указанием способов сварки, сварочных материалов, квалификации сварщиков;
- к методам и объемам испытаний (контроля) деталей, узлов и изделия в целом с указанием способов устранения дефектов, мест клеймения (то же в отношении качества швов сварных соединений);

к термической обработке деталей, узлов и всего изделия в целом; к приемке готовых изделий, окраске, маркировке и упаковке; в случае необходимости указывают способы консервации и расконсервации изделия;

к технической документации на готовое изделие.

Отраслевые и заводские стандарты содержат в основном те же требования, но применительно к более конкретным изделиям.

Значение технологического процесса. Качество проекта технологического процесса изготовления сварных конструкций в основном определяет их технико-экономические показатели, такие, как надежность, экономичность в изготовлении и эксплуатации. В проекте технологии изготовления комплексно разрабатывают операции заготовки, сборки, сварки и контроля качества готового изделия. Рационально разработанный проект технологии должен обеспечить изготовление изделия при минимальной трудоемкости операций, минимальном расходе сварочных материалов и электроэнергии, с высоким качеством сварных соединений, при наименьших остаточных деформациях конструкции и при полном соблюдении мер по технике безопасности.

Наиболее прогрессивный способ проектирования — одновременная разработка конструкций и технологии производства.

Принципиальная технология производства предусматривает: последовательность технологических операций, разбивку конструкции на отдельные технологические узлы или элементы, эскизную проработку специальных приспособлений и оснастки, расчеты режимов сварки основных сварочных операций, расчеты ожидаемых сварочных деформаций, сравнительную технико-экономическую оценку разработанных вариантов технологии.

После окончательного утверждения технического проекта и принятого варианта технологии выполняют рабочее проектирование конструкции и составление рабочей технологии.

Рабочая технология включает:

- уточнения и изменения принципиальной технологии, связанные с изменениями конструкции на этапе рабочего проектирования;
- разработку технологических карт с указанием всех параметров режимов сварки, применяемых сварочных материалов и оборудования;
- краткие описания технологических приемов выполнения отдельных технологических операций;
- требования к точности и качеству сварных конструкций на отдельных этапах ее изготовления;
- указания методов проверки точности и контроля качества соединений, узлов и готовой конструкции.

Одновременно с разработкой рабочей технологии ведут выбор или проектирование оснастки и приспособлений.

Выбор схемы технологического процесса определяется характером или типом производства. Различают три типа производства: индивидуальное, серийное и массовое. Индивидуальное производство предусматривает изготовление разнообразных по назначению, форме и размерам конструкций. Партия однотипных конструкций при индивидуальном производстве состоит из одной или нескольких единиц. Особенностью индивидуального производства является отсутствие специализации рабочих мест. Переход на выпуск других конструкций требует иногда переоснащения рабочего места. Применение специали-

зированных приспособлений в индивидуальном производстве экономически не оправдывается. Поэтому рабочие места оснащают универсальными приспособлениями, которые могут быть использованы при изготовлении различных конструкций.

При изготовлении изделий большими партиями производство является серийным. Рабочие места при серийном производстве оснащают специализированными приспособлениями, применение которых позволяет увеличить производительность труда и повысить качество продукции. В серийном производстве заготовки обычно изготавливают более точно, поэтому объем пригоночных работ минимален.

При массовом производстве рабочие места также строго специализированы и оснащены специализированным оборудованием и быстродействующими приспособлениями. Пригоночные операции при массовом производстве отсутствуют, так как детали изготавливают с жесткими допусками. При массовом производстве применяют механизированные поточные линии сборки и сварки, а также автоматические линии.

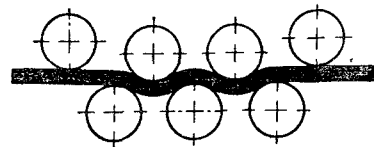


Рис. 148. Схема правки листовой стали

Технологическая карта — основной производственный документ, в котором приведены все данные по заготовке, сборке и сварке изделия. Выполнение положений, зафиксированных в утвержденной технологической карте, строго обязательно. При составлении технологической карты технолог должен придерживаться схемы утвержденной принципиальной технологии. Составленная карта должна быть понятной без пояснительной записки. Технологические карты составляют на заготовку, сборку и сварку. В большинстве случаев технологию сборки и сварки приводят в одной карте, в порядке очередности выполнения операций.

Заготовка деталей. К заготовительным операциям относят: правку листового и профильного проката, разметку и наметку, раскрой проката, обработку кромок и торцов, гибочные и вальцовочные работы.

Правку листовую и универсальной стали производят в холодном состоянии на листопрямильных вальцах. При этом устраняют общие и местные неровности, волнистость кромки, саблевидность и другие дефекты. Схема правки листовой стали показана на рис. 148.

Угловые профили правят на углопрямильных вальцах (рис. 149), устройство которых аналогично устройству листопрямильных вальцов (за исключением формы роликов).

Швеллеры, двутавры и другие профили правят на правильно-гибочном прессе (рис. 150).

Разметкой называют процесс вычерчивания детали на материале в натуральную величину с нанесением линий гибов, вырезов и центров отверстий. В индивидуальном производстве линии разметки находят построением.

При заготовке нескольких одинаковых деталей размещают по шаблону. Контуры шаблона вычерчивают построением. Материал шаблона — фанера, картон, дерево, листовая сталь. Разметку по шаблону называют наметкой.

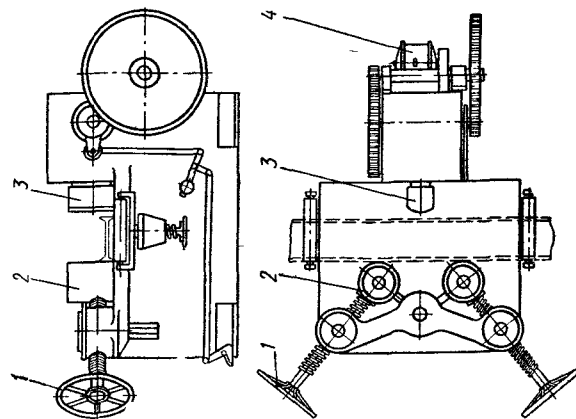


Рис. 150. Правильно-гибочный (кучаково-выи) пресс:
1 — штурвалы; 2 — опоры; 3 — толкатель; 4 — электродвигатель

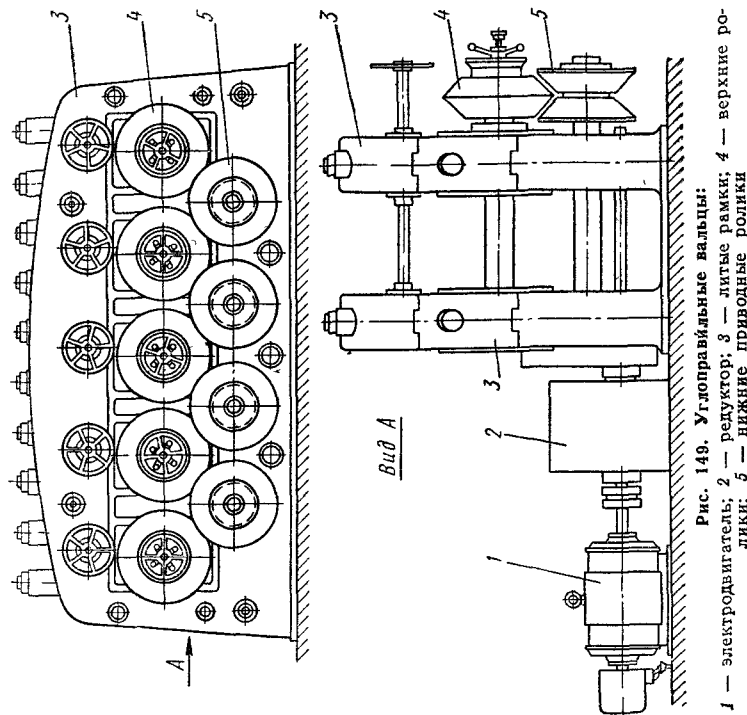


Рис. 149. Углопрямильные вальцы:
1 — электродвигатель; 2 — редуктор; 3 — литые рамки; 4 — верхние ролики; 5 — нижние приводные ролики

Операции разметки — ручные, не поддающиеся полной механизации. Совмещая разметку с вырезкой деталей на газопламенных аппаратах, можно существенно сократить общую трудоемкость заготовки. Наиболее прогрессивна вырезка деталей без разметки, по механическим копирам или фотокопированием.

Раскрой проката осуществляют на гильотинных, дисковых, угловых и пресс-ножницах (рис. 151).

При заготовке деталей для ответственных несущих конструкций, при значительной кривизне деталей после резки, а также после резки

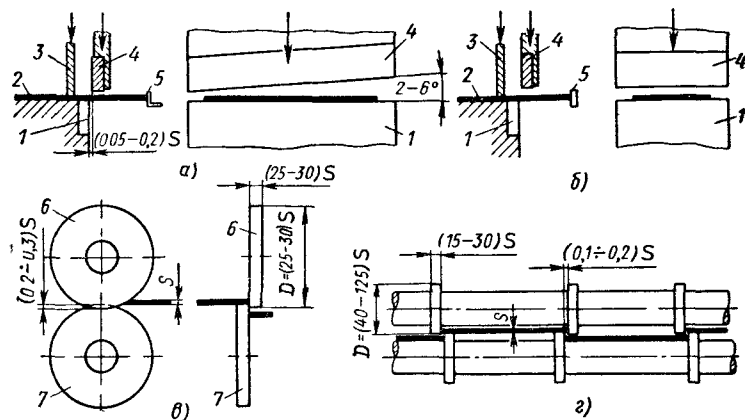


Рис. 151. Ножницы для резки металла:

а — гильотинные, б — пресс-ножницы, в — дисковые, г — многодисковые; 1 и 4 — ножи, 2 — разрезаемый лист, 3 — прижим, 5 — упор, 6 и 7 — дисковые ножи

на ножницах при толщине металла свыше 16 мм, продольные кромки и торцы детали обрабатывают резанием. Продольные кромки протрагивают на кромкострогальных станках, торцы фрезеруют на торцефрезерных станках. На кромкострогальных станках можно обрабатывать кромки деталей длиной до 17,5 м. В процессе стругания при необходимости можно скашивать кромки для образования разделки под сварку.

Газопламенную резку кромок как самостоятельную операцию применяют редко. Обработку кромок под сварку (снятие фасок) обычно совмещают с операцией вырезки деталей.

Гибочные работы в зависимости от толщины и сортамента металла, а также радиуса кривизны производят в холодном или нагретом состоянии. Цилиндрическую или коническую форму придают деталям на трехвалковых листогибочных вальцах (рис. 152). Холодную гибку на вальцах листовых деталей по заданному радиусу называют вальцовкой. Для того чтобы деталь после вальцовки получила форму цилиндра, кромки листов предварительно подгибают по меньшему радиусу. Кромки подгибают на кромкогибочном станке или в трехвалковых

вальцах. Деталь, имеющую форму замкнутого цилиндра, после вальцовки снимают с вальцов, предварительно освобождая верхний валок из подшипника (с одного конца).

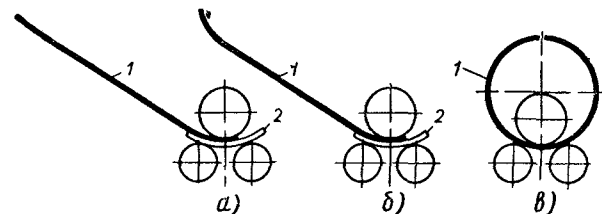


Рис. 152. Схема вальцовки листа на трехвалковых листогибочных вальцах:

а, б — подвальцовка концевых участков листа, в — вальцовка листа в замкнутый цилиндр; 1 — лист, 2 — постель

При вальцовке угловых профилей на полку несколько уголков скрепляют между собой электроприхватками в вальцах до нужного диаметра.

При вальцовке уголков на перо на верхний валок вальцов надевают два диска, между которыми оставляют зазор, равный двум толщинам.

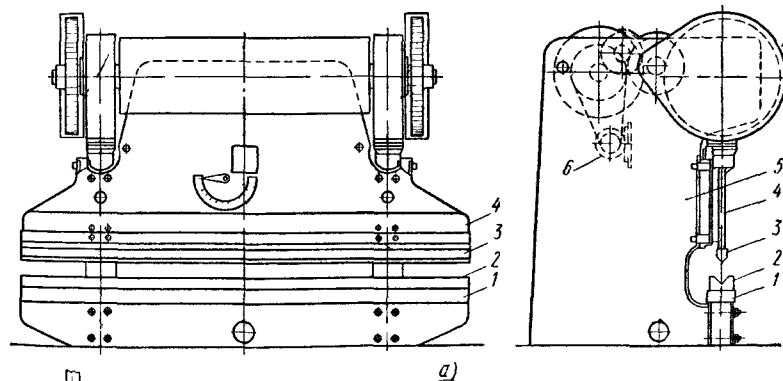


Рис. 153. Листогибочный пресс (а) и схема гибки (б):

1 — стол; 2 — нижний штамп; 3 — верхний штамп, 4 — ползун, 5 — станина; 6 — электродвигатель

Гнутые профили из листовой стали, которые находят все большее применение в производстве сварных конструкций, получают на заводах металлоконструкций на листогибочных прессах (рис. 153).

Гибку в нагретом состоянии производят при необходимости получения деталей с малым радиусом кривизны, а также при гибке деталей значительной толщины.

Сборка сварных конструкций заключается в размещении элементов конструкции (узла) в порядке, указанном в технологической карте, и предварительном скреплении их между собой с помощью приспособлений и наложении прихваток.

Сборка — одна из наиболее ответственных операций. От качества сборки в значительной степени зависит качество сварной конструкции. Например, сборка с увеличенными зазорами, с несовпадением свариваемых кромок по толщине требует наложения швов с большим объемом наплавленного металла, что приводит к увеличенным остаточным деформациям конструкции.

Технология сборки определяется: типом производства, особенностями конструкции и оснащенностью сборочного цеха.

В зависимости от этих факторов существуют два варианта сборки: первый — сборка из отдельных узлов, на которые расчленяют конструкцию, второй — из отдельных элементов, минуя сборку в узлы. Первый вариант более рационален, так как можно собирать одновременно несколько узлов. Кроме того, отдельные узлы легче править, чем полностью собранную конструкцию.

Существуют следующие способы сборки: по предварительной разметке, по упорам-фиксаторам или по шаблонам, по контрольным отверстиям.

При сборке по первому методу положение каждого элемента определяют по линиям, нанесенным на сопрягаемые элементы.

Сборку по упорам-фиксаторам производят на плитах, в кондукторах или в специализированных сборочных приспособлениях.

При сборке по контрольным отверстиям сопрягаемые элементы соединяют, совмещая эти отверстия.

При сборке конструкций широко используют разнообразные сборочные и сборочно-сварочные приспособления. Тип приспособления определяется серийностью производства и степенью сложности конструкции. При индивидуальном производстве применяют преимущественно универсальные приспособления. В серийном производстве наряду с универсальными приспособлениями применяют специализированные сборочные установки с быстродействующими прижимами. В массовом производстве применяют специализированные установки и приспособления.

Применение приспособлений снижает трудоемкость сборочных операций, уменьшает остаточные деформации, повышает качество конструкций и упрощает контроль и приемку собранных конструкций.

Правильно спроектированное и изготовленное приспособление должно отвечать следующим требованиям: быть удобным в эксплуатации, обеспечивать проектные размеры изделия, обеспечивать быстрее установку элементов и съем собранного или сваренного изделия, иметь невысокую стоимость и удовлетворять требованиям техники безопасности при выполнении сборочных и сварочных работ.

Универсальные приспособления используют при сборке на стеллажах, сборочных плитах, роликовых стендах. Эти приспособления показаны на рис. 154—156.

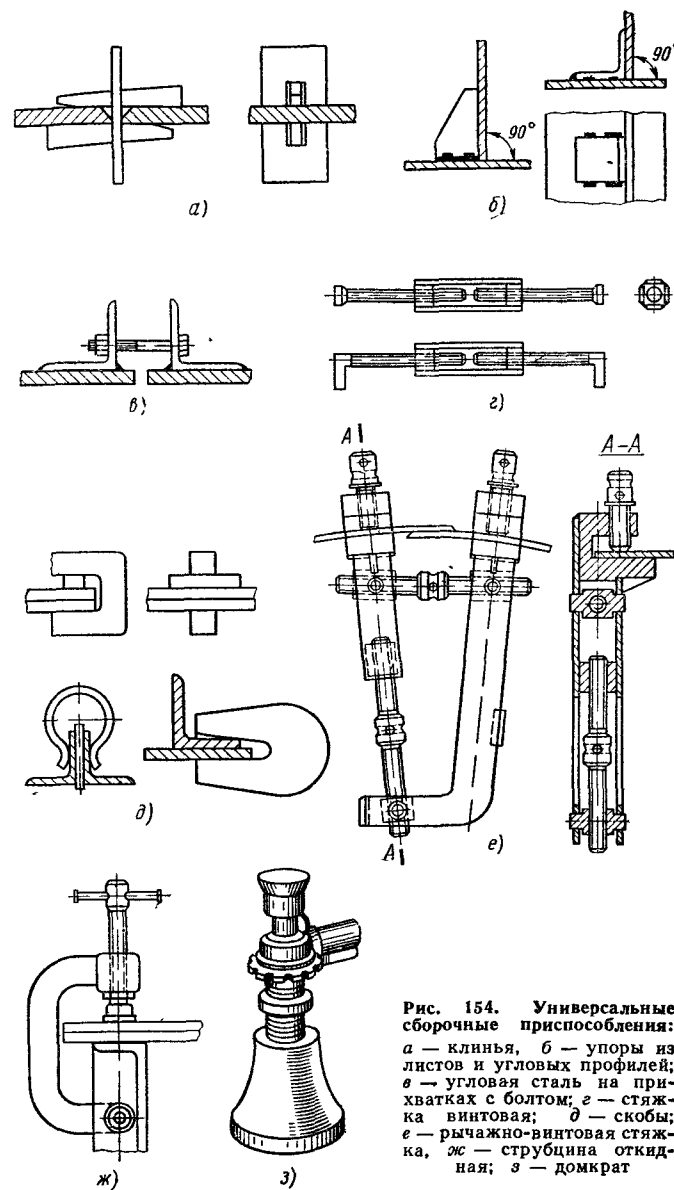


Рис. 154. Универсальные сборочные приспособления: а — клинья, б — упоры из листов и угловых профилей; в — угловая сталь на прихватках с болтом; г — стяжка винтовая; д — скобы; е — рычажно-винтовая стяжка, ж — струбцина откидная; з — домкрат

В качестве специализированных приспособлений применяют разнообразные установки с механическими, пневматическими и гидравлическими зажимами.

Некоторые специализированные установки показаны на рис. 157—159.

Широкое распространение в производстве сварных металлоконструкций получили сборочно-сварочные приспособления, обеспечивающие поворот изделий в положение, удобное для сварки, а также перемещение изделий в процессе сварки. К ним относятся позиционеры,

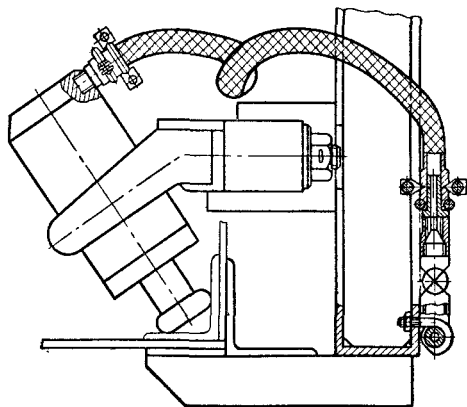


Рис. 155. Пневматический прижим

кантователи, манипуляторы, вращатели, роликовые стеллажи. Кантователь с электромеханическим приводом показан на рис. 160. Изделие крепят в планшайбах стоек кантователя и поворачивают с помощью привода в удобное для сборки и сварки положение. Позиционер (рис. 161) предназначен также для установки изделий в удобное для сборки и сварки положение и обеспечивает вращение изделий с маршевой скоростью при различных углах наклона оси вращения. Манипуляторы предназначены для сборки изделий и их поворота со скоростью сварки и маршевой скоростью при различных углах оси вращения изделия. Для сборки и сварки малогабаритных изделий применяют манипуляторы с ручным приводом (рис. 162). Для сборки и сварки крупногабаритных изделий применяют манипуляторы с электромеханическим приводом. Для сборки и сварки цилиндрических изделий большого диаметра (обечайки) применяют роликовые стеллажи. Часть роликов стеллажа имеет электромеханический привод. Роликовый стеллаж тяжелого типа грузоподъемностью до 50 т показан на рис. 163.

Лучшей формой организации сборочно-сварочных работ являются поточные линии. В нашей стране работают автоматические линии сварки автомобильных колес на Горьковском автомобильном заводе, сварки труб на Челябинском трубопрокатном заводе, локомотивных котлов на Херсонском заводе им. Петровского и др. Поточные линии могут

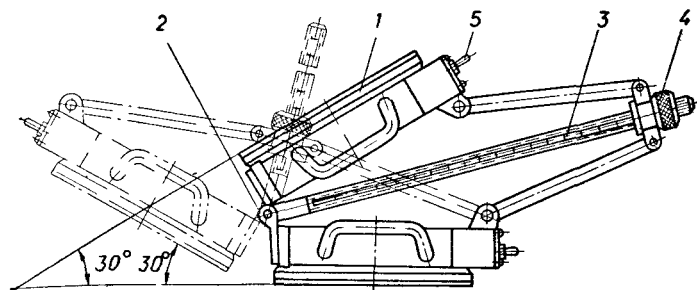


Рис. 156. Электромагнитный фиксатор:
1 — электромагниты; 2 — шарнир; 3 — шарнирно-рычажная система; 4 — гайка; 5 — выключатель

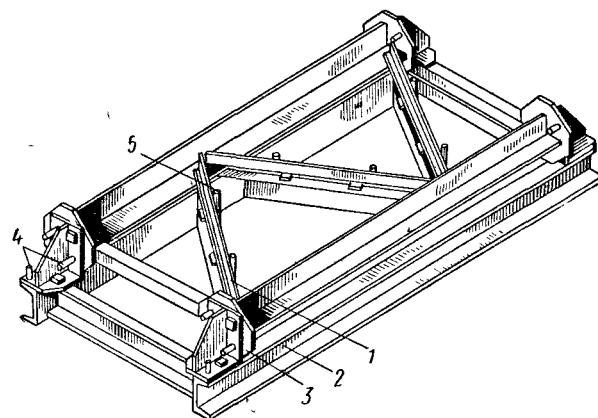


Рис. 157. Кондуктор для сборки решетчатой конструкции:
1 — собираемая конструкция; 2 — рама кондуктора; 3 — упоры; 4 — сборочные болты и пробки; 5 — пробки-фиксаторы раскосов

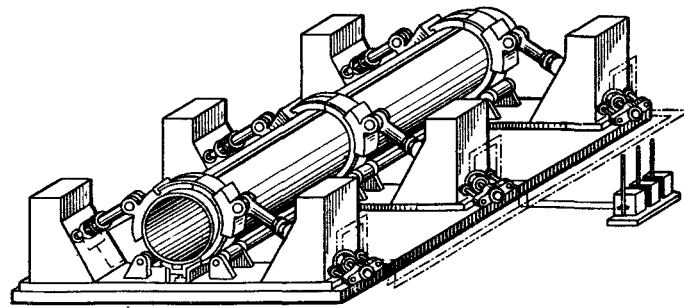


Рис. 158. Кондуктор для сборки обечайки из полуцилиндров

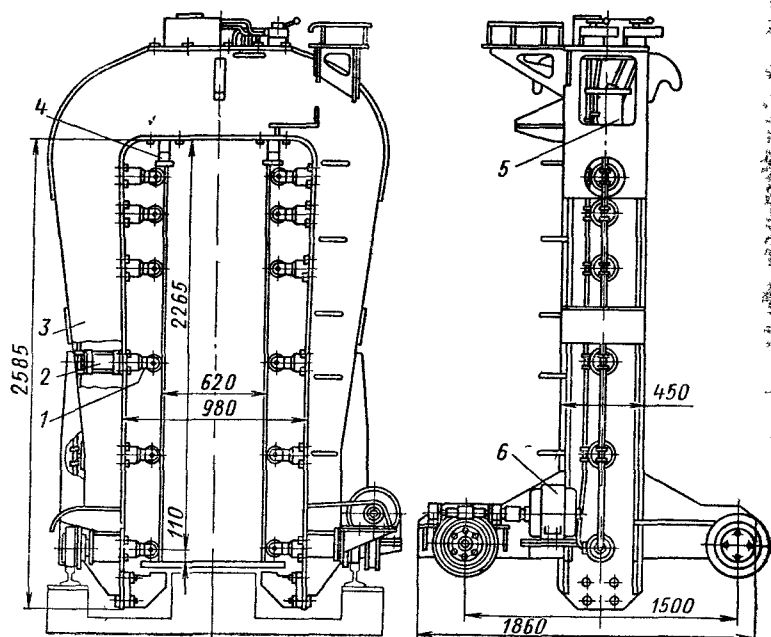


Рис. 159. Портальная установка для сборки крупногабаритных коробчатых балок:

1 — боковой прижим; 2 — боковой гидравлический цилиндр, 3 — корпус, 4 — верхние прижимы; 5 — верхний гидравлический цилиндр; 6 — привод передвижения портала

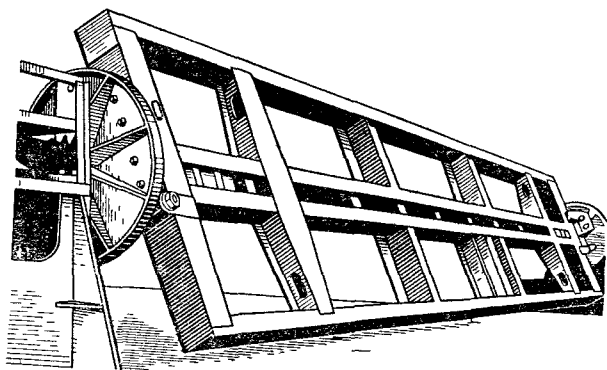


Рис. 160. Крановый двухстоечный с электроприводом грузоподъемностью 10 т

иметь разные формы организации и разное конструктивное оформление в зависимости от программы производства, конструкции изделия, производственных площадей, уровня механизации в цехе.

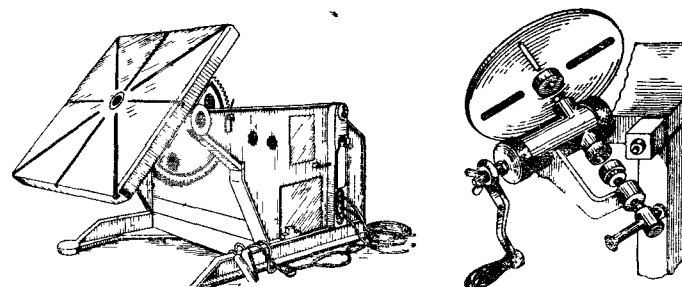


Рис. 161. Позиционер карусельного типа СМ-500

Рис. 162. Манипулятор с ручным приводом

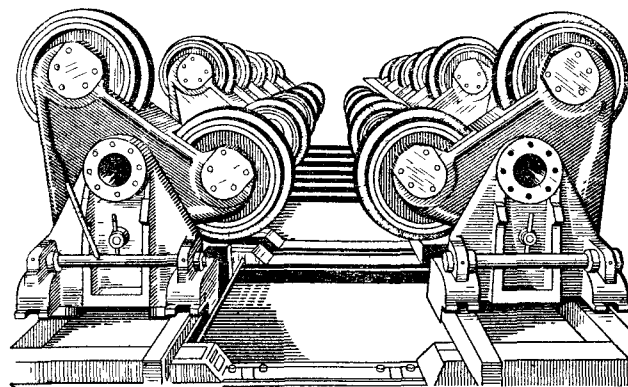


Рис. 163. Роликовый стэнд тяжелого типа

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Винокуров В. А. Сварочные деформации и напряжения. М., «Машиностроение», 1968, 236 с.
- 2 ВПТИтяжмаш, Госкомитет тяжелого, энергетического и транспортного машиностроения при Госплане СССР. Технологическая классификация сварных конструкций в машиностроении. М., 1963.
- 3 Касаткин Б. С., Мусняченко В. Ф. Низколегированные стали высокой прочности. Киев, «Техника», 1970, с. 158—183.
- 4 Николаев Г. А., Куркин С. А., Винокуров В. А. Расчет, проектирование и изготовление сварных конструкций. М., «Высшая школа», 1971, с. 3—105.
- 5 Рыжков Н. И. Производство сварных конструкций в тяжелом машиностроении. М., «Машиностроение», 1970, 384 с.
- 6 Справочник по сварке Т. 3. Под ред. Винокурова В. А. М., «Машиностроение», 1970, с. 7—189, 232—244.
- 7 Строительные нормы и правила СН и П П-В. 3—62.

ГЛАВА 12

ГАЗОВАЯ СВАРКА И РЕЗКА

ГАЗОВАЯ СВАРКА

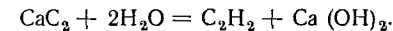
Сущность процесса газовой сварки заключается в том, что свариваемый и присадочный металлы расплавляют теплом пламени, получаемым при сгорании какого-либо горючего газа в смеси с кислородом, обычно применяют горючий газ ацетилен. По сравнению с электродуговой сваркой газовая сварка малопроизводительна. Газовую сварку широко применяют при изготовлении тонких стальных изделий толщиной до 5 мм, при сварке цветных металлов и их сплавов, при исправлении дефектов в чугунных и бронзовых отливках, а также при различных ремонтных работах.

Газы для газовой сварки

Кислород применяют трех сортов: газообразный технический 1-го сорта с чистотой 99,7%; 2-го сорта с чистотой 99,5% и 3-го сорта с чистотой 99,2% по ГОСТ 5583—68*. Примеси азота и аргона в техническом кислороде составляют 0,3—0,8%. Кислород при нормальной температуре представляет собой газ без цвета и запаха. Температура (по Цельсию) сжижения кислорода при нормальном атмосферном давлении —182,96, при —218,4 жидкий кислород переходит в твердое состояние. При сгорании горючих газов в смеси с кислородом температура пламени значительно повышается по сравнению с температурой пламени, получающейся при сгорании этих газов в смеси с воздухом. При нормальном атмосферном давлении и температуре 20° С масса 1 м³ газообразного кислорода равна 1,33 кг. Из 1 л жидкого кислорода при испарении получается 790 л газообразного. Жидкий кислород транспортируют в специальных теплоизолированных сосудах — танках. Газообразный кислород транспортируют в стальных баллонах под давлением 150 кгс/см². При соприкосновении с маслами кислород взрывоопасен.

Ацетилен представляет собой химическое соединение углерода с водородом (химическая формула C₂H₂). Температура пламени при сгорании в смеси с кислородом до 3200° С. При нормальном атмосферном давлении и температуре 20° С масса 1 м³ ацетилена 1,091 кг. При температуре от —82,4 до —83,6 ацетилен превращается в жидкость. При понижении температуры до —85° С ацетилен превращается в твердое вещество. В жидком и твердом состоянии ацетилен очень взрывоопасен и взрывается от трения или удара. При нагревании ацетилена до 200—300° С он превращается в бензол. В газообразном состоянии ацетилен взрывоопасен при одновременном повышении давления до 2 кгс/см² и температуры до 450—500° С, а также в смеси с кислородом или воздухом. Ацетилено-кислородная смесь взрывоопасна при наличии в ней 2,8—93% ацетилена по объему. Ацетилено-воздушная смесь взрывоопасна при наличии в ней 2,2—81% ацетилена по объему. Транспортируют ацетилен в стальных баллонах под давлением 19 кгс/см².

Получают ацетилен из карбида кальция путем воздействия на последний водой. При реакции с водой 1 кг карбида кальция дает 230—280 л газообразного ацетилена. После реакции получают газообразный ацетилен C₂H₂ и гашенную известь Ca(OH)₂:



Карбид кальция получают сплавлением извести и кокса в электрических печах при температуре 1900—2300° С. Карбид кальция транспортируют в специальных стальных герметически закрытых барабанах. Масса барабанов с карбидом кальция может быть 50—130 кг. Кроме ацетилена, применяют и ряд других горючих газов, некоторые свойства которых приведены в табл. 189.

189. Основные свойства горючих газов

Газ	Минимальная теплотворная способность, ккал/м ³	Температура нормального пламени при сгорании в смеси с кислородом, °С	Применение
Ацетилен	13 000	3200	Сварка всех металлов, резка, пайка и поверхностная закалка
Водород	2580	2100	Сварка сталей толщиной до 2 мм, чугуна, алюминия и его сплавов, резка
Коксовый газ	4500	2200	Пайка и сварка легкоплавких цветных металлов, резка
Нефтяной газ	10 500—11 000	2300	Сварка сталей толщиной до 2 мм, чугуна, цветных металлов и их сплавов, пайка и резка
Пиролизный газ	8700—9500	2200—2300	Пайка, резка, поверхностная закалка
Природный газ (метан)	8500	1850	Сварка легкоплавких металлов, пайка, резка
Пары керосина	10 000—10 200	2500	Пайка, резка, поверхностная закалка
Пропан-бутановая смесь	20 600	2050	Сварка и пайка чугуна и цветных металлов, резка и поверхностная закалка

Оборудование для газовой сварки

Ацетиленовые генераторы представляют собой аппараты, предназначенные для получения ацетилена из карбида кальция. Ацетиленовые генераторы согласно ГОСТ 5190—67 различаются: по производительности, по способу устройства, по системе регулирования взаимодействия карбида кальция с водой.

По производительности генераторы выпускаются на 0,5; 0,75; 1,25; 2,5; 3; 5; 10; 20; 40; 80; 160 и 320 м³/ч ацетилена. Генераторы делят на

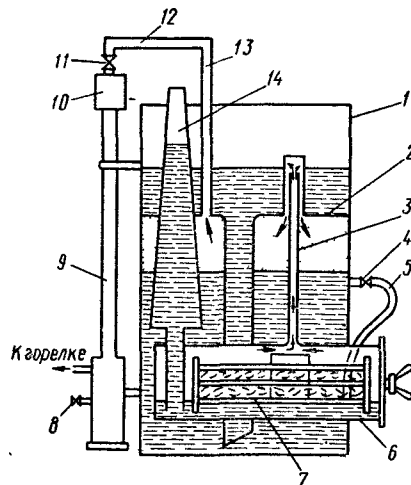
передвижные и стационарные. Передвижные генераторы изготовляют производительностью до 3 м³/ч, а с большей производительностью — стационарные. По системе регулирования взаимодействия карбида кальция с водой различают генераторы систем «карбид в воду», «вода на карбид», «вытеснения», «комбинированные — вода на карбид и вытеснения», «сухие». В генераторах «карбид в воду» в постоянный объем воды подают карбид кальция. Количество образующегося газа регулируют количеством карбида кальция, подаваемого в воду. У генераторов «вода на карбид» в специальное загрузочное устройство, куда засыпан карбид, периодически подают воду. Количество образующегося газа регулируют количеством подаваемой воды. В генераторах «вытеснения» вода и карбид кальция периодически соприкасаются. Эти генераторы также называют «контактными». Количество образующегося газа регулируют изменением количества карбида, соприкасающегося с водой, или изменением количества воды, соприкасающейся с карбидом кальция. «Комбинированные» генераторы представляют собой совмещенные двух систем, например «вода на карбид» и «вытеснения». В «сухих» генераторах при получении ацетилена дозируются и вода, и карбид, при этом получается сухая гашеная известь.

Рис. 164. Схема устройства ацетиленового генератора типа ГНВ-1,25

Генераторы бывают низкого давления (до 0,1 кгс/см²), среднего давления (0,1—1,5 кгс/см²) и высокого давления (более 1,5 кгс/см²).

Основные технические сведения об ацетиленовых генераторах, применяющихся в промышленности, приведены в табл. 190.

Схема устройства и работы передвижного генератора низкого давления марки ГНВ-1,25 показана на рис. 164. Корпус генератора 1 разделен на две части перегородкой 2. В корпусе генератора помещают реторту 6, которая сообщается с нижней частью корпуса посредством крана 4 и резинового рукава 5. На корпусе генератора крепят водяной



190. Основные технические данные ацетиленовых генераторов

Марка	Принцип действия	Производительность, м ³ /ч	Рабочее давление ацетилена, кгс/см ²	Единоременная загрузка карбида, кг	Масса генератора без воды и карбида, кг
ГВД-0,8 МГВ-0,8; АСМ-1-66	Контактный, вытеснением	0,8	0,07—0,3 0,08—0,3	2	19,5 19
ГНВ-1,25; АНВ-1-66 АНД-1-61 ГВР-1,25М; ГВР-1,25; МЧ ГВР-3	Комбинированный «вода на карбид» в сочетании с принципом вытеснения	1,25	0,025—0,03	4	42
		2,0	0,028—0,05	7	62
		1,25	0,08—0,15	4	54
		3	0,15—0,3	8	110
МГ-65	«Вода на карбид»	2	0,011	5	65
ГПР-65 ГРК-10	«Карбид в воду»	35	0,9—1,2	150	750
		10	≤0,7	25	520

затвор 9, который соединяют посредством крана 11, резинового рукава 12 и трубки 13 с газовой горелкой генератора. Перед началом работы в генератор заливают воду при закрытом кране 4 и открытом кране 11. Водяной затвор через воронку 10 заполняют водой до уровня контрольного крана 8. Корзину 7 загружают карбидом кальция и вставляют в реторту 6, плотно закрывающуюся крышкой. После этого генератор готов к действию. При открывании крана 4 вода по рукаву 5 поступает в реторту. Образующийся при реакции карбида кальция с водой ацетилен поступает из реторты 6 по трубке 3 в нижнюю часть генератора. При этом ацетилен вытесняет воду из нижней части корпуса генератора в верхнюю. Вода поступает в реторту, пока уровень воды в генераторе не понизится до уровня крана 4. При дальнейшем поступлении ацетилена из реторты в газосборник давление в генераторе и реторте будет повышаться, но более медленно, так как вода из реторты вытесняется в конусообразный сосуд 14, открытый сверху. Это несколько замедляет дальнейшее разложение карбида и уменьшает выделение ацетилена. Поступает ацетилен из генератора к горелке или резаку через трубку 13, рукав 12 и водяной затвор 9. По мере отбора газа давление в генераторе падает. При этом вода из конусообразного сосуда вновь поступает в реторту и интенсивность разложения карбида увеличивается и, следовательно, увеличивается образование ацетилена. Следовательно, генератор работает автоматически в зависимости от расхода газа.

Водяные затворы. Для предохранения от взрыва ацетиленовых генераторов, а также газопроводов при централизованном снабжении

горючим газом газосварочных постов в случае возникновения обратных ударов применяют специальные предохранительные устройства — водяные затворы. Обратным ударом называют внезапное загорание горючей смеси внутри газосварочной горелки или резака, распространяющееся затем по шлангам к ацетиленовому генератору. Водяные затворы ставят только перед генераторами или перед газопроводами. Перед ацетиленовыми баллонами водяные затворы не ставят.

Схема устройства водяного затвора и его работы при обратном ударе показана на рис. 165. В цилиндрический корпус 1 водяного затвора

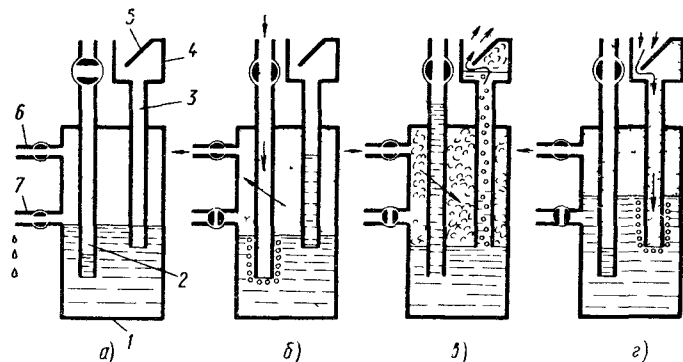


Рис. 165. Схема устройства и работы водяного затвора

сварены газопроводящая трубка 2 и предохранительная трубка 3. Верхняя часть предохранительной трубки заканчивается воронкой 4, снабженной отбойником 5. Газопроводящая трубка опускается в корпус водяного затвора ниже, чем предохранительная. В верхней части водяного затвора имеется газоотводящая трубка 6, по которой ацетилен из водяного затвора поступает в рукав и подводится к газосварочной горелке или резаку. Ниже газоотводящей трубки расположен контрольный кран 7. Перед началом работы в затвор заливают воду до уровня контрольного крана (рис. 165, а).

При работе ацетилен проходит из генератора по газопроводящей трубке, попадает в воду, находящуюся в водяном затворе, а из воды поступает в верхнюю часть затвора (рис. 165, б). Скапливаясь в верхней части затвора, ацетилен затем подается по газоотводящей трубке к горелке или резаку.

В случае возникновения обратного удара пламя по шлангу доходит до газоотводящей трубки, а затем проникает внутрь водяного затвора. При попадании пламени в водяной затвор ацетилен в верхней части воспламеняется. Воспламенившийся ацетилен давит на воду, которая уходит в газопроводящую трубку и закрывает тем самым доступ пламени к генератору (рис. 165, в). Ввиду того что уровень воды становится ниже нижнего конца предохранительной трубки, продукты горения из затвора выбрасываются наружу через предохранительную трубку и воронку. При этом отбойник предотвращает выплескивание воды из

затвора. После ликвидации обратного удара давление в затворе понижается и вода из газопроводящей трубки опускается в корпус затвора. При понижении давления в водяной затвор через предохранительную трубку подсасывается воздух (рис. 165, г).

Выше описан принцип действия водяного затвора низкого давления. Принцип действия водяного затвора среднего давления несколько иной. В этих затворах при воспламенении ацетилена вода давит на специальный клапан, который закрывает газопроводящую трубку, по которой ацетилен из генератора поступает в затвор.

Баллоны предназначены для хранения и транспортирования кислорода, ацетилена и других газов. Они представляют собой стальные сосуды, имеющие в нижней части башмак, в верхней — горловину со специальными вентилями. Конструкция вентиля кислородных и ацетиленовых баллонов различна, что исключает ошибочную установку кислородного редуктора на ацетиленовый баллон и наоборот. На верхней сферической части баллонов выбивают их паспортные данные. К паспортным данным относят: тип баллона, заводской номер баллона, марку завода-изготовителя, массу, емкость, рабочее и испытательное давление, дату изготовления, дату следующего испытания, клеймо ОТК и клеймо инспекции Госгортехнадзора.

Баллоны через каждые пять лет подвергают осмотру и испытанию. Ацетиленовые баллоны заполняют пористой массой — пемзой или активированным углем. Пористая масса пропитывается ацетоном, в котором растворяется ацетилен. Это снижает его взрывоопасность. Баллоны для сжатых газов регламентированы ГОСТ 949—57*. Для кислорода применяют баллоны 150 и 150Л, а для ацетилена — 100. Цифры показывают предельное рабочее давление для данного баллона в кг/см², а буква Л показывает что баллон изготовлен из легированной стали. Техническая характеристика кислородных и ацетиленовых баллонов дана в табл. 191.

Редукторы предназначены для понижения давления газа, отбираемого из баллона, до рабочего давления, подаваемого в горелку или резак. Редукторы могут быть однокамерные или двухкамерные, постовые,

191. Кислородные и ацетиленовые баллоны

Характеристика	Кислородный	Ацетиленовый
Предельное рабочее давление, кг/см ²	150	16
Испытательное давление, кг/см ²	225	30
Состояние газа в баллоне	Сжатый	Растворенный
Цвет окраски	Голубой	Белый
Надпись на баллоне	«Кислород»	«Ацетилен»
Цвет надписи	Черный	Красный
Количество газа в баллоне, л	6000	5520
Жидкостная емкость, л	40	40
Размеры, мм:		
высота	1390	1390
диаметр	219	219
толщина стенки	8	7
Масса баллона без газа, кг	67	52

рамповые и сетевые. Из постовых редукторов большое распространение получили кислородные редукторы РК-53 (рис. 166), РК-53БМ, КБО-60, КБД-60 и ацетиленовые редукторы РА-55

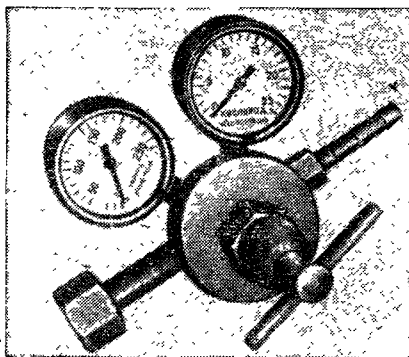


Рис. 166. Кислородный редуктор РК-53

АБД-5. Для пропан-бутана применяют редукторы РД-1БМ, ДПП-1-65 и ПБО-5. Техническая характеристика наиболее распространенных кислородных, ацетиленовых и пропан-бутановых редукторов приведена в табл. 192.

Принцип действия и устройство редуктора показаны на рис. 168. Газ из баллона поступает в камеру высокого давления 1, затем проходит через зазор между клапаном 2 и седлом клапана в камеру низкого давления 5. При этом в камеру низкого давления попадает небольшой объем газа, который расширяется в ней, и давление газа понижается. Необходимое давление

газа в камере низкого давления регулируют изменением зазора между клапаном 2 и седлом клапана. Этот зазор может изменяться с помощью регулировочного винта 7. При ввертывании

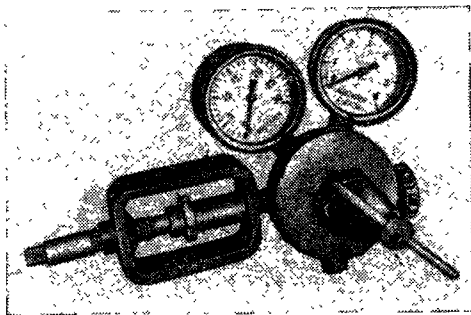


Рис. 167. Ацетиленовый редуктор РА-55

винта сжимаются пружины 6 и 4, клапан 2 поднимается и количество газа, попадающего в камеру низкого давления 5, увеличивается, при вывертывании винта количество газа уменьшается. По мере отбора газа из баллона давление в баллоне падает, однако, несмотря на это, редуктор поддерживает рабочее давление постоянным. Так, например, если отбор газа из редуктора уменьшается, то в камере 5 давление по-

192. Технические характеристики кислородных, ацетиленовых и пропан-бутановых редукторов

Марка	Редуцируемый газ	Назначение	Окраска редуктора	Пределы регулирования рабочего давления, кгс/см ²	Пропускная способность, м ³ /ч
РК-53, РК-53БМ, КБО-60, КБД-60	Кислород	Для баллонов	Голубая	1—15	60
		Сетевой		0,5—8	25
Рамповый	0,1—5			10	
	КРР-50 РК-250 КРУ-6000 КРУ-3000 КРУ-1500 КРУ-500 КРУ-250 КРР-61	Кислород		Рамповый	5—25
РА-55 РД-2АМ АБО-5 АБД-5	Ацетилен	Для баллонов	Белая	0,2—1,5 0,1—1,5	5
		Сетевой		0,1—1,2	10
РАР-15 АРД-15 АРД-30	Ацетилен			Рамповый	0,2—1,5 0,2—1,0 0,2—1,0
		РД-1БМ ДПП-1-65 ПБО-5		Пропан-бутан	Для баллонов
Сетевой	0,2—1,5		6		
	ДПС-1-66, ПСО-6	Пропан-бутан	Рамповый	0,2—3	25
ПРД-25	Рамповый		0,2—3	25	

вышается, при этом газ сильнее давит на мембрану 8, которая давит на пружину 6, а пружина 4 прижимает клапан 2 к седлу. Следовательно, из камеры 1 в камеру 5 будет поступать меньшее количество газа. Если же отбор газа из редуктора увеличивается, то давление в камере 5 падает. При этом пружина 6 через мембрану 8 и толкатель 3 сильнее давит на клапан 2 и больше приоткрывает его, в результате чего подача газа из камеры высокого давления 1 в камеру низкого давления 5 увеличивается. Таким образом редуктор автоматически поддерживает постоянным установленное рабочее давление независимо от уменьшения давления в баллоне и уменьшения или увеличения отбора газа из редуктора.

Рукава (шланги). Для подвода газа к горелкам или резакам применяют специальные рукава, изготовленные из вулканизированной резины с одной или двумя тканевыми прокладками. Шланги рассчитаны для работы при температуре окружающего воздуха от +50 до -35° С. Для работы при более низких температурах применяют спе-

циальные шланги из морозостойкой резины, выдерживающей температуру до -65°C .

Согласно ГОСТ 9356—60* в зависимости от назначения и условий работы шланги выпускают трех типов:

I — для подачи ацетилена, городского газа и других горючих газов при рабочем давлении не более 6 кгс/см^2 ;

II — для подачи жидких горючих — керосина и бензина при рабочем давлении не более 6 кгс/см^2 ;

III — для подачи кислорода при рабочем давлении не более 15 кгс/см^2 .

Испытательное давление для шлангов типов I и II — $7,5\text{ кгс/см}^2$, а для типа III — $18,75\text{ кгс/см}^2$. У шлангов типа I и II запас прочности должен быть не менее, чем четырехкратный, а у типа III — не менее, чем трехкратный по отношению к рабочему давлению.

Шланги выпускают с внутренними диаметрами 6, 9, 12 и 16 мм. Шланги с внутренним диаметром 6 мм применяют для горелок малой мощности типа ГСМ-53 и «Звездочка». Для горелок и резаков нормальной и большой мощности применяют шланги с внутренним диаметром 9, 12 и 16 мм.

По всей длине шланги имеют сплошную полосу, нанесенную несмываемой краской. На шлангах для горючих газов полоса имеет красный цвет, на шлангах для жидких горючих — желтый цвет и на шлангах для кислорода — голубой цвет.

По всей длине шланги имеют сплошную полосу, нанесенную несмываемой краской. На шлангах для горючих газов полоса имеет красный цвет, на шлангах для жидких горючих — желтый цвет и на шлангах для кислорода — голубой цвет.

Рис. 168. Схема устройства однокамерного редуктора

Длина шлангов для газосварочных постов должна быть 8—20 м и в крайних случаях до 50 м, так как при длине более 20 м возрастают потери давления в шлангах.

При эксплуатации поверхность шлангов должна предохраняться от проколов и повреждений. Проколы в шлангах могут вызвать не только утечку газов, но и взрыв. В случае разрыва шланга или загорания необходимо немедленно погасить пламя горелки или резака, а затем закрыть вентили баллонов.

Крепят шланги к горелкам, резакам и редукторам с помощью специальных хомутиков или, как исключение, с помощью проволоочных закруток.

Горелки являются основным рабочим инструментом при ведении газосварочных работ. Горелки бывают безинжекторные и инжекторные, более распространены горелки инжекторного типа (рис. 169). Горелка состоит из следующих основных частей: ацетиленового ниппеля 1, кислородного ниппеля 2, рукоятки 3, вентиля для ацетилена 4, вентиля для кислорода 5, корпуса 6, накидной гайки 7, смесительной камеры 8, наконечника 9 с мундштуком 10. Кислород и ацетилен подводят к горелке по шлангам, которые надевают на кислородный и ацетиленовый

ниппели. Подачу газов регулируют кислородным и ацетиленовым вентилями. Внутри корпуса горелки находится инжектор 11, через центральное отверстие которого в смесительную камеру поступает кислород

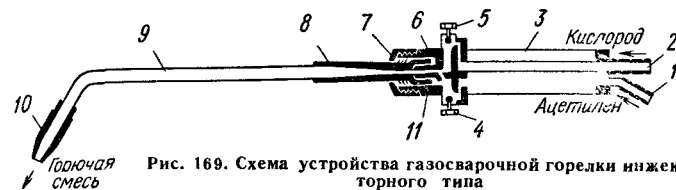


Рис. 169. Схема устройства газосварочной горелки инжекторного типа

под избыточным давлением 1—4 ат. Ацетилен в смесительную камеру поступает с наружной части инжектора за счет подсоса, который создает быстро истекающий из инжектора кислород. В смесительной камере

193. Газосварочные горелки

Тип	№ наконечника	Толщина сваряемого металла (низкоуглеродистая сталь), мм	Расход газов, л/ч		Рабочее давление газов, кгс/см ²	
			Ацетилен	Кислород	Ацетилен, не ниже	Кислород
«Москва»	1	0,5—1,5	50—136	55—135	0,01	1—4
	2	1—3	120—240	130—260		1,5—4
	3	2,5—4	230—400	260—440		
	4	4—7	400—700	430—750		
	5	7—11	670—11 000	740—1200		
	6	10—18	1050—1700	1150—1950	2—4	
	7	17—30	1700—2800	1900—3160		
ГС-3	1	0,5—1,5	50—125	55—135	0,01	1—4
	2	1—2,5	120—240	130—260		1,5—4
	3	2,5—4	230—400	260—440		
	4	4—7	400—700	430—750		
	5	7—11	660—1100	740—1200		
	6	10—18	1050—1750	1150—1950	2—4	
	7	17—30	1700—2800	1900—3100		
ГС-2	0	0,3—0,6	25—60	28—70	0,01	0,8—4
	1	0,5—1,5	50—125	55—135		1—4
	2	1,0—2,5	120—240	130—260		1,5—4
	3	2,5—4	230—400	260—440		2—4
«Звездочка»	0	0,2—0,7	20—65	22—70	0,01	0,5—4
	1	0,5—1,5	50—125	55—135		0,5—4
	2	1,0—2,5	120—240	130—260		1,5—4
	3	2,5—4,0	230—400	250—440		2—4

кислород и ацетилен перемешиваются, и из мундштука истекает горячая смесь, которую на входе поджигают.

Наиболее распространены горелки типов «Москва» и ГС-3, предназначенные для сварки металла толщиной 0,5—30 мм. Кроме того, для сварки металла толщиной 0,2—4 мм применяют сварочные горелки малой мощности типов ГС-2, «Малютка» и «Звездочка». Технические характеристики газосварочных горелок приведены в табл. 193. Горелки снабжают комплектом сменных наконечников.

Технология газовой сварки

Для получения хорошего качества шва при газовой сварке необходимо правильно выбрать присадочный металл, мощность горелки, номер наконечника и отрегулировать сварочное пламя. Присадочный металл выбирают в зависимости от химического состава свариваемого металла. Мощность горелки и номер наконечника выбирают по толщине свариваемого металла. Обычно на наконечниках указывают толщину свариваемого металла, для которой предназначен данный наконечник. Большое влияние на качество сварного шва оказывает газосварочное пламя. В зависимости от соотношения кислорода и ацетилена в горючей смеси сварочное пламя может быть нормальным, окислительным и науглероживающим.

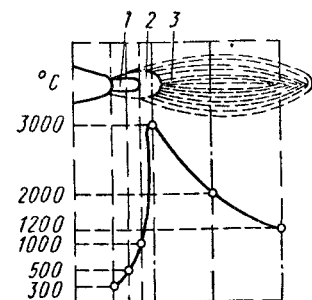
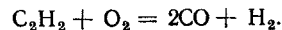


Рис. 170. Схема нормального газосварочного пламени: 1 — ядро; 2 — восстановительная зона; 3 — факел

Нормальное, или восстановительное, пламя получается при отношении ацетилена к кислороду от 1:1 до 1:1,3. В большинстве случаев при сварке применяют нормальное пламя, которое способствует раскислению металла сварочной ванны и получению качественного сварного шва. Окислительным называют пламя, в котором имеется избыток кислорода. Такое пламя сильно окисляет металл сварочной ванны, способствует получению пористости и низкого качества сварного шва. Пламя с избытком ацетилена имеет желтый цвет и удлиненный коптящий факел. Оно науглероживает металл сварочной ванны.

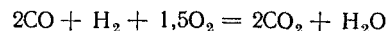
Нормальное ацетилено-кислородное сварочное пламя (рис. 170) делится на три резко выраженные зоны: ядро, восстановительную зону и факел. Ядро имеет форму закругленного ярко светящегося конуса. Оно состоит из раскаленных частиц углерода, которые сгорают, выходя на наружную часть ядра. Расстояние от конца мундштука до конца ядра (длина ядра) зависит от скорости истечения горючей смеси из горелки.

Восстановительная зона состоит в основном из окиси углерода и водорода, получающихся в результате сгорания ацетилена:



Эта зона по сравнению с ядром имеет более темный цвет. Максимальная температура пламени находится в восстановительной зоне на расстоянии 2—4 мм от ядра, поэтому этой частью пламени и производят расплавление свариваемого металла.

Факел располагается за восстановительной зоной и имеет удлиненную конусообразную форму. Состоит факел из углекислого газа и паров воды, которые получают в результате сгорания окиси углерода и водорода, поступающих из восстановительной зоны. Горение окиси углерода и водорода происходит за счет окружающего атмосферного воздуха



В объеме факела имеется азот, попадающий из окружающего воздуха

Для различной толщины свариваемого металла применяют различную удельную мощность сварочного пламени, которая характеризуется часовым расходом ацетилена в литрах, приходящимся на 1 мм толщины свариваемого металла.

В процессе сварки пламя не только расплавляет металл, но и защищает расплавленную ванну от вредного влияния кислорода и азота атмосферного воздуха. Поэтому при сварке необходимо, чтобы расплавленный основной металл и конец присадочного металла находились все время в восстановительной зоне пламени. Изменением угла наклона мундштука горелки к поверхности свариваемого металла можно изменить интенсивность расплавления свариваемого металла. Наиболее интенсивно металл расплавляется при перпендикулярном расположении мундштука к поверхности металла. При сварке очень тонких и особенно легкоплавких металлов мундштук располагают почти параллельно поверхности свариваемого металла.

При необходимости горелка может передвигаться по направлению сварки или прямолинейно, или с поперечными и круговыми движениями. При сварке тонколистового металла и соединений с отбортовкой кромок горелку передвигают прямолинейно без поперечных колебаний.

При выполнении сварного шва горелку можно передвигать справа налево и слева направо. При сварке справа налево впереди передвигают присадочный металл, а мундштук горелки и сварочное пламя сзади. При сварке слева направо мундштук горелки и сварочное пламя перемещают впереди, за ними — присадочный металл. Применение того или иного способа сварки в большой степени зависит от практического навыка газосварщика.

Газовую сварку можно производить в различных пространственных положениях: нижнем, вертикальном, горизонтальном и потолочном.

ГАЗОПРЕССОВАЯ СВАРКА

Газопрессовая сварка является высокопроизводительным способом соединения металлов. При газопрессовой сварке торцы свариваемых изделий разогревают газовым пламенем до пластического состояния или до оплавления, а затем сдавливают. Этот вид сварки применяют преимущественно для соединения встык труб, стержней, рельсов и подобных им изделий.

КИСЛОРОДНАЯ РЕЗКА

По назначению кислородную резку делят на разделительную и поверхностную. Разделительная резка предназначена для вырезки заготовок, раскроя листов и для других работ, связанных с разрезкой металла на несколько частей. Поверхностная резка предназначена для разделки канавок на металле, удаления поверхностных дефектов на отливках, прокате и сварных швах, удаления головок заклепок, снятия поверхностного слоя металла и ряда других работ.

По способу выполнения кислородную резку делят на ручную и машинную. Ручную резку выполняют специальным резаком, машинную — на специальных газорезательных полуавтоматах и автоматах.

Кислородная резка основана на сгорании металла в струе технически чистого кислорода. Металл при резке нагревают пламенем, которое образуется при сгорании какого-либо горючего газа в кислороде. В некоторых случаях в качестве горючего газа используют пары керосина или бензина. Кислород, сжигающий нагретый металл, называют режущим. В процессе резки струю режущего кислорода подают к месту реза отдельно от кислорода, идущего на образование горючей смеси для подогрева металла. Касаясь нагретого металла, режущая струя кислорода интенсивно окисляет и сжигает его верхние слои. Процесс окисления верхних слоев металла сопровождается выделением большого количества тепла, которое идет на прогрев нижних слоев металла. Процесс сгорания разрезаемого металла распространяется на всю толщину, образующиеся окислы выдуваются из места реза струей режущего кислорода.

Металл, подвергаемый резке кислородом, должен удовлетворять следующим требованиям: температура воспламенения металла в кислороде должна быть ниже температуры его плавления, окислы металла должны иметь температуру плавления ниже, чем температура плавления самого металла, и обладать хорошей жидкотекучестью, металл не должен обладать высокой теплопроводностью. Медь, алюминий и их сплавы, а также чугун не удовлетворяют этим требованиям и не поддаются кислородной резке. Хорошо поддаются резке низкоуглеродистые стали. Среднеуглеродистые и высокоуглеродистые стали также достаточно хорошо режутся, однако в некоторых случаях нужен предварительный их подогрев.

Склонность сталей к закалке при содержании в них некоторых легирующих примесей, а также при содержании углерода более 0,3% способствует получению трещин при резке их без предварительного подогрева. Легирующие примеси в сочетании с углеродом неодинаково влияют на способность стали поддаваться кислородной резке. Влияние различных элементов на разрезаемость сталей кислородной резкой указано в табл. 194.

Для кислородной резки пригодны горючие газы и пары горючих жидкостей, дающие температуру пламени при сгорании в смеси с кислородом не менее 1800° С. Особенно важную роль при резке имеет чистота кислорода. Для резки необходимо применять кислород с чистотой 98,5—99,5%. С понижением чистоты кислорода очень сильно снижается производительность резки и увеличивается расход кислорода. Сравнительные данные по снижению производительности резки и увеличению расхода кислорода с понижением его чистоты приведены в табл. 195.

194. Влияние углерода и легирующих примесей на разрезаемость сталей обычной кислородной резкой

Легирующий элемент	Влияние на разрезаемость
Углерод	При содержании более 1% резка невозможна
Кремний	Сильно затрудняет резку при содержании более 4% и одновременном содержании углерода в сплаве свыше 0,2%
Марганец	Ухудшает резку при содержании более 4%
Никель	Позволяет резку при содержании в стали до 7%, однако при содержании более 34% резка ухудшается
Хром	Очень сильно затрудняет резку при содержании более 5%
Вольфрам	Сильно ухудшает резку при содержании более 10%
Молибден	При содержании до 0,25—0,3% не затрудняет резку, но способствует закалке кромок реза
Сера и фосфор	При содержании в пределах, предусмотренных стандартами, на резку не влияют

195. Зависимость времени резки и расхода кислорода от чистоты кислорода

Параметры	Показатели при частоте кислорода, %				
	99,5	99,0	98,5	98,0	97,5
Время резки 1 м реза, %	100	105,3	112,9	120,7	131,0
Расход кислорода на 1 м реза, %	100	111,9	129,2	145,9	168,1

Оборудование для кислородной резки

Резаки. Для кислородной резки с применением ацетиленового пламени используют оборудование для ацетиленовой сварки, но вместо сварочной горелки применяют газовый резак обычно инжекторного типа (рис 171).

Кислород по рукаву, надетому на кислородный ниппель 1, поступает в резак. Часть кислорода, проходя вентиль 2 и инжектор 10, идет

в смесительную камеру 9. Остальная часть кислорода (режущий кислород) направляется в головку 5 через вентиль 3 и трубку 4. Из головки резака режущий кислород проходит через центральный канал внутреннего мундштука 6 и поступает к месту реза. Ацетилен подводится в резака по рукаву, надетому на ниппель 12. Затем ацетилен проходит через вентиль 11 и по пазам инжектора, находящимся на его наружной поверхности, поступает в смесительную камеру 9. Ацетилен в смеситель-

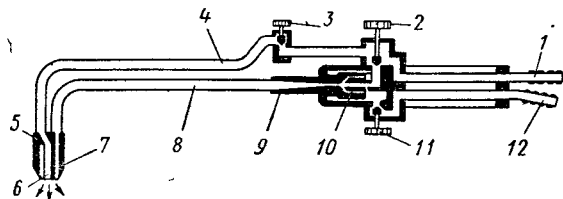


Рис. 171. Схема устройства ручного резака инжекторного типа

ную камеру подсасывается кислородом, проходящим в центральное отверстие инжектора. В смесительной камере образуются горючая смесь, которая проходит по трубке 8 в головку резака, откуда через кольцевой зазор между наружным мундштуком 7 и внутренним мундштуком 6 выходит наружу. На выходе горючую смесь поджигают, и при этом образуется подогревающее пламя.

Для ручной разделительной резки широко применяют резаки типов «Пламя-62» и РГС-60М. Резак РГС-60М вставной, его присоединяют к стволам сварочных горелок «Москва» и ГС-3. Техническая характеристика резака «Пламя-62» приведена в табл. 196.

196. Техническая характеристика резака «Пламя-62»

Параметры	Показатели при толщине разрезаемого металла (низкоуглеродистая сталь), мм					
	3-6	6-25	50	100	200	300
Номер мундштука:						
внутреннего	1	2	3	4	5	5
наружного	1	1	1	2	2	2
Давление кислорода, кг/см ²	3,5	4	6	8	11	14
Расход газов, м ³ :						
кислород	3	5,2	8,5	18,5	33,5	42
ацетилен	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2
Ширина реза, мм	2-2,5	2,5-3,5	3,5-4,5	4,5-7	7-10	10-15
Скорость резки, мм/мин	550	370	260	165	100	80

Для резки с применением газов-заменителей ацетилена применяют резаки РЗР-62.

Техническая характеристика резака РЗР-62

Толщина разрезаемой стали, мм	3-300
Расход газов, м ³ /ч:	
режущего кислорода	2,5-40
для подогревающего пламени (одного из горючих газов):	
а) метана и природного газа	1,1-1,9
кислорода	1,7-2,9
б) пропана и пропан-бутановых смесей	0,4-0,7
кислорода	1,4-2,5
в) коксового газа	2,2-3,8
кислорода	1,8-3,0
Давление, кгс/см ² :	
кислорода в рабочей камере редуктора	2-11
горючего газа	0,05-0,1
Габаритные размеры, мм	545×155×70
Масса, кг	1,3

Кроме этих резаков применяют также универсальный резаки РУ-66. Универсальный резаки предназначен для ручной резки с использованием подогревающего пламени, образуемого смесью ацетилена или газов-заменителей ацетилена с кислородом.

Резак РУ-66 выпускается в трех исполнениях:

РУ — для резки стали с использованием в качестве горючего ацетилена и газов-заменителей;

РУА — для резки стали с использованием в качестве горючего только ацетилена;

РУЗ — для резки стали с использованием в качестве горючего газов-заменителей ацетилена.

Техническая характеристика резака РУ-66

Толщина разрезаемой стали, мм	3-300
Расход газов, м ³ /ч:	
кислорода	3-36
ацетилена	0,6-1,2
природного газа	0,96-1,92
пропан-бутана	0,36-0,72
Давление газов, кгс/см ² :	
кислорода в рабочей камере редуктора	3,5-12
ацетилена	≥0,01
газа-заменителя	0,005-0,1
Длина резака, мм	545
Масса, кг	1,6

Помимо резаков, предназначенных для разделительной резки, существуют резаки специального назначения для поверхностной резки, например, резаки типа РАП-62, РПА-62 и РПК-62.

Резак РАП-62 (табл. 197) используют для удаления корней сварных швов, а также мелких дефектов на отливках. В качестве горючего газа для этого резака используют ацетилен.

Резаки РПА-62 и РПК-62 используют для удаления дефектов сварных швов, для чащеобразной подготовки кромок листов под сварку и для удаления местных дефектов на отливках и прокате (табл. 198).

197. Техническая характеристика резака РАП-62

Параметры	Мундштук	
	№ 1	№ 2
Размеры вырезаемой канавки, мм:		
ширина	7—10	8—16
глубина	3—7	2—10
Скорость резки, м/мин	0,5—0,9	5
Расход газов, м ³ /ч:		
кислорода	3,7—7	14—20
ацетилена	1,0—1,2	1,0—1,2
Давление газов, кгс/см ² :		
кислорода		4—6
ацетилена		≥0,01
Габаритные размеры резака, мм	680×130×80	
Масса, кг	1,25	

198. Техническая характеристика резаков РПА-62 и РПК-62

Параметры	РПА-62	РПК-62
Расход газов, м ³ /ч:		
кислорода	18—75	18—75
ацетилена	0,9—1	—
коксового	—	4—5
Давление газов, кгс/см ² :		
кислорода	8—12	8—12
ацетилена	≥0,02	—
коксового	—	0,005
Габаритные размеры, мм	1400×150×150	
Масса, кг	2,6	

Для срезания головок заклепок применяют вставной резак РАЗ-60, который присоединяют к стволам горелок «Москва» и ГС-3.

Техническая характеристика резака РАЗ-60

Диаметр стержня срезаемой заклепки, мм	8—37
Расход газов, м ³ /ч:	
кислорода	4—7
ацетилена	0,3—0,5
Давление газов, кгс/см ² :	
кислорода	4,5—8,5
ацетилена	0,05
Длина резака, мм	358
Масса, кг	0,560

Для резки стали большой толщины (до 700 мм) применяют специальную установку УРР-700. Эта установка предназначена для кислородной резки отливок, проката, поковок, отрезки прибылей стального литья и для разделки крупного стального лома. В комплект установки входят: резак РР-700 инжекторного типа, кислородная рампа из десяти баллонов, рамповый кислородный редуктор и ацетиленовая трехбаллонная рампа с обычным баллонным редуктором. Для подогревающего пламени в качестве горючего газа используют ацетилен.

Техническая характеристика установки УРР-700

Толщина обрабатываемого металла, мм	300—700
Скорость резки, мм/мин	50—120
Расход газов, м ³ /ч:	
кислорода	50—150
ацетилена	2—4
Давление газов (на входе в резак), кгс/см ² :	
кислорода	2—3
ацетилена	≥0,1
Габаритные размеры, мм:	
резака	935×320×180
кислородной рампы	2560×500×430
ацетиленовой рампы	500×170×320

Переносные и стационарные машины предназначены для разделительной резки стали, они отличаются высокой производительностью и чистой получаемого реза.

Одесский завод «Автогенмаш» выпускает переносную газорезательную машину «Радуга» для прямолинейной и криволинейной резки стали толщиной 5—300 мм.

Техническая характеристика машины «Радуга»

Толщина обрабатываемого листа, мм	5—300
Скорость резки, мм/мин	90—1500
Количество резаков	1—2
Расход газов на один резак, м ³ /ч:	
кислорода	2—30
ацетилена	0,3—1,2
Давление газов, кгс/см ² :	
кислорода	2—12
ацетилена	0,1—0,3
Ток питающей сети	Переменный
Напряжение, В	110—127
Потребная мощность, Вт	22
Габаритные размеры, мм	405×245×250
Масса (без циркульного устройства и кабеля), кг	16

Переносная машина «Спутник» предназначена для резки стальных труб диаметром до 1100 мм. Машина может резать трубы перпендикулярно образующей или наклонно со скосом кромок под углом до 35°. При установке на машину двух резаков можно вырезать кольца. Машина имеет тележку самоходного типа с электродвигателем и комплектуется выпрямительным блоком с магнитным усилителем. Управление магнитным усилителем расположено вне машины.

Техническая характеристика машины «Спутник»

Размеры разрезаемой трубы, мм:	
толщина стенки	4,5—50
диаметр	194—1100
Скорость резки, мм/мин	230—500
Количество резаков	1—2
Расход газов на один резак, м ³ /ч:	
кислорода	2—6,5
ацетилена	0,3—0,8
Давление газов, кгс/см ² :	
кислорода	2—6,5
ацетилена	0,1—0,5
Ток питающей сети	Переменный
Напряжение, В	110
Потребная мощность, Вт	55

Габаритные размеры, мм:	
ходовой части машины	375 × 430 × 225
выпрямительного блока	225 × 205 × 225
Масса, кг:	
с резаком	14
с выпрямительным блоком и резаком	27

Машина АСШ-2 стационарная, предназначена для кислородно-резки стали толщиной до 100 мм. Машина в основном применяется для вырезки деталей и заготовок различной конфигурации из листов стали по специальным шаблонам-копирам. По шаблонам можно вырезать заготовки для гаечных ключей, фланцы, грубые плоские зубчатые колеса и другие детали с допуском 0,3—0,5 мм.

Техническая характеристика машины АСШ-2

Габаритные размеры обрабатываемых листов, мм:	
длина	1000—1500
ширина	100—750
толщина	100—750
Скорость резки, мм/мин	5—100
Количество резаков	1
Расход газов, м ³ /ч:	
кислорода	2—12,5
ацетилен	0,5—0,7
Давление газов, кгс/см ² :	
кислорода	2—10
ацетилен	0,1—0,3
Класс точности машины (ГОСТ 5614—67)	1
Толщина копира, мм	6—8
Диаметр магнитного пальца, мм	12
Ток питающей сети	Переменный
Напряжение, В	110—127
Потребная мощность, кВт	0,15
Габаритные размеры, мм	1500 × 1300 × 1750
Масса, кг	290

Режимы резки для машины АСШ-2 приведены в табл. 199.

199. Режимы резки на машине АСШ-2

Параметры	Показатели при толщине металла (низкоуглеродистая сталь), мм							
	5	10	20	30	40	60	80	100
Номер мунштука	1	1	2	3	3	4	4	4
Давление кислорода, кгс/см ²	3,5	4,5	4,5	4,5	5,5	6,5	7,5	10,5
Скорость резки, мм/мин	550	485	395	330	290	230	190	165
Расход газов, л, на 1 м реза:								
кислорода	75	105	175	280	375	630	920	1350
ацетилен	14	17	25	32	38	48	62	70

Универсальная газорезательная машина СГУ-1-60 предназначена для разделительной резки в стационарных условиях. Эта машина консольного типа с автоматическим магнитным копированием по стальному копиру, позволяет производить вырезку фигурных деталей и прямой линейный раскрой листов.

Техническая характеристика машины СГУ-1-60

Габаритные размеры обрабатываемых листов, мм:	
длина	6000
ширина	2000
толщина	5—300
Скорость резки, мм/мин	50—1500
Количество резаков	2
Расход газов (на два резака), м ³ /ч:	
кислорода	6—50
ацетилен	1—2
Давление газов, кгс/см ² :	
кислорода	2—12
ацетилен	0,1—0,4
Класс точности машины (ГОСТ 5614—67)	3
Ток питающей сети	Переменный
Напряжение, В	380/220
Потребная мощность, кВт	0,5
Габаритные размеры, мм	7630 × 4830 × 1770
Масса, кг:	
машины	1650
ходовой части	350

Фотокопировальные машины портального типа «Черномор» и «Одесса» с дистанционным управлением являются универсальными газорезущими автоматами.

Машина «Черномор» может производить раскрой листов, резку металла на полосы одновременно шестью резаками и одновременную обработку под сварку двух продольных кромок с односторонним и двусторонним скосом.

200. Фотокопировальные машины «Черномор» и «Одесса»

Параметры	«Черномор»	«Одесса»
Размеры обрабатываемых листов, мм:		
длина	12 000	9000
ширина	3 150	3000
толщина	5—300	5—300
Скорость резки, мм/мин	18—2250	50—1000
Расход газов на шесть резаков, м ³ /ч:		
кислорода	20—170	—
ацетилен	2—6	—
Расход газов на четыре резака, м ³ /ч:		
кислорода	—	12—100
ацетилен	—	1—4
Давление газов, кгс/см ² :		
кислорода	2—12	2—12
ацетилен	0,1—0,4	0,1—0,4
Класс точности машины (ГОСТ 5614—67)	3	2
Ток питающей сети	Переменный	Переменный
Напряжение, В	380/220	380/220
Потребная мощность, кВт	0,6	2
Габаритные размеры, мм	18 500 × 5440 × 3700	12 000 × 4000 × 3000
Масса, кг:		
машины	3700	2800
ходовой части	950	1500

Машина «Одесса» может производить одновременную вырезку до четырех фигурных деталей по масштабному копиру—чертежу, резку металла на полосы, прямолинейную резку параллельно осям машины и под любым углом. Масштабы копирования при фигурной резке 5 : и 10 : 1. Технические характеристики этих машин даны в табл. 200

Технология кислородной резки

При разделительной резке поверхность разрезаемого металла должна быть очищена от ржавчины, окалины, масла и других загрязнений. Разделительную резку обычно начинают с края листа. Вначале металл разогревают подогревающим пламенем, а затем пускают режущую струю кислорода и равномерно передвигают резак по контуру реза. От поверхности металла резак должен находиться на таком расстоянии, чтобы металл нагревался восстановительной зоной пламени, отстоящей от ядра на 1,5—2 мм. Для резки тонких листов (толщиной не более 8—10 мм) применяют пакетную резку. При этом листы плотно укладывают один на другой и сжимают струбцинами. Значительные воздушные зазоры между листами в пакете ухудшают резку.

При поверхностной резке с обрабатываемого изделия срезают (согнатируют) часть металла, поэтому этот процесс резки иногда называют поверхностной газовой строжкой. Для поверхностной резки применяют специальные резаки. Угол наклона резака к плоскости обрабатываемого металла при поверхностной резке зависит от глубины снимаемого слоя. Чистота поверхностной резки зависит от равномерности передвижения резака. Резак передвигают равномерно, сохраняя постоянный угол наклона к плоскости металла.

КИСЛОРОДНО-ФЛЮСОВАЯ РЕЗКА

Обычная кислородная резка хромистых и хромоникелевых сталей, а также чугуна, меди и ее сплавов практически невозможна. Для резки этих металлов применяют кислородно-флюсовую резку.

Кислородно-флюсовая резка заключается в том, что в струю режущего кислорода подают порошкообразный флюс (преимущественно железный порошок). В зависимости от химического состава разрезаемого металла применяются флюсы ПЖ2М, ПЖ5М (ГОСТ 9849—61*) и др.

Подводимый к месту реза флюс при сгорании выделяет дополнительное количество тепла, способствующего расплавлению тугоплавких окислов. Расплавленные окислы образуют жидкие шлаки, которые стекают и не препятствуют процессу резки. Кислородно-флюсовую резку в основном применяют для раскрытия листов из нержавеющей стали.

Установка для кислородно-флюсовой резки УРХС-4 состоит из флюсопитателя и специального резака.

Техническая характеристика установки УРХС-4

Скорость резки, мм/мин:	
прямолинейной	270—760
фасонной	170—475
Давление кислорода, кгс/см ²	5—10
Давление ацетилена, мм вод. ст., не менее	300

Давление флюсоносущего кислорода, кгс/см ²	0,35—0,45
Расход	
кислорода, м ³ /ч	8—25
флюса, кг/ч	6—9
ацетилена, м ³ /ч	0,8—1,1
Размеры флюсопитателя, мм	
диаметр	220
высота	620
Масса флюсопитателя, кг	10,3
Емкость флюсопитателя, кг	20
Масса ручного резака с оснасткой, кг	3,0
Длина резака, мм	585

Режимы резки на установке УРХС-4 приведены в табл. 201.

201. Режимы резки высоколегированных хромистых и хромоникелевых сталей на установке УРХС-4

Толщина металла, мм	Скорость резки, мм/мин		Расход		
	Прямолинейная	Фигурная	кислорода м ³ /м	ацетилена, л/м	флюса, кг/м
10	760	475	0,20—0,30	20—30	0,15—0,25
20	560	350	0,35—0,50	25—40	0,20—0,35
40	400	250	0,65—1,05	40—65	0,30—0,50
60	330	210	0,95—1,5	50—75	0,40—0,60
100	270	170	1,5—2,35	65—105	0,45—0,75

Помимо УРХС-4 применяют установки УРХС-5 и УРХС-6. Установки УРХС-5 используют при ручной и машинной резке с резаками, работающими на ацетилена и газах-заменителях.

Установка УРХС-6 предназначена для кислородно-флюсовой резки прибыльных частей отливок и различных заготовок больших толщин (до 500 мм).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Газопламенная обработка металлов. М., Профтехиздат, 1962, 556 с. Авт.: Асиновская Г. А., Зеликовская Н. М., Коровин А. И. и др.
2. Глызманенко Д. Л. Газовая сварка и резка металлов. М., «Высшая школа», 1969, 271 с.
3. Глызманенко Д. Л. Сварка и резка металлов. М., «Высшая школа», 1971, 487 с.

ГЛАВА 13

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ДУГОВАЯ РЕЗКА МЕТАЛЛОВ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Электрическая дуговая резка по сравнению с обычной кислородной резкой обладает некоторыми преимуществами (например, простотой оборудования, возможностью резки металлов различного химического состава, безопасностью работы). Получили распространение несколько разновидностей электродуговой резки металлов: дуговая резка металлическим электродом, дуговая резка угольным электродом, кислородно-дуговая резка, воздушно-электродуговая резка. Кроме этих способов, для резки высоколегированных сталей, цветных металлов и их сплавов применяют дуговую резку в среде защитных газов. Основными являются резка в среде аргоно-водородной смеси, азотодуговая резка, резка в среде аргоно-кислородной смеси и резка в среде аргона.

Наряду с перечисленными способами применяют также дуговую резку под водой.

ДУГОВАЯ РЕЗКА МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ЭЛЕКТРОДОМ

Сущность этого способа резки заключается в том, что металл в месте реза проплавляют электрической дугой. Силу тока при резке берут максимально возможную. Обычно при резке металлическим электродом сила тока на 20—30% больше, чем при сварке электродами такого же диаметра. Металлическим электродом можно резать чугун, нержавеющие стали и цветные металлы, которые не поддаются обычной кислородной резке.

При дуговой резке используют электроды, имеющие специальные электродные покрытия, способствующие улучшению процесса резки. Металлические электроды для резки изготавливают из проволоки марок Св-08 или Св-08А по ГОСТ 2246—70 диаметром 3—12 мм и длиной не более 250—300 мм. На электродные стержни наносят покрытия следующего состава (%):

1	Марганцевая руда	98
	Поташ	2
2.	Марганцевая руда	94
	Мрамор	3
	Каолин	3

Толщина слоя покрытия 1—1,5 мм на сторону.

Металлическим электродом можно резать на переменном и на постоянном токе. Режимы резки приведены в табл. 202.

Основные недостатки этого способа резки — низкая производительность и плохое качество реза. Рез получается с большими неровностями и натеками металла с обратной стороны.

202. Режимы ручной электродуговой резки стали металлическим электродом

Разрезаемый материал	Толщина, мм	Диаметр электрода, мм	Режимы резки		Разрезаемый материал	Толщина, мм	Диаметр электрода, мм	Режимы резки	
			Сила тока, А	Скорость, м/ч				Сила тока, А	Скорость, м/ч
Низкоуглеродистая сталь	6	2,5	140	12,36	Нержавеющая сталь	6	2,5	130	12
	12			7,2		25			4,38
	25	2,1	6	3,0		195	18,72		
	12	8,1	25				8,7		
25	3,78	6	4,0	220	18,9				
12	9,3	25			10,2				
25	4,5	6	5,0	300	18,9				
12	12,9	25			11,4				
25	6,9				6,72				

Наряду с ручной резкой применяют автоматическую резку металлическим электродом под слоем флюса. Этим способом в основном раскраивают листы из нержавеющей стали толщиной до 30 мм. Режут на обычных сварочных автоматах сварочной проволокой марок Св-08 или Св-08А с флюсом АН-348А. Автоматическая резка более производительна. Режимы автоматической резки под слоем флюса приведены в табл. 203.

203. Режимы автоматической электродуговой резки нержавеющей стали под слоем флюса

Толщина разрезаемой стали, мм	Диаметр проволоки, мм	Режим резки		
		Сила тока, А	Напряжение на дуге, В	Скорость м/ч
10	4	1000	40—42	34,8
20		1200	42—44	30
30		1500	46—50	24,9

ДУГОВАЯ РЕЗКА УГОЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОДОМ

При этом способе резки применяют угольные или графитированные электроды. Обычно режут на постоянном токе, в большинстве случаев при прямой полярности (минус на электроде). Производительность и чистота реза низкие. Режим резки угольным электродом приведен в табл. 204.

204. Режимы резки стали угольными или графитированными электродами

Толщина стали, мм	Диаметр электрода, мм	Режим резки	
		Сила тока, А	Скорость, м/ч
6 10 16	10	400	21,00
			18,00
			10,50
25 50 75	15	600	4,80
			2,70
			1,80
100 200 300	20	800	1,00
			0,45
			0,24

КИСЛОРОДНО-ДУГОВАЯ РЕЗКА

Кислородно-дуговая резка заключается в том, что разрезаемый металл разогревают электрической дугой, а затем сжигают струей кислорода. Обычно режущая струя кислорода следует за направлением движения электрода. Для этого способа резки применяют специальные резаки, обеспечивающие закрепление электрода и подвод кислорода к месту реза. При резке применяют угольные, графитированные или стальные электроды.

Кислородно-дуговой резкой можно резать углеродистые, легированные, нержавеющие стали, чугун и цветные металлы. По чистоте получаемого реза она почти не уступает газокислородной, а по производительности в некоторых случаях превосходит ее.

ВОЗДУШНО-ЭЛЕКТРОДУГОВАЯ РЕЗКА

Сущность этого способа резки заключается в том, что металл расплавляют теплом электрической дуги, а затем выдувают из места реза струей сжатого воздуха. Способ можно использовать для разделительной и поверхностной резки листового и профильного проката, для удаления приливов с отливок, головок заклепок, дефектных участков сварных швов, трещин, раковин, а также для разделки канавок и съема фасок. Резать можно в любых пространственных положениях. Качество реза почти не уступает газокислородной.

Резку производят омедненными угольными или графитированными электродами круглого, квадратного или пластинчатого сечения на постоянном токе при обратной полярности. Пластинчатые электроды применяют только для поверхностной резки.

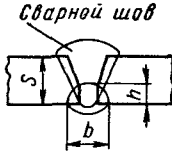
Резку выполняют специальными резаками, обеспечивающими зажатие электрода, подвод к электроду тока и подачу сжатого воздуха к месту реза. Давление сжатого воздуха должно быть не менее 5 кгс/см².

Этот способ используют для разделительной резки сталей толщиной не более 25—30 мм. Режимы разделительной резки приведены в табл. 205.

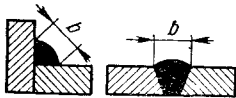
205. Режимы разделительной воздушно-электродуговой резки угольным омедненным электродом

Толщина разрезаемого металла, мм	Диаметр электрода, мм	Сила тока, А	Скорость резки, м/ч	
			Низкоуглеродистая сталь	Нержавеющая сталь
5	6	270—300	60—62	63—65
	8	360—400	26—28	30—32
10	10	450—500	30—32	32—34
			20—22	22—24
12	12	540—600	22—24	24—26
	10	450—500	10—12	12—14
20	12	540—600	12—14	14—15
	14	630—700	8—10	10—12
10—11			12—13	

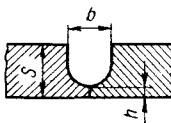
206. Ориентировочные данные по воздушно-электродуговой разделке корня шва

Эскиз сварного соединения	Толщина металла S, мм	Диаметр электрода, мм	Сила тока, А	Размеры разделки корня шва, мм	
				Ширина b	Глубина h
 <p>Сварной шов</p>	5—6	4	180	6—7	3—4
	6—8	4 6	180 280	6—7 7,5—9	4—5
	8—10	6 8	280 370	7,5—9 8,5—11	4—5
	10—12	8 10	380 450	8,5—11 11,5—13	5—6
	12—15	10	450	11,5—13	6—8
	10—20	12	550	13,5—15	8—10

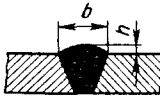
207. Ориентировочные режимы воздушно-электродуговой резки для удаления дефектных участков сварных швов

Эскиз сварного шва	Ширина шва, мм	Диаметр электрода, мм	Сила тока, А
	5	4	180—200
	8	6	270—300
	10	8	360—400
	15	12	540—600
	20	14	600—680

208. Режимы воздушно-электродуговой резки при выполнении U-образной разделки кромок

Эскиз разделки	Толщина металла S, мм	Диаметр электрода, мм	Сила тока, А	Ширина разделки, мм	Припускание h, мм
	6—8	4 6	180—200 270—300	6—7 8—9	1—1,5
	8—10	6 8	270—300 360—400	8—9 10—11	1,5—2
	10—12	8 10	360—400 450—500	10—11 12—13	
	12—15	10 12	450—500 540—600	12—13 14—15	
	15—20	12 14	540—600 600—640	14—15 16—17	2—3

209. Ориентировочные режимы воздушно-электродуговой резки пластинчатым электродом при снятии усиления стыковых швов

Эскиз сварного стыкового шва	Размеры усиления шва, мм		Размер пластинчатого электрода, мм	Сила тока, А	Скорость резки, м/ч
	Ширина, b	Высота, h			
	18	4	20×5	300—350 400—450	20 22,5
	28	5	30×5	500—600	20
	38	5	40×5	900—950	27

Наиболее распространена поверхностная воздушно-электродуговая резка. Режимы поверхностной резки при удалении корня шва, дефектных участков сварных швов, выполнении U-образной разделки, снятии усиления сварных швов даны в табл. 206—209.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Васильев К. В. Газоэлектрическая резка металлов. М., Машгиз, 1963, 175 с.
- 2 Маслов Ю. А. Воздушно-электродуговая резка металлов. М., Машгиз, 1962, 104 с.

ГЛАВА 14

СВАРКА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

СВАРКА АЛЮМИНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ

Технически чистый алюминий в технике имеет сравнительно ограниченное применение вследствие низкой прочности и высокой пластичности.

Большей частью в технике применяют сплавы алюминия — дюралюмины и силумины.

Основные затруднения при сварке алюминия и его сплавов следующие:

на поверхности расплавленного металла постоянно образуется тугоплавкая пленка окиси алюминия Al_2O_3 , препятствующая сплавлению между собой частиц металла;

высокая температура плавления окиси алюминия ($2050^\circ C$) и низкая температура плавления алюминия ($658^\circ C$), не изменяющего своего цвета при нагревании, крайне затрудняет управление процессом сварки;

высокая теплопроводность алюминия и его сплавов требует применения специальных технологических приемов, а при массивных деталях — предварительного подогрева.

Алюминий и его сплавы сваривают с помощью электродуговой, аргоно-дуговой и газовой сварки. Независимо от способа сварки алюминиевые изделия перед сваркой должны проходить специальную подготовку, заключающуюся в обезжиривании металла и удалении с его поверхности пленки окиси алюминия. Такой подготовке необходимо также подвергать присадочную проволоку и электродные стержни перед нанесением на них покрытия.

Подготовка под сварку. Поверхность металла обезжиривают растворителями*, затем удаляют окисную пленку механической зачисткой или химическим травлением. Химический способ удаления состоит из следующих операций: травление в течение 0,5—1 мин (состав: раствора натрия едкого технического 45—55 г и натрия фтористого технического 40—50 г на 1 л воды), промывка в проточной воде, нейтрализация в 25—30% -ном водном растворе азотной кислоты в течение 1—2 мин, промывка в проточной воде, промывка в горячей воде, сушка до полного удаления влаги. Обезжиривание и травление рекомендуется делать не более чем за 2—4 ч до сварки.

Листовой металл толщиной до 5 мм сваривают без разделки кромок. Детали толщиной до 20—25 мм можно сваривать без предварительного подогрева. При толщине более 20 мм детали перед сваркой рекомендуется предварительно подогреть до температуры 300—400°С, литые силуминовые детали подогреть до 250—300°С.

* Применяют органические растворители бензин авиационный (ГОСТ 1012—72) или экстракционный (ГОСТ 462—51*), ацетон технический (ГОСТ 2768—69), ацетоновую или авиационную смывку (ВТУ МХП 1848—52)

Электродуговая сварка может осуществляться вручную угольным или металлическим электродами или металлическим электродом по слою флюса автоматами. Ручная дуговая сварка угольным электродом производится на постоянном токе прямой полярности (минус на электроде). Наиболее целесообразно применять угольные электроды при сварке по отбортовке без присадочного металла. Сварку стыковых, угловых и тавровых соединений выполняют с применением присадочного металла — прутков из алюминия и алюминиевых сплавов (ГОСТ 7871—63). Для сварки большинства деформируемых сплавов применяют проволоку марки АК. При сварке силумина можно применять литые силуминовые прутки. Ориентировочные режимы сварки угольным или графитовым электродами приведены в табл. 210. Флюсы, предназначенные для дуговой сварки угольным электродом, применяют и при газовой сварке. Состав флюсов приведен в табл. 211 и 212.

210. Ориентировочные режимы ручной дуговой сварки алюминия и его сплавов угольным или графитовым электродом

Толщина металла, мм	Диаметр присадочной проволоки, мм	Диаметр угольного или графитового электрода, мм	Сила тока, А
2—5	1—6	8	120—200
5—10	5—7	10	200—280
10—15	7—10	12	280—350
15 и более	10—12	15	350—450

При ручной дуговой сварке металлическим электродом применяют металлические электроды, стержни которых изготовляют из сварочной проволоки (ГОСТ 7871—63). Состав электродных покрытий приведен в табл. 213, 214. Электродные покрытия замешивают на дистиллированной воде. Применение жидкого стекла для покрытий не допускается. Толщина слоя покрытия в зависимости от диаметра электродного стержня дана в табл. 215. Сварку производят на постоянном токе обратной полярности. Режимы сварки приведены в табл. 216.

Автоматическая сварка. Сваривают преимущественно металлическими плавящимися электродами на обычных автоматах, имеющих постоянную скорость подачи электродной проволоки, без разделки кромок. Для сварки применяют флюсы АН-А1, УФОК-А1 и МАТИ 1, состав которых приведен в табл. 217. Режимы автоматической сварки плавящимся электродом приведены в табл. 218.

Аргоно-дуговая сварка. Основное преимущество этого способа — отпадает необходимость во флюсах и электродных покрытиях. Для сварки применяют осушенный от влаги аргон с чистотой не менее 99,8%. Сварку ведут ручным, полуавтоматическим и автоматическим способами.

Для ручной сварки используют неплавящиеся вольфрамовые электроды и специальные держатели. Диаметр присадочной проволоки для ручной сварки берут в зависимости от толщины свариваемого металла:

Толщина свариваемого металла, мм	До 2	Св 2 до 5	Св 5
Диаметр присадочной проволоки, мм	До 1—1,5	1,5—3	3—4

211. Флюсы, не содержащие хлористого лития, для электродуговой и газовой сварки алюминия и его сплавов

Компоненты	Состав, %				
	1	2	3	4	5
Хлористый натрий	16	20	19	41	—
Хлористый калий	79	48	29	51	50
Фтористый натрий	—	—	—	8	50
Фтористый калий	—	12	—	—	—
Калий кислый серноокислый	5	—	—	—	—
Хлористый барий	—	20	—	—	—
Фтористый кальций	—	—	4	—	—
Фтористый барий	—	—	48	—	—

212. Флюсы, содержащие хлористый литий, для электродуговой и газовой сварки алюминия и его сплавов

Компоненты	Состав, %							
	1	2	3	4	5 (АФ-4А)	6	7	8
Хлористый натрий	30	45	30	6,5	28	30	30	20
Хлористый калий	45	30	45	63,5	50	35	45	20
Хлористый литий	15	10	15	30,0	14	15	15	30
Хлористый магний	—	—	—	—	—	—	—	8
Фтористый литий	—	—	3,5	—	—	—	—	—
Фтористый калий	7	15	—	—	—	—	—	10
Фтористый натрий	—	—	3,5	—	8	10	10	10
Калий кислый серноокислый	—	—	—	—	—	—	—	—
Бромистый калий	3	—	3	—	—	—	—	2

213. Электродные покрытия с хлористым литием для сварки алюминия и его сплавов

Компоненты	Состав покрытий, % по массе							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Хлористый литий	10	30	30	24	33,7	18,2	18,2	9,1
Хлористый калий	50	64	63,5	20	24,75	—	—	32,5
Хлористый натрий	35,5	6	6,5	—	13,45	27,2	30,5	18,2
Хлористый магний	—	—	—	—	7,85	—	—	—
Фтористый натрий	1,5	—	—	17	9	—	—	5,2
Фтористый калий	3	—	—	39	11,25	—	—	—
Криолит	—	—	—	—	—	45,5	45,5	35
Серноокислый натрий	—	—	—	—	—	9,1	5,8	—

214. Электродные покрытия без хлористого лития для сварки алюминия и его сплавов

Компоненты	Состав покрытия, % по массе						
	1	2	3	4	5	6	7
Хлористый натрий	12,5	19	19	33	15	30	30
Хлористый калий	50	29	28	45	50	50	40
Хлористый барий	—	48	46	—	—	—	—
Фтористый магний	—	—	3	—	—	—	—
Фтористый кальций	—	4	4	—	—	—	—
Фтористый калий	—	—	—	7	—	—	—
Хлористый цинк	—	—	—	15	—	—	—
Кислый серноокислый натрий	2,5	—	—	—	—	—	—
Криолит	35	—	—	—	35	20	30

215. Толщина покрытия в зависимости от диаметра электродного стержня

Диаметр электродного стержня, мм	Толщина покрытия на сторону, мм	Диаметр электродного стержня, мм	Толщина покрытия на сторону, мм
3	0,25—0,13	5	0,5—0,75
4	0,3—0,5	6 и более	0,75—1,6

216. Ориентировочные режимы ручной дуговой сварки алюминия и его сплавов металлическими электродами

Толщина металла, мм	Диаметр электрода, мм	Сила тока, А
1 до 3	3	80—130
Св 3 до 5	4	150—180
» 5 » 8	5	250—320
» 8 » 10	6	300—350
» 10 » 15	8	350—400
» 15	10	400—450

217. Состав флюсов для автоматической сварки алюминия

Марка флюса	Состав флюса, % по массе			Назначение флюса
	Хлористый калий	Хлористый натрий	Криолит	
АН-А1	50	20	30	Для алюминия и сплава АМц
УФОК-А1	40	30	30	Для чистого алюминия и его сплавов
МАТИ-1	34	43	23	Для сплавов АМц и АМг

218. Режимы автоматической сварки алюминия и его сплавов плавящимся электродом (для стыковых двусторонних швов)

Толщина металла, мм	Диаметр сварочной проволоки, мм	Сила тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Величина зазора между кромками, мм
12	1,8	280—300	36—38	16	0—1,0
16	2,5	350—400	38—40	16	0—1,0
18	2,85	400—430	39—41	16	0—1,5
25	4,0	550—600	40—42	16	0—2

Сварку можно выполнять на постоянном токе обратной полярности или на переменном токе. При сварке на переменном токе применяют осцилляторы. Ориентировочные режимы ручной сварки неплавящимся электродом приведены в табл. 219.

219. Ориентировочные режимы ручной аргоно-дуговой сварки алюминия и его сплавов неплавящимся электродом на подкладке из меди или из нержавеющей стали

Толщина металла, мм	Встык с присадкой		Встык без присадки		По отбортовке	
	Сила тока, А	Расход аргона, л/мин	Сила тока, А	Расход аргона, л/мин	Сила тока, А	Расход аргона, л/мин
0,8	—	—	45—55	4—5	40—45	4—5
1,0	65—85	4—5	50—65	4—5	45—55	4—5
1,2	70—90	5—6	60—70	5—6	55—70	5—6
1,5	80—100	7—8	70—90	7—8	70—85	7—8
2,0	90—110	7—8	90—110	7—8	—	—
3,0	100—120	8—9	100—120	8—9	—	—

Автоматическую сварку ведут неплавящимися и плавящимися электродами с помощью специальных автоматов. Сварка неплавящимся электродом, в свою очередь, может быть без подачи и с подачей присадочного материала. Режимы автоматической сварки неплавящимся электродом приведены в табл. 220—222.

Газовая сварка. Этот способ сварки алюминия и его сплавов малоэффективен. Основной его недостаток — необходимость применения флюсов и малая концентрация тепла по сравнению с дуговой сваркой. Мощность пламени выбирают в зависимости от толщины свариваемого металла:

Толщина металла, мм	0,5—0,8	1,0	1,2	1,5—2,0	3,0—4,0
Мощность пламени ацетиленового горелочного аппарата, л/мин	50	75	75—150	150—300	300—500

220. Ориентировочные режимы автоматической аргоно-дуговой сварки алюминия и его сплавов неплавящимся электродом без присадочной проволоки (стыковые соединения)

Толщина металла, мм	Диаметр вольфрамового электрода, мм	Сила тока, А	Скорость сварки в нижнем положении шва, м/ч	Расход аргона, л/мин
1,0	2	40—70	25—50	5—6
1,5	3	50—80	20—45	6—7
2,0	4	80—120	20—40	7—8
3,0	4	150—200	15—30	8—9

221. Ориентировочные режимы автоматической аргоно-дуговой сварки алюминия и его сплавов неплавящимся электродом с подачей присадочной проволоки (стыковые соединения)

Толщина металла, мм	Вид разделки кромок	Сила тока, А	Минимальная скорость сварки, м/ч	Диаметр вольфрамового электрода, мм	Расход газа, л/мин	Диаметр присадочной проволоки, мм	Скорость подачи проволоки, м/ч
2	Без разделки	115—140	18,0	3	7—8	1,5	—
3	»	160—210	13,0	3	8—9	1,5	—
6	V-образная	240—260	8,5	4	12—15	2,5—2,8	20—24

222. Режимы автоматической аргоно-дуговой сварки алюминия и его сплавов плавящимся электродом (стыковые соединения)

Подготовка кромок	Толщина металла, мм	Сила тока, А	Скорость сварки, м/ч	Диаметр электрода, мм	Количество слоев	Расход газа, л/мин
Без разделки	4	140—200	20—36	1,6—2	1	8—9
	6	140—220	20—36	1,6—2	1	9—11
С V-образной разделкой	8	200—290	20—30	2—2,5	2	11—13
	10	200—320	20—25	2—2,5	2	13—15
	15	290—375	18—22	2—3	2—3	15—17
С V-образной или X-образной разделкой	20	290—390	15—21	2—3	3—4	15—17
	Св. 20	300—420	9—18	2—3	4 и более	15—17

Пламя должно быть строго нормальным. В качестве присадочного металла применяют сварочную проволоку из алюминия и его сплавов. Диаметр присадочной проволоки зависит от толщины свариваемого металла:

Толщина металла, мм	До 1,5	Св 1,5 до 3	Св 3 до 5	Св 5 до 7	Св 7 до 10
Диаметр присадочной проволоки, мм	1,5—2	2,5—3	3—4	4—4,5	4,5—5,5

Флюсы для газовой сварки алюминия см. в табл. 211 и 212.

Обработка сварных швов после сварки. Сварные швы, выполненные дуговой и газовой сваркой электродами с покрытиями или с применением флюсов, подвергают последующей обработке. Оставшийся после сварки на поверхности швов шлак способен интенсивно разъедать металл, поэтому шлак необходимо тщательно удалять промывкой горячей водой.

Термическая обработка. Для сварных соединений, выполненных из дюралюминия и силумина, после сварки применяют отжиг при температуре 300—370° С с выдержкой в течение 1,5—2 ч и последующим медленным охлаждением. Изделия из закаленного дюралюминия после сварки рекомендуется подвергать закалке в воде после нагрева до 500—510° С с последующим старением. Закалку со старением применяют для особо ответственных изделий.

СВАРКА МЕДИ

В машиностроении наиболее распространена медь марок М1, М2, М3. Сварка меди затрудняется ее высокой теплопроводностью, большой жидкотекучестью, способностью сильно окисляться в нагретом и особенно в расплавленном состоянии. Теплопроводность меди почти в 6 раз больше, чем у стали и железа.

На свариваемость меди оказывают большое влияние примеси, входящие в ее состав (кислород, висмут, свинец, сера, фосфор, сурьма, мышьяк). Особенно отрицательно на свариваемость меди влияет висмут. При нагревании и расплавлении медь, окисляясь, образует закись меди Cu_2O , которая, реагируя с водородом, растворенным в металле, вызывает склонность меди к водородной болезни (поверхностные трещины). Наилучшей свариваемостью обладает электролитическая медь, содержащая не более 0,05% примесей. Медь сваривают ручной и автоматической дуговой сваркой, в среде защитных газов и газовой сваркой.

Дуговая сварка. Ручную дуговую сварку меди выполняют металлическим или угольным электродами. В качестве электродных стержней для электродов ЗТ применяют: проволоку из меди М1, проволоку из кремнемарганцевой бронзы Бр. КМц 3—1, литые стержни из латуни Л90 или оловянно-фосфористой бронзы Бр. ОФ 4-0,25; для электродов «Комсомолец 100» — медная проволока М1. Для электродов используют также медь М2 и М3.

На электродные стержни наносят специальные покрытия, состав которых дан в табл. 223. Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности. Режимы сварки металлическим электродом приведены в табл. 224.

223. Электродные покрытия для сварки меди

Состав	Марка электрода	
	ЗТ	«Комсомолец-100»
Сухие вещества, %:		
марганцевая руда	17,5	—
плавиковый шпат	32	10
полевой шпат	—	12
графит серебристый	16	—
ферросилиций (Si75)	32	8
ферромарганец (низкоуглеродистый)	—	50
алюминий (порошок)	2,5	—
Жидкого стекла от массы сухой смеси	55—60	20

Примечания: 1. Толщина слоя покрытия электродов ЗТ из меди М1 0,6—0,9 мм, для других материалов — 0,2—0,4, для электродов «Комсомолец-100» — 0,4 мм.
2. Электроды просушивают на воздухе при температуре 20—30° С в течение 3—4 ч, а затем прокалывают при температуре 250—300° С в течение 1,5—2 ч.

224. Ориентировочные режимы дуговой сварки меди металлическим электродом

Толщина металла, мм	Диаметр электрода, мм	Сила тока, А
2	3	120—150
3	3—4	160—210
4	4	240—280
5	5	300—350
6	5—6	330—380

225. Состав флюсов для ручной дуговой сварки меди угольным или графитовым электродами

Компоненты	Состав, %				
	1	2	3	4	5
Бура (прокаленная)	94	96	68	50	—
Магний металлический	6	4	—	—	68
Кислый фосфорнокислый натрий	—	—	15	15	—
Кремневая кислота	—	—	15	15	—
Поваренная соль	—	—	—	—	20
Древесный уголь	—	—	2	20	2
Борная кислота	—	—	—	—	10

При сварке угольным или графитовым электродом в качестве присадочных прутков применяют стержни из меди тех же марок, что и для металлических электродов. Для улучшения процесса сварки меди угольной дугой применяют специальные флюсы, которые перед сваркой наносят на присадочные прутки и, кроме того, их можно подсыпать в разделку. Состав флюса для сварки меди угольной дугой дан в табл. 225. Режимы сварки угольным электродом приведены в табл. 226.

Ручную дуговую сварку меди толщиной до 4 мм производят без разделки кромок. Стыковые соединения собирают под сварку без зазоров. Угловые и тавровые соединения сваривают в положении в лодочку. Изделия толщиной более 5 мм перед сваркой нужно нагревать до температуры 200—300° С.

Автоматическую дуговую сварку меди под флюсом можно вести неплавящимся угольным или плавящимся металлическим электродами.

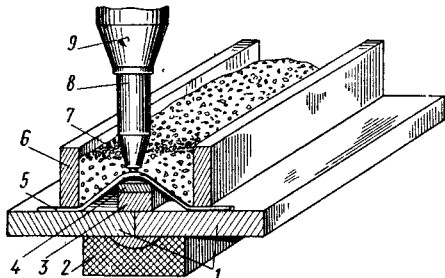


Рис. 172. Схема автоматической сварки меди угольным электродом под слоем флюса:

1 — свариваемые листы; 2 — графитовая подкладка; 3 — присадочный металл; 4 — латунная полоска; 5 — медные проволоочки; 6 — ограничительные планки; 7 — флюс; 8 — угольный электрод, 9 — зажимное и токоподводящее устройство автоматической головки

Для автоматической сварки меди применяют флюсы ОСЦ-45, АН-20 и АН-348А. Сварку угольным или графитовым электродом выполняют с помощью автоматической сварочной головки, которая передвигается вдоль шва с постоянной скоростью. Для сварки металла толщиной 4—8 мм угольный электрод берут диаметром 20 мм. Схема автоматической сварки меди угольным электродом показана на рис. 172. Режимы автоматической сварки меди угольным электродом под слоем флюса приведены в табл. 227.

Автоматическую сварку меди металлическим электродом можно выполнять с помощью обычных автоматов. Сварку ведут электродной проволокой из меди М1, М2, М3 диаметром 1,6—3 мм на постоянном

227. Режимы автоматической сварки меди угольным электродом под слоем флюса

Толщина листов, мм	Диаметр угольного или графитированного электрода, мм	Сила тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч
4	20	780—800	18	22,4
6		960—980		
8		1000	18—19	16

226. Ориентировочные режимы ручной дуговой сварки меди угольным электродом

Толщина металла, мм	Диаметр электрода, мм	Сила тока, А
1	4	135—180
2	6	195—260
4	6	250—330
6	8	315—430
12	10	420—550

токе обратной полярности. При автоматической сварке меди металлическим электродом применяют керамический флюс марки ЖМ-1, который имеет следующий состав, %:

Мрамор	28,0
Полевой шпат	57,5
Плавленый шпат	8,0
Древесный уголь	2,2
Борный шлак	3,5
Алюминий	0,8

Флюс ЖМ-1 дает возможность выполнять автоматическую сварку меди на переменном токе. При одностороннем шве сваривают на графитовой или медной подкладке со сквозным проваром. Листы толщиной до 8 мм сваривают без разделки кромок. При сварке более толстых листов применяют V-образную разделку под углом 60°. Листы толщиной 8—12 мм рекомендуется сваривать с двух сторон. Режимы автоматической сварки меди металлическим электродом под слоем флюса приведены в табл. 228—230. Для более легкого зажигания дуги в начале сварки рекомендуется под конец электродной проволоки подсыпать латунную стружку.

228. Режимы автоматической сварки меди (стыковые соединения без разделки кромок)

Толщина листов, мм	Диаметр проволоки, мм	Сила тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч
2	1,6	140—160	32—35	25
3		190—210		20
4	2	250—280	30—35	25
5		300—340		25
6		330—350		20
8	3	400—440	33—38	16

229. Режимы автоматической сварки меди (стыковые соединения с разделкой кромок, шов двусторонний)

Толщина листов, мм	Разделка кромок		Сила тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч
	Угол разделки, градусы	Величина притупления кромок, мм			
10	60	5	540—560	33—38	15
12		6	580—600		

230. Режимы автоматической сварки меди (соединения внахлестку)

Толщина листов, мм	Сила тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч
3,0	220—240	30—35	25
4,5	300—340	30—35	25
6,0	350—400	30—35	20

Сварка в среде защитных газов. Медь можно сваривать неплавящимся вольфрамовым или плавящимися электродами в среде аргона или азота. Более распространена сварка вольфрамовым электродом на постоянном токе прямой полярности, режимы сварки приведены в табл. 231. В качестве присадочного металла применяют прутки из меди М1, М2 и М3.

231. Режимы ручной аргоно-дуговой сварки меди вольфрамовым электродом

Толщина листов, мм	Диаметр присадочной проволоки, мм	Диаметр вольфрамового электрода, мм	Сила тока, А	Расход аргона, л/мин
1,6	2,4	2,4	80—110	2,8—3,3
3,2	3,2	3,2	200	6
6,4	4,8	4,8	300	7
10	4,8	4,8	350	7
12	6,4	4,8	400	8
16	6,4	4,8	400	8

Примечание Ток постоянный прямой полярности

Сварку меди плавящимся электродом также ведут на постоянном токе обратной полярности, в качестве электродного материала применяют проволоку марок М1, Бр. КМц 3-1 и Бр. ОЦ 4-3.

Газовая сварка. Этот вид сварки меди наиболее распространен. В качестве присадочного материала при сварке металла толщиной до 5 мм применяют прутки из меди марок М1, М2, М3. При сварке металла большей толщины рекомендуется применять медную проволоку, содержащую 0,2% фосфора и 0,15—0,30% кремния или только 0,2—0,7% фосфора. Наиболее распространенные флюсы, применяемые при газовой сварке меди, бронзы и латуни, приведены в табл. 232. Режимы газовой сварки меди даны в табл. 233.

Термообработка. После сварки меди любым способом сварные швы рекомендуется подвергать проковке. При толщине свариваемых листов до 5 мм медь проковывают в холодном состоянии, при большей тол-

232. Флюсы для газовой сварки меди и ее сплавов

Компоненты	Состав флюса, % по массе					
	1	2	3	4	5	6
Бура	50	75	50	56	100	—
Борная кислота	35	25	50	—	—	100
Фосфорнокислый натрий	15	—	—	—	—	—
Хлористый натрий	—	—	—	22	—	—
Углекислый калий	—	—	—	22	—	—

233. Ориентировочные режимы газовой сварки меди

Толщина металла, мм	Диаметр присадочной проволоки, мм	Номер наконечника сварочной горелки	Толщина металла, мм	Диаметр присадочной проволоки, мм	Номер наконечника сварочной горелки
До 1,5	1,5	1	4—8	5	4—5
1,5—2,5	2	2	8—15	6	6
2,5—4	3	3	Более 15	8	6—7

Примечание При слишком малой толщине металла (менее 1 мм) рекомендуется применять малые сварочные горелки с наконечниками № 00 и 0

щине — в горячем состоянии при температуре 250—350° С. Проковку листов при температурах выше 400° С производить нельзя, так как медь становится хрупкой и могут появиться трещины. Для улучшения пластических свойств сварного соединения применяют отжиг, при этом соединение нагревают до 500—600° С, а затем охлаждают в воде.

СВАРКА ЛАТУНИ

Основным затруднением при сварке латуни является испарение цинка, что приводит к пористости металла шва. Латунь можно сваривать ручной и автоматической дуговой сваркой, в среде защитных газов и газовой сваркой.

Дуговая сварка. Сварку ведут угольным или металлическим электродами. При сварке угольным электродом применяют такие же режимы и флюсы, что и при сварке меди. В качестве присадочного металла применяют прутки из латуни ЛК 62-05 (60,5—63,5% меди, 0,3—0,7% кремния, остальное — цинк) и ЛМЦ 40—4,5 (40% цинка, 4,5% марганца, остальное — медь). Кроме того, можно применять прутки из латуни марок ЛК 80-3, ЛМц 58-2, ЛМцЖ 55-3-1 или бронзы Бр. ОМцА 8-0,7-0,7.

Ручную дуговую сварку металлическим электродом применяют в основном для металла толщиной более 5 мм. Сварку ведут на постоянном токе прямой полярности. Электродные стержни берут такого же химического состава, что и присадочные прутки при сварке угольной дугой. На электродные стержни наносят двухслойное покрытие, замешанное на жидком стекле. Состав первого слоя покрытия (%):

Марганцевая руда	30
Титановый концентрат	30
Ферромарганец	15
Мел	20
Сернокислый калий	6

Толщина слоя покрытия 0,2—0,3 мм. После просушки на воздухе в течение 4—5 ч электроды прокаливают при температуре 180—200° С в течение 1,5—2 ч. Затем наносят второй слой покрытия толщиной 0,8—1,1 мм. Состав второго слоя. борный шлак, разведенный на жидком стекле. Ориентировочный режим сварки металлическим электродом:

Диаметр электрода, мм	5	6	8
Сила тока, А	250—280	280—320	350—400

Автоматическую дуговую сварку латуни металлическим плавящимся электродом выполняют на обычных сварочных автоматах. Сварку ведут на постоянном токе прямой полярности. Электродную проволоку можно применять из латуни марок ЛК 62-0,5, ЛК 80-3, из бронзы марок Бр. ОЦ 4-3, Бр. КМц 3-1 или из меди марок М1, М2, М3 диаметром 1,5—3 мм. Для сварки применяют флюсы ОСЦ-45 или АН-348А. Режимы автоматической сварки латуни приведены в табл. 234.

234. Режимы автоматической сварки латуни плавящимся металлическим электродом диаметром 2 мм

Толщина листов, мм	Скорость сварки, мм	Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	Сила тока А	Напряжение на дуге, В
3,5	16	190	250—280	30—33
4	18	200	280—300	
5	16	240	300—350	
6	18	260	350—400	
10	18	335	400—450	
14	16	370	450—480	32—34 38—42

Сварка в среде защитных газов. Латунь можно сваривать в среде аргона или гелия вольфрамовым электродом диаметром 1,4—4,8 мм на постоянном токе прямой полярности. Режимы сварки аналогичны режимам аргоно-дуговой сварки меди. В качестве присадочного металла применяют прутки из латуни того же химического состава, что и свариваемый металл, или прутки из латуни ЛК 62-0,5 или бронзы Бр. ОЦ 4-3 и Бр. КМц 3-1.

Газовая сварка. Этот способ сварки латуни является самым распространенным. Режимы сварки и флюсы те же, что и для сварки меди. Наилучшие результаты получаются при применении проволоки ЛК 62-0,5. Для уменьшения испарения цинка сварку латуни ведут окислительным пламенем с избытком кислорода до 30—40%.

Термическая обработка. Изделия из латуни толщиной более 10 мм должны перед сваркой подогреваться до 300—500° С. После сварки швы подвергают проковке. Для улучшения механических свойств после проковки применяют отжиг при температуре 600—700° С с последующим медленным охлаждением.

СВАРКА БРОНЗЫ

Бронзу сваривают в основном при исправлении дефектов в литых изделиях. Сварку можно вести угольным или металлическим электродом, а также газовым пламенем.

Дуговая сварка. При сварке угольным электродом в качестве присадочного металла применяют литые бронзовые стержни диаметром 5—12 мм того же химического состава, что и свариваемый металл. При сварке металлическим электродом на электродные стержни наносят специальные покрытия. Состав некоторых наиболее распространенных электродных покрытий приведен в табл. 235. Сварку металлическим электродом выполняют на постоянном токе обратной полярности, а угольным — на постоянном токе прямой полярности. Массивные детали перед сваркой рекомендуется подогревать до 350—450° С.

Газовая сварка. Мощность наконечника горелки берут из расчета 100—150 л/ч ацетилен на 1 мм толщины металла. Пламя должно быть нормальным. Присадочные прутки берут близкими по химическому составу к свариваемому металлу. Для сварки алюминиевых бронз можно использовать флюсы, предназначенные для сварки алюминия. Для остальных бронз можно применять флюсы, предназначенные для сварки меди. Газовую сварку бронзы рекомендуется вести с предварительным подогревом до 350—450° С.

Термическая обработка. После дуговой или газовой сварки бронзовые детали рекомендуется подвергать отжигу при температуре 450—500° С. Проковку швов можно делать только при сварке катаной бронзы, швы на литой бронзе не проковывают.

СВАРКА ТИТАНА

Титан и его сплавы получают все большее распространение в промышленности. Большим затруднением при сварке титана и его сплавов является высокая активность их к кислороду и азоту воздуха. Кислород, азот, а также водород и углерод отрицательно влияют на свариваемость и являются вредными примесями. Для качественной сварки необходимо, чтобы свариваемый и присадочный металлы содержали вредные примеси в следующих пределах (% , не более):

Кислород	0,15
Азот	0,04
Водород	0,01
Углерод	0,1

235. Электродные покрытия для электродуговой сварки брон

Компоненты	Состав покрытий, % по массе														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Алюминий	—	15	15	15	16,7	—	50	—	—	50	15	35	25	15	15
Мед	50	70	—	35	—	—	—	—	100	—	—	—	—	5,0	5
Борный шлак	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Мрамор	—	—	70	35	83,3	83,3	—	—	—	—	70	—	35	—	—
Древесный уголь	50	—	—	15	—	16,7	50	—	—	35	—	—	—	—	—
Графит	—	15	15	—	—	—	5	—	—	—	15	—	15	—	—
Титановый концентрат	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10	10
Бура плавная	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15	—	15	15	—	15
Медь фосфористая	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15	10	—	—
Карбунд	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	70	55
Ферромарганец	—	—	—	—	—	—	—	80	—	—	—	—	—	—	—
Криолит	—	—	—	—	—	—	15	—	—	—	—	—	—	—	—

П р и м е ч а н и я: 1. Все покрытия изготавливают на жидком стекле.
2. Электродные стержни применяют из проволоки или отлитых в кокль стержней из основного металла.
3. Сварку можно производить на постоянном и переменном токе, но лучшие результаты получают на постоянном токе при обратной полярности.

Основные особенности сварки титана: необходимость надежной защиты зоны сварки от вредного воздействия атмосферного воздуха, защите подлежат не только расплавленный металл, но и участки, нагретые до температуры 500° С, необходимость защиты от действия воздуха обратной стороны шва (корня шва), обеспечение в процессе сварки минимального времени нагрева свариваемых деталей.

Титан и его сплавы можно сваривать аргоно-дуговой сваркой, автоматической под слоем флюса, а также стыковой, точечной и шовной контактной сваркой.

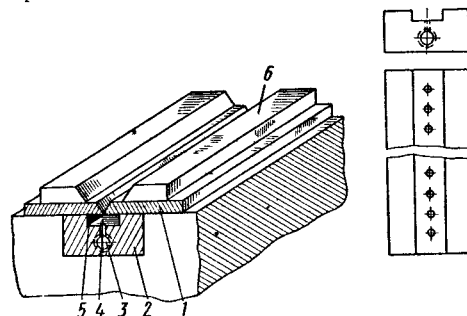


Рис. 173. Схема аргоно-дуговой сварки титана на стальной подкладке с поддувом аргона:

1 — свариваемые листы, 2 — стальная подкладка, 3 — центральный кольцевой канал, 4 — отверстие, 5 — канавка, 6 — прижимы

Аргоно-дуговая сварка. Этот способ сварки является основным при сварке титана и его сплавов. При сварке неплавящимся электродом применяют вольфрамовые прутки (не допускается применение угольных электродов). Аргон должен иметь чистоту не менее 99,7% и совершенно не содержать влаги. В качестве присадочного металла применяют прутки или проволоку из титана и его сплавов. Свариваемые кромки и присадочный металл должны быть очищены от окислов и загрязнений травлением в течение 5 мин в растворе следующего состава:

Соляная кислота, мл	340—350
Азотная кислота, мл	55—60
Фтористый калий, г	50
Вода, мл	600

Для защиты обратной стороны шва наиболее целесообразно применять стальные подкладки с поддувом аргона (рис 173).

Сварку вольфрамовым электродом ведут на постоянном токе обратной полярности. Режимы ручной сварки приведены в табл. 236. При толщине свариваемого металла 0,8—3 мм диаметр присадочной проволоки берут 1—2 мм.

Автоматическую сварку вольфрамовым электродом стыковых соединений с толщиной листов до 6 мм можно выполнять без присадочной проволоки. Листы толщиной до 3 мм сваривают с одной стороны, а тол-

236. Ориентировочные режимы ручной дуговой сварки титана вольфрамовым электродом

Толщина металла, мм	Сила тока, А	Напряжение дуги, В	Диаметр электрода, мм
0,8 1,0 1,2 1,5 2,0 2,5 3,0	40—50 50—60 50—60 70—80 90—100 110—120 120—140	14—18	1,5—2,0
Примечание Диаметр присадочной проволоки 1—2 мм			

щиной 3—6 мм — с двух сторон. Режимы автоматической сварки вольфрамовым электродом стыковых соединений без присадочного металла приведены в табл. 237.

237. Режимы автоматической сварки титана вольфрамовым электродом без присадочного металла (стыковые соединения)

Толщина металла, мм	Сила тока, А	Напряжение дуги, В	Диаметр электрода, мм	Скорость сварки, м/ч
0,8 1,0 1,2 1,5 1,8 2,0 2,5 3,0	45—55 50—60 55—65 70—90 80—100 110—130 150—180 200—220	8—10 10—12 11—13 12—13	1,0—1,5 1,5 1,5—2,0 2,0—2,5 2,5—3,0	18—25 18—22 20—22

Автоматическая сварка под флюсом. Сварку производят на обычных сварочных автоматах с применением флюсов АНТ-1 и АНТ-3. Электродную проволоку берут из технического титана или из его сплавов. Сварку стыковых соединений выполняют на остающейся титановой или медной подкладке, охлаждаемой водой. Режимы сварки стыковых соединений на остающейся подкладке даны в табл. 238

Контактная сварка. Наиболее широко применяют точечную и шовную сварку титана и его сплавов. Режимы точечной и шовной сварки приведены в табл. 239 и 240.

238. Режимы автоматической сварки титана под флюсом (стыковые соединения)

Диаметр электрода, мм	Толщина металла, мм	Напряжение дуги, В	Сила тока, А	Скорость подачи электрода, м/ч	Скорость сварки, м/ч	Размер остающейся подкладки, мм
2	1,5—1,8	30—34	160—180	150	60—55	1,5×12 2,0×15 2,5×18 3,0×20
	2,0—2,5	34—36	190—220	162—175		
	2,8—3,0	34—38	220—250	175—221		
	4,0—4,5	34—38	300—320	221—239		
2,5	2,8—3,0	32—34	230—260	189—204	50	2,8×18 3,0×20
	4,0—5,0	30—32	310—340	139—150		
3	4,0—5,0	30—32	310—340	25—111		3,0×20

239. Режимы контактной точечной сварки листового титана

Толщина металла, мм	Диаметр контактирующей поверхности электрода, мм	Время сварки, с	Усилие на электродах, кгс	Сила тока, А
1+1 1,5+1,5 2+2 2,5+2,5	4—5 4—5 5—6 6—7	0,1—0,2 0,1—0,2 0,3—0,4 0,4—0,5	250—350 350—450 450—550 550—650	6000—10 000

240. Режимы шовной (роликовой) сварки титана

Толщина металла, мм	Ширина ролика, мм	Сила тока, А	Усилие на электродах, кгс	Скорость сварки, м/мин	Ширина шва, мм
0,5—0,5 0,8—0,8 1+1 1,2+1,2 1,5+1,5 2+2	4—5 4—5 5—6 6—7 6—7 7—8	6 000 6 500 7 500 8 500 9 000 11 500	200 250 300 350 400 450	0,65—0,85 0,7—0,8 0,6—0,7 0,55—0,65 0,5—0,6 0,5—0,6	3,5 4 5 5,5 6 7

Термическая обработка. После дуговой сварки изделий из титана для снятия внутренних напряжений рекомендуется производить отжиг не позже чем через 2 ч после окончания сварки. Отжиг сварных изделий из сплавов титана производится при температуре 600—650° С с выдержкой в течение 30—45 мин.

*

СВАРКА НИКЕЛЯ

Технический никель содержит до 1% примесей (железо, углерод, кремний, медь и др.). Никель и его сплавы можно сваривать электродуговым способом и газовой сваркой.

Аргонно-дуговую сварку неплавящимся электродом выполняют на постоянном токе прямой полярности. Чистота аргона должна быть не ниже 99,8%.

Ручную электродуговую сварку производят на постоянном токе обратной полярности. Составы электродных покрытий для ручной сварки даны в табл. 241. Стержень электрода изготавливают из того же металла, что и свариваемые изделия. Отношение массы электродного покрытия к массе стержня составляет 25—30%.

241. Состав электродных покрытий (%) для ручной дуговой сварки никеля и его сплавов

Компоненты	Назначение покрытия		
	Сварка технического никеля марки Н1	Сварка никрома марки ЭИ442	Сварка никелемолибденового сплава марки ЭИ460
Мрамор	40,0	55	55
Плавленый шпат	48,5	30	30
Ферромарганец	3,5	—	—
Ферросилиций	3,0	5	5
Ферротитан	—	5	5
Каолин	—	5	5
Песок кварцевый	3,0	—	—
Сода кальцинированная	2,0	—	—
Натриевое жидкое стекло (к сумме остальных компонентов)	30,0	30	30

242. Состав флюсов для газовой сварки никеля и его сплавов

Компоненты	Состав, %			
	1	2	3	4
Фтористый кальций	—	—	15	—
Гашеная известь	—	—	17	—
Борный ангидрид	—	—	23	—
Натриевое стекло	—	—	45	—
Бура (прокаленная)	30	26	—	50
Борная кислота	50	75	—	50
Углекислый барий	10	—	—	—
Хлористый натрий	10	—	—	—

При малой толщине металла можно применять газовую сварку. Номер наконечника горелки берут из расчета расхода газа 100 л/ч на 1 мм толщины свариваемого металла. Пламя при сварке должно быть с небольшим избытком ацетилена. Составы флюсов для газовой сварки приведены в табл. 242. Флюсы разводят водой и наносят перед сваркой на присадочные прутки и на кромки свариваемых деталей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Багрянский К. В., Кузьмин Г. С. Сварка никеля и его сплавов М., Машгиз, 1963, 164 с.
2. Клячкин Я. Л. Сварка цветных металлов и их сплавов М., «Машиностроение», 1964, 336 с.
3. Пухов Г. А. Сварка легких металлов и их сплавов М., Машгиз, 1959, 176 с.
4. Третьяков Ф. Е. Сварка плавлением титана, циркония, молибдена, тантала и никеля. М., Профтехиздат, 1960, 62 с.
5. Шоршоров М. Х., Назаров Г. В. Сварка титана и его сплавов М., Машгиз, 1959, 136 с.

ГЛАВА 15

НАПЛАВОЧНЫЕ РАБОТЫ

За последние годы созданы новые износостойкие сплавы и наплавочные материалы: порошковая проволока с внутренней защитой, металлокерамическая лента, гранулированные порошки, керамические стержни, порошковые ленты и т. д. Созданы мощности по централизованному производству наплавочных материалов. Однако набор наплавочных материалов по назначению и объемам производства еще далек от требуемых.

Перед наплавкой металлов стоят две основные проблемы: износостойкость наплавленного слоя и производительность технологического процесса.

Среди многочисленных объектов наплавки очень важно выбрать главные, представляющие наибольший интерес для промышленности. Эти объекты можно разделить на две группы:

детали общего назначения, которые характеризуются массой, большой централизованной изготовлением и ремонта, большим потреблением наплавочных материалов и труда, например рабочие органы землеройных и строительных машин, детали ходовой части гусеничных машин, детали подвижного состава и т. п.

детали специального назначения, которые характеризуются специфическими условиями изнашивания, дороговизной изготовления, монтажа и демонтажа, и от долговечности которых зависит работоспособность уникального оборудования, например детали засыпных аппаратов доменных печей, лопатки эксгаустеров, дробящие конуса дробилок, рабочие органы сложных роторных комплексов, драг, гидротурбин и т. п.

КЛАССИФИКАЦИЯ НАПЛАВОЧНЫХ СПЛАВОВ

Наиболее характерные изделия и марки применяемых наплавочных материалов приведены в табл. 243

Состав наплавленного металла, обладающего полным комплектом физико-механических и технологических свойств, выбрать довольно сложно. Намечались две тенденции в выборе наплавочных материалов.

Первая — материалы, имеющие высокие физико-механические свойства, не изменяющиеся при работе или сохраняющие их продолжительное время. К этой группе материалов относятся стали мартенситного, ледебуритного и аустенитного классов, высоколегированные чугуны, сплавы на основе кобальта и никеля.

Вторая — материалы, изменяющие свои свойства при приложении рабочих нагрузок. Это материалы нестабильного, мартенситно-старящего и дисперсионно-твердеющего класса. В результате воздействия рабочих нагрузок в этих материалах протекают фазовые превращения, которые повышают физико-механические характеристики и снижают

243. Характерные наплавляемые изделия и способы наплавки

Детали	Условия работы	Способ наплавки и технологические условия	Марки наплавочных материалов	Твердость HRC
Штампы холодной штамповки (обрезные, вырубные)	Удар при нормальных температурах	Ручная наплавка, полуавтоматическая (предварительный подогрев)	4Х4В3Ф, Р9, 3Х2В8, Р18, 2Х13, 25Х5ФМС	54—56, 48—50
Ножи ножиц для холодной резки металлов	Удар и износ трением при нормальной температуре	Ручная, полуавтоматическая*, автоматическая** (предварительный подогрев)	2Х13, 3Х2В8, 5Х5М3Ф, Х12В1Ф, Р9	62—65, 53—56
Штампы для горячей обработки металлов (обрезные, вырубные)	Удар при высоких температурах	Ручная, полуавтоматическая* (предварительный подогрев)	Х12В1Ф, Р18, Р9, 3Х2В8	56—60
Ножи ножиц для горячей резки металлов	Удар и износ трением при высоких температурах	Ручная, полуавтоматическая*, автоматическая** (предварительный подогрев)	Р18, 3Х2В8, 1В20Со20Т, 1Мо15Со30	56—65
Крестовины рельсов, контррельсов, краповые колеса, скаты вагонеток, бандажи колес подвижного состава, детали ходовой части гусеничных машин	Удар с трением при обычной температуре	Ручная, полуавтоматическая*, автоматическая**	15Г2С, 08Г2С, 15Х2С, 16Г3С, 95Х3, 18ХГС, 30ХГСА, Х18Н9, Х20Н10С, Г14Н4	24—42
Зубья экскаваторов, ножи бульдозеров, билы молотковых дробилок, детали конусных дробилок	Удар с абразивным износом	Ручная, полуавтоматическая*, автоматическая**	Х12В1Ф, У15Х17Н2, Г13Н3, У30Х30Н4С4, У45Х1Г13С4	54—56, 32—42
Крюки землеройных машин, скрепки скреперов, лопасти смесительных машин и вентиляторов, вен-тиля	Сильный абразивный износ и средняя коррозия при обычных температурах или при умеренном нагреве до 500°С	Ручная наплавка, полуавтоматическая*	У45Х1Г13С4, У30Х30Н4С4 Стеллиты и стеллитозаменители Х10В14	48—54 56—60

Продолжение табл. 243

Детали	Условия работы	Способ наплавки и технологические условия	Марки наплавочных материалов	Твердость HRC
Фрезы, резаки, сверла и другой режущий инструмент	Сильное истирание при нормальных и высоких температурах	Ручная, полуавтоматическая, автоматическая, предварительный подогрев до 500—600°С	P18, P8, P6M6, P6M6K5, 1Mo15Co30, 1B20Co30T	65—68
Уплотнительные поверхности арматуры для пара высокого давления, рабочие поверхности вентиля и клапанов, детали газовых турбин	Коррозия и эрозия в сочетании с износом при повышенных температурах	Ручная, дуговая и газопламенная, полуавтоматическая, автоматическая**	1X13, 2X13, 1X17MT, 1X25H4Г, X25H13C2	45—48
Детали, работающие в морской воде (лопасти гребных винтов, валы и др.), детали агрегатов, работающих в агрессивных средах	Коррозия	Ручная, полуавтоматическая*, автоматическая**	Стеллиты и стеллитозаменители X18H9 легированном кремнием, титаном, азотом	28—40
Лопастни и камеры гидротурбин, рабочие колеса гидромашин и насосов, лопасти гребных винтов, диафрагмы и рабочие колеса насосов	Кавитационное воздействие	То же	06X18H9Г, бронзы, латуни, медно-никелевые сплавы	27—30, 80— 140 HB
			30X10Г10, 3X13, X18H9Г, 25X13Г14A2	30—32, 45—48

Продолжение табл. 243

Детали	Условия работы	Способ наплавки и технологические условия	Марки наплавочных материалов	Твердость HRC
Вкладыши и втулки подшипников и подшипников, камни и сухари шпиндельных станин, прокатных станов, клинья правильно-растяжных машин, клинья барабанов моталок, поршни и плунжеры гидросистем	Трение, возможные удары	Ручная, полуавтоматическая*, автоматическая**	Бр. ОФ10-0-2, Бр. ОФН10-0-2-1,5, Бр. ОЦС-6-6-3, Бр. ОЦ-8-12, Бр. АЖМц10-3-1,5, Бр. АМц9-2, латуни, Бр. КМц3-3-1, Бр. ОЦ-4-3	80— 160, HB
Валки натяжных устройств, роликн проводки сверточных машин, роликн транспортеров, детали механизмов задачи листа, шкивы тормозных устройств	Износ, трение, слабые удары при обычных температурах	Ручная, автоматическая наплавка под слоем флюса и в CO ₂	3X2B8, 4X2B3Ф, 5X1B3Ф, 30XГСА, У30X30H4C4, 25X5ФМС, У12X6МФ, 70X6СМ2Г, 65X3B10ГТ	55—58, 32—42, 48—54
Детали кранов металлургического производства (стриперные и копадные краны)	Давление и повышенные температуры	Ручная, полуавтоматическая, автоматическая	У30X30H4C4, 3X2B8, 25X10Г10CГ	50—58
Детали слитковозов, направляющие линейки блюмингов	Удары, трение и повышенные температуры	Ручная, автоматическая**	У30X30H4C4, 3X2B8, X18H9Г, X20H10Г6, X25H13	50—58, 30—35
Плунжеры прессов	Давление, трение в агрессивных средах	Ручная, автоматическая**	1X13, 2X13, 3X13, X18H9, 1X25H13, X20H10Г6	45—48, 30—35

Продолжение табл. 243

Детали	Условия работы	Способ наплавки и технологические условия	Марки наплавочных материалов	Твердость HRC
Детали насыпных аппаратов и распределители шихты	Абразивный износ и удары при повышенных температурах	Ручная, автоматическая*, полуавтоматическая**	У30Х30Н4С4, 3Х2В8, Х10В14, Х12В1Ф, У12Х6МФ, У15Х17Н2, сплавы (карбид хрома + никель), сплавы (карбид вольфрама + марганцевый мелхнор)	56—62 До 72
Рабочие валки горячей прокатки	Износ, контактные усилия, удар при повышенных температурах	Автоматическая**	Х20Н10Г6, 3Х2В8, 4Х3М2Ф, 5Х4В3Ф, У12Х6МФ, У12Х6МФ, 3Х2В4Ф	56—62
Посадочные гнезда подшипников барабанных ножиц для резки проката	Ударно-контактное нагружение	Ручная, полуавтоматическая*	2Х13, 30Х10Г10, Г19Н4, Г13М3	30—39, 34—35

* Наплавляют легированной или порошковой проволокой под слоем флюса или в среде CO₂, а также легированной проволокой под керамическим стержнем.
 ** Наплавляют порошковой или легированной проволокой под слоем флюса или открытой дугой, а также под керамическим флюсом соответствующей проволокой.

Примечания. 1. Приведенные пределы твердости — обобщенные, они могут быть получены после наплавки или соответствующей термобработки.
 2. Ряд деталей, наплавляемых порошковыми проволоками и электродами различных марок, требуют подогрева до 100—600°С, в зависимости от формы, размеров деталей, марок сталей и состава наплавочного материала, применяемых при их изготовлении.

уровень остаточных напряжений, возникающих при наплавке и последующем охлаждении. В таких материалах фазовые превращения возникают, как правило, под действием пластических деформаций, которые в определенный момент нарушают стабильность структуры, вызывая появление новообразований.

В мартенситно-старенных и дисперсионно-твердеющих сплавах процесс новообразований (выделение интерметаллидных фаз и др.) связан с изменением рабочей температуры. Повышение ее до определенных значений вызывает изменения в структуре материала.

Намечается тенденция к созданию композиционных износостойких сплавов, основу которых составляют карбиды тугоплавких металлов, заключенные в связке из никеля, или тройных сплавов, например медь—никель—марганец.

Современная сварочная техника использует для наплавки сплавы весьма разнообразного состава. Они различаются по химическому составу, по назначению и свойствам. Для классификации напавленного металла принята стандартная система маркировки и разбивки на группы по химическому составу, безотносительно к назначению или способу наплавки. Наиболее характерные составы наплавляемых сплавов приведены в табл. 244—256.

244. Низкоуглеродистые и низколегированные стали (менее 5% легирующих примесей)

Марка стали	Средний состав напавленного металла, %				Твердость HB после наплавки
	C	Si	Mn	Cr	
08Г	0,08	0,04	1,0	—	160—200
08ГС	0,08	1,0	1,6	—	170—220
15Г2С	0,15	0,8	1,8	—	180—240
15Г2Х	0,15	0,7	1,7	0,7	200—270
15ХГ2С	0,15	1,2	1,7	0,7	220—300
20Г3	0,20	0,3	3,0	—	280—350
25Х3	0,25	0,8	0,8	3,0	300—380

245. Углеродистые и низколегированные стали

Марка стали	Средний состав напавленного металла, %					Твердость HRC после наплавки
	C	Si	Mn	Cr	Mo	
6Х3	0,60	0,25	0,40	3,0	—	46—55
У10Х3ГМ	1,0	0,25	1,5	3,0	1,0	48—62
У15Т1Р*	1,45	1,15	1,3	—	—	52—55

* Содержит 0,98% Ti и 0,28% В

246. Высокомарганцовистые и высокомарганцевые хромистые стали

Марка стали	Средний состав наплавленного металла, %							Твердость HRC	
	C	Si	Mn	Ni	Mo	P	Ti	после наплавки	после выковки
Г13А	1,0	0,6	13,0	—	—	0,030	—	23—28	45—55
Г13Н4	0,7	0,8	13,5	4,0	—	0,040	—	17—25	45—55
Г13М	0,7	0,8	13,5	—	1,0	0,040	—	17—25	45—55
30Х10Г10	0,3	0,3	10	—	—	—	—	30—32	52—56
25Х10Г10Т	0,25	0,5	10	—	—	—	0,3	30—32	52—56
25Х14Г14А2 *	0,25	0,5	14	—	—	—	—	33—34	52—54

* Содержит 14% Cr и 2% N.

247. Низкоуглеродистые и среднеуглеродистые высокохромистые стали

Марка стали	Средний состав наплавленного металла, %							Твердость HRC после наплавки
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Ti	
1Х13	0,10	0,2	0,4	12,0	—	—	—	32—38
1Х17МТ	0,12	0,4	0,4	17,0	—	1,0	0,2	37—44
1Х25Н4Т	0,12	0,6	1,5	24,0	4	—	0,3	22—25
3Х13	0,25	0,3	0,4	12,0	—	—	—	45—52
4Х5М	0,40	0,2	0,4	5,0	—	1,5	—	42—46
5Х9С3	0,50	3,0	0,4	9,0	—	—	—	53—58
25Х5ФМС *	0,25	1,0	0,5	5,0	—	1,0	—	45—55

* Содержит 1% V.

248. Высокоуглеродистые и высокохромистые стали

Марка стали	Средний состав наплавленного металла, %							
	C	Si	Mn	Cr	Ni	V	Mo	Ti
Х12М	1,6	0,3	0,3	12,0	—	—	0,7	—
Х12Т	1,7	0,4	0,4	12,0	—	—	—	0,2
Х12ВФ *	2,0	0,3	0,4	12,5	—	0,2	—	—
Х15Н2С2	1,8	1,8	0,7	15,0	1,8	—	—	—
Х13Н4	1,9	0,3	0,8	13,0	4,5	—	—	—
У12Х6М3Н3ФВ**	1,2	1,45	1,0	6—7	2—3	1,5	3,5	0,15

* Содержит 1,2% W.
** Содержит 1—2% Nb.

249. Высокохромистые чугуны

Марка сплава	Средний состав наплавленного металла, %							Твердость HRC после наплавки
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	B	
У30Х30Н4С4	2,9	3,5	1,0	28	3,5	—	—	48—54
У45Х30Г6	4,5	1,8	6,0	30	—	—	—	58—63
У45Х17Г13С3	4,2	3,0	12	16	—	—	—	55—58
У35Х25Р	3,6	0,6	1,2	26	—	—	1,5	60—65
У35Х20РТ	3,5	0,6	1,8	21	—	1,5	1,2	56—62
У15Х6МФ*	1,8	1,9	1,2	6	3	—	—	46—48
У30Х30Н4С4Т	2,9	4,2	1,0	28	3,8	0,5	—	52—54

* Содержит 1,5% Mo, 1,32% V и 2,34% Nb

250. Хромоникелевые аустенитные и аустенитно-ферритные стали

Марка стали	Средний состав наплавленного металла, %					
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti
0Х18Н9	0,06	0,7	1,0	18,5	9,0	—
1Х18Н9Т	0,08	0,7	1,0	19,0	9,0	0,2
Х20Н10Г6Т	0,10	0,8	6,0	20,0	10,0	0,3
Х20Н10Г6В *	0,12	0,6	6,0	20,0	9,0	—
20Х25Н16Г6	0,20	0,2	6,0	25,0	16,0	—

* Содержит 1,5% W.

251. Хромовольфрамомолибденовые стали

Марка стали	Средний состав наплавленного металла, %									
	C	Si	Mn	Cr	W	V	Mo	Nb	Ni	Ti
3Х2В8	0,35	0,8	0,9	2,5	8,5	0,3	—	—	—	—
3Х2В4Ф	0,35	0,2	0,4	2,5	4,5	0,6	—	—	—	—
Р18	0,75	0,4	0,4	4,2	18,5	1,2	—	—	—	—
Р6М6	0,85	0,7	0,5	4,0	6,0	1,7	5,0	—	—	—
Р9	0,95	0,4	0,4	4,3	9,0	2,3	—	—	—	—
Р13К3 *	1,0	1,0	0,5	4,5	12,5	2,2	—	—	—	—
Р6М6Т	0,8	0,7	0,5	4,2	6,0	1,5	6,0	—	—	0,12
Х2В17НКМФ	0,39	0,8	0,8	2,4	18,0	1,32	3,06	1,32	1,32	0,15
Х2В10М4Н4Ф	0,42	0,8	0,7	2,4	11,9	1,8	4,6	1,12	4,8	0,10
3Х10Н4В4Ф	0,34	0,7	1,88	8,7	3,8	0,1	—	0,06	3,9	—
65Х3В10ФГТ	0,46	0,7	0,82	3	10—11	0,5	—	—	—	0,2*

* Содержит 3% Co.

252. Сплавы на основе меди

Марка сплава	Средний состав наплавленного металла, %								Твердость HВ после направки
	Al	Fe	Mn	Si	Zn	Pb	Sn	P	
Бр. АЖМц10-3-1,5	10	3	1,5	0,07	—	—	—	—	170—200
Бр. АЖ9-4	9	4	0,3	—	0,01	0,01	—	—	160—180
Бр. ОФ10-0,2	0,01	—	—	—	—	0,01	10	0,2	65—80
Бр. ОФН10-1,5-0,2*	0,01	—	—	—	—	0,01	10	0,2	130—150
Бр. ОФС6-0,4-16	—	—	—	—	—	16,0	6,0	0,40	40—60
Бр. ОЦС6-6-3	—	—	—	—	6	3	6	—	60—70
Бр. ОС8-12	—	—	—	—	0,01	12	8	—	50—60
Бр. ОС8-21	—	—	—	—	0,01	21	8	—	45—55
Бр. ОЦ4-3	—	—	—	—	3	—	4	—	80—100
Бр. КМц3-1,5	—	0,3	1,5	3,4	—	0,01	—	—	80
Бр. АМц9-2	9—11	—	1,8—2	0,4	0,03	—	—	—	100 130— 160

* Содержит 1,5% Ni.

253. Сплавы на основе никеля

Марка сплава	Средний состав никелевого металла, %								Твердость HRC при темпера- туре, °С	
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Fe	V	20	50	
X15H60	0,12	0,7	1,0	15	58	Ос- таль- ное	—	18	—	
X20H80	0,12	0,3	1,0	20	76	То же	—	18	—	
HX10P2	0,45	2,3	—	11	80	3	2,5	35	29	
HX13P3	0,60	4,0	—	13	76	4	3,0	45	42	
HX15P4	0,75	4,5	—	15	70	4,5	3,5	56	48	
XH80CP2	До 0,1	0,8— 1,5	—	15—18	До 80	—	2,0	—	—	

254. Составы на основе кобальта

Марка сплава	Средний состав наплавленного металла, %							Твердость HRC при темпера- туре, °С	
	C	Si	Mn	Cr	Ni	W	Fe	20	650
KB5X30	1,0	—	—	—	—	4,6	—	42	26
KB8X30	1,3	—	—	—	—	8,5	—	47	30
KB12X30	2,4	1,2	1,0	29	2,0	12,5	4	55	36
KB20X30	2,7	—	—	32	—	19,0	—	60	53

Примечание. Остальное (до 100%) — кобальт.

255. Дисперсионно-твердеющие сплавы

Марка сплава	Средний состав наплавленного металла %				Твердость HRC	
	C	Si	Mn	Cr	после на- правки	после старе- ния (отпуск при 600— 650°С)
W20Co20	0,1	0,03	0,5	—	—	—
Mo15Co30	0,15	0,04	0,3	—	—	—
W20Co30	0,1	0,04	0,3	—	—	—
1W20Co20T	1,0	0,16	0,5	—	—	—
1Mo15Co30T	1,0	0,3	0,4	—	—	—
1X30H10Ф5M2 *1	0,7	≤1,0	≤2	—	—	30—32
0H15X9M5TЮ **	≤0,4	—	—	—	—	—
0H13X4M3TЮ **	≤0,4	—	—	—	—	5

Марка сплава	Средний состав наплавленного металла, %				Твердость HRC	
	W	Mo	Co	Ti	после на- правки	после старе- ния (отпуск при 600— 650°С)
W20Co20	20	—	20	0,6	46—49	62—65
Mo15Co30	—	15	30	—	45—48	65—69
W20Co30	20	—	30	0,06	45—44	62—63
1W20Co20T	20	—	20	0,2	49—54	68—70
1Mo15Co30T	—	15	30	0,2	52—54	69—71
1X30H10Ф5M2 *1	5 (V)	1—2	—	—	33—40	55—62
0H15X9M5TЮ**3	—	4—5	8—10	1,5—2*2	25—32	48—55
0H13X4M3TЮ **	—	2—4	—	0,8— 1,2 *2	25—32	48—55

*1 Содержит 5% V

*2 Указано содержание Al + Ti.

*3 Содержит 15—16% Ni.

*4 Содержит 12—13% Ni.

Примечание. Остальное (до 100%) — железо.

256. Твердые сплавы

Наименование сплава	Средний состав твердых сплавов, %					Твердость HRA
	C	W	Mo	Ni	Cr	
Релит	3,3	95	—	—	—	90—92
Вокар	9—10	90	—	—	—	85—90
ВК6	—	94 WC	—	—	6 Co	90—92
Воломит	4	93	2	—	—	90—92
Карбиды хрома	5	—	—	25	70	90—92
Карбиды вольфрама	—	70—85 *	—	—	—	—

* Остальное сплав медь-никель-марганец

РУЧНАЯ НАПЛАВКА

Ручная наплавка может быть выполнена: угольными электродами, газовым плазмением, с применением литых прутков или с вдуванием порошков, в среде защитных газов, (неплавящимся электродом в среде

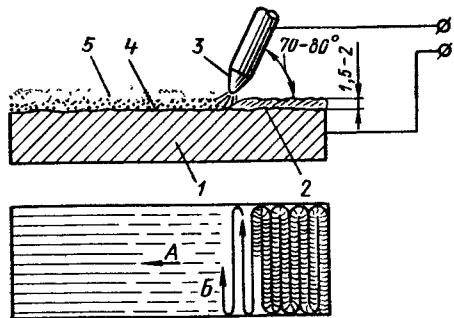


Рис. 174. Схема наплавки порошкообразных смесей угольной дугой:

1 — наплавляемая деталь; 2 — слой наплавленного металла; 3 — угольный электрод; 4 — слой прокаленной буры толщиной 0,2—0,3 мм; 5 — слой порошка твердого сплава толщиной 3—5 мм; А — общее направление наплавки; Б — направление колебательных движений электрода

аргона, плазменной дугой) и электродами с особыми свойствами. Схема ручной наплавки угольными электродами показана на рис. 174.

Наплавку ведут на постоянном или на переменном токе. Примерные режимы наплавки приведены в табл. 257, а аргоно-дуговой сварки и наплавки — в табл. 258.

257. Примерные режимы наплавки порошкообразных смесей угольными и графитовыми электродами (постоянный ток, прямая полярность)

Электроды	Диаметр электрода, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В
Угольные	10	150—200	24—26
	12	200—300	24—26
	14	300—350	25—28
	16	350—400	25—28
	20	400—500	26—30
Графитовые	6	120—150	25
	8	200—250	25
	10	250—300	26

258. Режимы ручной аргоно-дуговой сварки и наплавки

Диаметр присадочной проволоки, мм	Род тока	Сила сварочного тока, А	Скорость, м/ч	Расход аргона, л/мин
1,6	Переменный	35—75	9—20	3—4
1,6—2,0		45—85	9—20	4
1,6	Постоянный прямой полярности	30—60	7—17	3—4
1,6—2,0		40—75	5,5—12	4
1,6	Переменный	40—60	6—8	3—4
1,6		40—60	4—5,5	4

Материал для наплавки	Химический состав, %							Температура плавления, °С	Твердость НВ	Относительная вязкость	Типовые детали, подвергающиеся наплавке
	C	Si	Mn	Cr	Ni	V	Ti				
У30Х28Н4С4 (сормайт-1)	2,5—3,5	2,8—4,2	До 1,5	25—31	3—5	—	—	1275	49—54	2,6	Различные детали с-х. машин
У45Х33Г3Р2С (ФБХ-6-2)	3,5—5,5	1,0—2,5	1,5—4,0	32—37	—	—	—	1330	60—63	5,0	Резьбы скрепных трансфертов
У50Х40Н2С2Г (УС-25)	4,4—5,5	1,8—2,8	До 2,5	38—42	1,0—1,8	—	—	1320	58—64	3,6	Плужные лехи и другие детали с-х. машин
У35Х7Г7 (сталинит)	1,8—5,2	0,4—0,9	4,0—8,0	4,0—10,0	—	—	—	1350	52—60	—	Детали кирочных прессов, ножи бульдозерив
ХТ5У	3,5	4,5	1,5	28	—	1—5	3,2	1350	56—60	—	Опытная партия лап культиваторов
Рл50—У30Х28Н4С4 (ПС-3)								1275	54—63	6,7	Сегменты фуражира ФН-2
ФХ50—У30Х28Н4С4 (ПС-4)								1275	58—64	5,5	Ножи сирпореа СМТ-7А
ФХ60ФТ2—У30Х28Н4С4 (ПС-5)								1275	53—64	5,6	Лапы культиваторов ножи корневески КП-4
ФХ60—У30С2 (ПС-6)								1275	56—63	4,0	Опытная партия плужных лемехов

* При испытании на машине Х4-Б, эталон — сталь 45 отожженная.

Схема газопламенной наплавки показана на рис. 175. Для наплавки применяют присадочные материалы в виде порошков или металлического стержня. Некоторые составы порошковых смесей приведены в табл. 259. Кроме указанных сплавов, для газопламенной наплавки могут быть применены сплавы, указанные в табл. 249, 253, 254, 256.

Наплавку поверхностей с особыми свойствами производят металлическими электродами с качественными и легирующими покрытиями. В отдельных случаях, когда требуются более высокие требования по износостойкости, наплавку металлическими электродами ведут

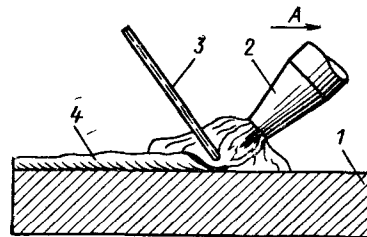


Рис. 175. Схема наплавки газовым пламенем:

1 — наплавляемая деталь; 2 — газовая горелка; 3 — присадочный пруток; 4 — наплавленный слой; А — направление наплавки

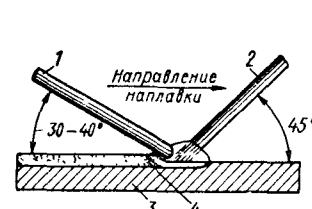


Рис. 176. Схема наплавки специальным металлическим электродом с доп. подпиточной присадкой:

1 — присадочный пруток; 2 — основной электрод; 3 — основной металл; 4 — наплавленный слой

с присадкой. Схема такого процесса показана на рис. 176. В качестве присадки используют трубчатые электроды типа Релит, Вокар и др.

Наплавку плазменной дугой выполняют специальной горелкой (см. гл. 10). Горелку перемещают впереди присадочного прутка (процесс ведется слева направо). Дуга направлена непосредственно на жидкую ванну металла и формирующийся наплавленный металл, чем достигается наилучшая защита металла от воздуха и наиболее медленное охлаждение. За один проход наплавляется валик 0,5—6 мм при минимальной глубине проплавления основного металла 0,2 мм. Ширина валика без поперечных колебаний горелки 8—10 мм, с поперечными колебаниями до 25 мм. Этим способом наплавляют релит, вокар, карбиды хрома и другие сплавы. Процесс ведут при силе тока 90—100 А.

Во всех перечисленных случаях для наплавки применяют оборудование, используемое для производства сварочных работ.

МЕХАНИЗИРОВАННАЯ НАПЛАВКА

Классификация механизированных способов наплавки приведена на рис. 177. Главные особенности этих способов: непрерывность процесса, которую достигают использованием электродной проволоки или ленты в виде больших мотков, подвод тока к электроду на минимальном расстоянии от дуги, что позволяет применять токи большой силы без перегрева электрода, использование специальных устройств для подачи

Практически диапазон диаметров деталей, наплавляемых этим способом 8—200 мм. Вибродуговая наплавка дает возможность получать ровные слои толщиной от нескольких сотых миллиметра до 3 мм за один проход. Рекомендуются следующие диаметры проволоки в зависимости от толщины наплавляемого слоя:

Толщина наплавляемого слоя, мм	До 1	Св. 1 до 2	Св. 2
Диаметр электрода, мм	1,0—1,5	1,5—2,5	2,0—3,0

Ориентировочные режимы вибродуговой наплавки приведены в табл. 260.

260. Ориентировочные режимы вибродуговой наплавки в струе жидкости

Параметры	При низких напряжениях	При напряжениях 15 В и более	Постоянным током от генератора ПС-306 $U_d=20$ В
Диаметр электродной проволоки, мм	1,8—2,2	1,8—2,2	2,0
Скорость подачи проволоки, мм/с	13—17	15—22	16, 20; 22
Сила сварочного тока, А	110—130	150—180	130, 180, 210

Твердость наплавленного слоя зависит от марки электродной проволоки и режимов наплавки.

Вибродуговой наплавкой восстанавливают стальные и чугунные детали, на которые нужно нанести равномерный тонкий слой металла при минимальной их деформации, при этом на поверхности деталей допустимы мелкие дефекты. Наплавлять можно и закаленные детали, причем твердость их снижается незначительно.

При наплавке проволокой Св-08 поверхность легко обрабатывают резанием. Для получения износостойких поверхностей применяют проволоку из сталей 45, 70, 60С2, У7, У8. При использовании такой проволоки поверхность после наплавки обрабатывают только шлифованием.

Преимущества вибродуговой наплавки: незначительные нагрев и деформации детали в процессе наплавки, возможность получить твердую поверхность без термообработки; не требует сложного оборудования, достаточно высокая производительность (табл. 261), позволяет получать равномерные тонкие слои наплавленного металла.

261. Производительность вибродуговой наплавки

Напряжение источника тока, В	Диаметр проволоки, мм	Сила сварочного тока, А	Скорость подачи проволоки, мм/с	Амплитуда вибрации, мм	Производительность наплавки, кг/ч
12—15	1,8—2,2	90—100	13—17	1,3—2,2	0,9—1,1
15—18	2,0—2,5	110—130	15—20	1,5—2,5	1,2—1,3
18—20	2,5—3,0	130—180	16—22	1,6—3,0	1,5—1,5
20—22	2,5—3,0	180—210	16—23	1,6—3,0	1,8—2,2
22—24	3—4	210—240	35	1,6—4,0	3—4

Наплавка открытой дугой порошковой проволокой

Этот способ весьма перспективен при наплавке деталей сложной формы, когда наплавка их под слоем флюса затруднительна.

Наплавку ведут автоматическим и полуавтоматическим способами, при этом дуга горит в атмосфере воздуха и газов, образующихся в процессе плавления электродного материала, в отдельных случаях для получения более высокого качества наплавку производят с дополнительной подачей CO_2

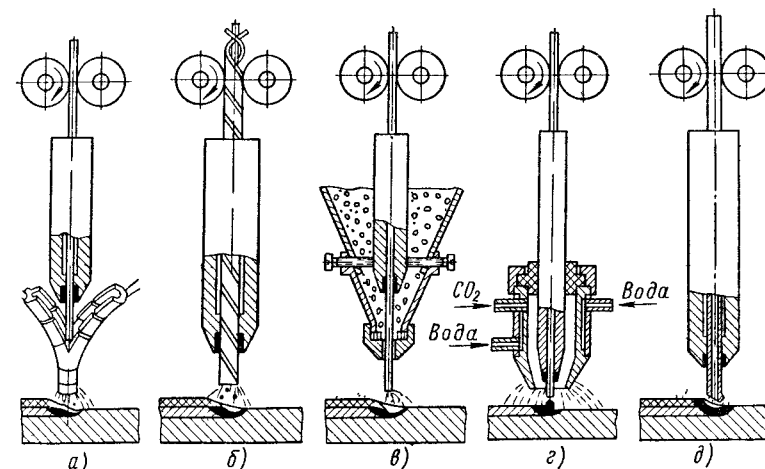


Рис. 178. Разновидности механизированной наплавки открытой дугой: а — голой проволокой с цепочными покрытиями, б — проволокой с армованным покрытием, в — голой проволокой с магнитным покрытием (флюсом), г — газозлектрическая наплавка, д — порошковой проволокой с внутренней защитой

Существует ряд методов наплавки этим способом (рис. 178).

Наиболее совершенный способ механизированной наплавки открытой дугой — наплавка с применением порошковой проволоки, в состав сердечника которой наряду с легирующими компонентами входят газы и шлакообразующие вещества в количестве 10—12% массы проволоки (см рис 178).

При плавлении такой проволоки легирующие элементы шихты и металл оболочки переходят в шов, образуя наплавленный металл. Наплавленный валик покрывается тонким слоем шлака, достаточным для защиты от воздействия воздуха, но не требующим удаления при многослойной наплавке. Порошковые проволоки с внутренней защитой для автоматической и полуавтоматической наплавки изготавливают диаметром 1,6; 2,0; 2,5; 2,8 и 3,0 мм. При этом применяют ту же методику расчета состава и то же самое оборудование, что и при изготовлении порошковых проволок для сварки и наплавки в среде углекислого газа или под слоем флюса.

262. Порошковые проволоки для наплавки открытой дугой

Марка проволоки	Химический состав наплавленного металла, %										Твердость HRC наплавленного металла		Условия работы наплавленных деталей
	C	Cr	Mn	W	Si	Mo	V	Ti	после наплавки	после наклепа			
ПП-3Х4В3Ф-О	0,27— 0,32	4,0— 5,5	0,1— 0,5	3,0— 4,5	0,6	—	0,3— 0,6	—	—	40—46	—	Повышенные температуры и большие ударные нагрузки	
ПП-У15Х12М-О	1,45— 1,70	11,0— 12,5	0,6	—	0,6	0,4— 0,8	—	0,1	—	40—42	50—56	Абразивный износ и ударные нагрузки *1	
ПП-У25Х17Т-О	2,2— 2,6	16,0— 18,0	0,4— 0,6	—	0,4— 0,6	—	—	0,7	—	40—44	50—52	Интенсивный абразивный износ и ударные нагрузки	
ПП-1Х14Т-О	0,15	14,0	0,6	—	0,6	—	—	0,7	—	42—46	—	Уплотнительные поверхности деталей, арматуры, плунжеры насосов и другие детали *2	

Продолжение табл. 262

Марка проволоки	Химический состав наплавленного металла, %										Твердость HRC наплавленного металла		Условия работы наплавленных деталей
	C	Cr	Mn	W	Si	Mo	V	Ti	после наплавки	после наклепа			
ПП-Г13-О	1,0— 1,2	—	12—14	—	0,3	—	—	—	—	200—220**	450—500**	Абразивный износ и сильные ударные нагрузки	
ПП-30Х10Г10-О	0,25— 0,30	9—11	9—11	—	0,35	—	—	0,1— 0,3	—	200—240**	—	Кавитационный износ	
ПП-Р18Г ПП-Р9Т	1,10 1,40	4,30 4,50	0,40 0,40	19,0 10,0	0,40 0,40	—	1,50 2,50	1,50 1,50	—	61—64 61—64	—	Повышенные температуры и большие ударные нагрузки	
ПП-3Х2В8ГТ ПП-Х12ВФТ	0,65 2,50	3,0 15,0	1,20 0,70	10,0 1,3	0,35 0,60	—	0,50 1,0	1,20 1,40	—	40—44 40—44	—	Повышенные температуры и большие ударные нагрузки	

*1 Штамп перед наплавкой нагревают.

*2 Деталь перед наплавкой нагревают.

*3 Твердость HB.

Примечание. Буква О в обозначении марки порошковой проволоки указывает, что данная порошковая проволока предназначена для наплавки открытой дугой.

Назначение порошковых проволок некоторых марок, а также химический состав и свойства наплавленного ими металла приведены в табл. 262.

Для наплавки порошковой проволокой с внутренней защитой можно использовать большинство автоматов и полуавтоматов, предназначенных для сварки и наплавки сплошными электродными проволоками под флюсы или в среде защитных газов.

Для питания сварочным током используют источники с жесткой внешней характеристикой. Наиболее хорошо зарекомендовал себя преобразователь ПСГ-500 и выпрямители ВС-400 и ВС-600. Ориентировочные режимы наплавки открытой дугой приведены в табл. 263.

263. Примерные режимы наплавки открытой дугой

Диаметр проволоки, мм	Сила тока, А	Напряжение на дуге, В	Скорость наплавки, м/ч	Шаг наплавки, мм
<i>Наплавка прессового инструмента порошковой проволокой</i>				
2,0—2,5	250—280	21—22	16—20	6—7 *
2,8—3,0	340—360	22—23	25—30	6—7 *
<i>Наплавка стали типа Г13</i>				
2,5	150—250	18—23	10—15	5
2,8	220—350	20—25	15—20	5
3,0	300—500	22—28	25—30	6
<i>Наплавка штампов</i>				
2,0	240—250	26—28	16—20	4
2; 2,5; 2,8	280—300	26—28	25—30	4—6
2,8; 3,0	380—400	26—28	40—55	5—6
<i>Наплавка кавитационно-стойкого сплава</i>				
2,0	160—190	21—23	10—14	3
2,5	180—220	22—24	15—18	4
3,0	220—250	24—26	20—25	5

* В мм/об

Электрошлаковая наплавка

Для изготовления биметаллических деталей и наплавки износостойких поверхностей на детали можно применять также электрошлаковую наплавку.

Этот способ наиболее производительный по сравнению со всеми другими (коэффициент наплавки 18—30 г/А·ч).

Этим способом можно получить наплавленный слой любого заданного химического состава на плоских деталях и телах вращения.

Электрошлаковую наплавку обычно выполняют при вертикальном положении детали с принудительным формированием поверхности различными водоохлаждаемыми формами (медными, керамическими, графитовыми), охватывающими всю наплаваемую поверхность или перемещающимися вдоль детали по мере наплавки (ползуны).

Начинают наплавку, а также заканчивают на специальных технологических планках, которые затем удаляют с детали. Аппараты для электрошлаковой сварки и наплавки приведены в гл. 7. (см. табл. 92).

При электрошлаковой наплавке в качестве присадочного материала возможно применение сварочных проволок (одной или нескольких), которые, кроме подачи их в ванну, могут получать возвратно-поступательное движение, а также электродных лент, пластин или стержней большого сечения. Размеры электродов, их форму и количество выбирают исходя из размеров и формы наплаваемой поверхности.

Для износостойкой наплавки применяют, как правило, высоколегированные проволоки. Наплавленный металл можно легировать порошковой проволокой.

При электрошлаковых процессах применяют флюсы АН-8, АН-22, АНФ-1 (см. гл. 6, табл. 46, 47). Для электрошлаковой наплавки износостойких сталей с малой величиной зазора наиболее пригоден флюс АН-22.

Наплавку тел вращения выполнить сложнее. Однако возможна наплавка как наружных, так и внутренних цилиндрических поверхностей. Глубина проплавления зависит от скорости вращения. Примерные режимы электрошлаковой наплавки износостойкими сплавами плоских, цилиндрических и конических поверхностей приведены в табл. 264.

264. Ориентировочные режимы электрошлаковой наплавки некоторых износостойких сплавов

Параметры	Наплаваемые поверхности, метод наплавки		
	Плоские и цилиндрические, электродной проволокой	Плоские, пластинчатыми электродами	Конические*, порошковой проволокой
Толщина слоя, мм Диаметр электрода, мм	12—15 2,5—3,0	12—15 Ширина до 300 мм, толщина 6—10 мм	16 2,8
Количество электродов	Одна электродная проволока на 45—60 мм ширины слоя или длины окружности, без поперечных колебаний	По ширине наплаваемого слоя	Начало — одна электродная проволока, установившийся режим — три электродных проволоки и вращение заготовки 2 об/мин
Марка электродного материала Сила сварочного тока, А	Соответствует химическому составу наплаваемого сплава		
Напряжение при сварке, В	100—600 на один электрод	Плотность тока 0,6—2,0 А/мм ²	200—280 на один электрод
Глубина шлаковой ванны, мм	36—45	30—36	32—34
Сухой вылет, мм	30—45	30	30—45
Тип наплаваемого износостойкого сплава	60—80 X12, P18, P9	30 X18N9T	40—50 X12ВФ
Марка флюса	АН-8, АН-22	АНФ-1	АН-22

* Максимальный диаметр 170 мм, длина 150 мм.

При электрошлаковой наплавке вместо электродной проволоки можно применять электроды большого сечения, которые значительно дешевле.

Таковыми электродами особенно удобно устанавливать размеры и повышать износостойкость деталей с торцовой рабочей поверхностью (рис. 179).

Основные преимущества электрошлаковой наплавки (ЭШН) были реализованы в способе кольцевой электрошлаковой наплавки цилиндрических деталей в вертикальном положении электродом-трубой, разработанным в институте электросварки им. Е. О. Патона.

Этот способ позволяет наплавлять на конструкционную сталь такие стали, как P18, X12, 90X2, хромоникелевые, высокованадиевые и др.

В ряде случаев целесообразна горизонтальная электрошлаковая наплавка, например, при наплавке бил размольного дробильного оборудования сплавами типа сталлит.

Сущность способа заключается в следующем: в слое легирующей шихты, под прикрытой флюсом, движется многоэлектродный наплавочный автомат, мундштук которого с трех сторон ограждают охлаждающую коробку, позволяющую поднимать уровень расплавленного шлака и перемещать его над слоем легирующей шихты.

При этом толщина слоя наплавки при ширине более 50 мм достигает 60 мм, а при меньшей ширине 40 мм.

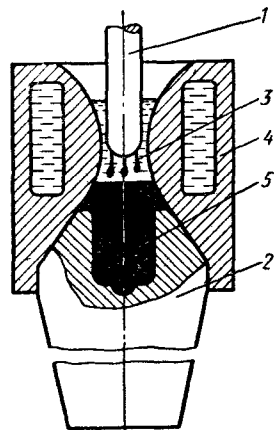


Рис. 179. Схема процесса электрошлаковой наплавки электродом большого диаметра:

1 — электрод; 2 — заготовка; 3 — шлаковая ванна; 4 — мундштук; 5 — наплавленный металл

Газопламенная наплавка

Для механизации и автоматизации газокислородной наплавки твердыми сплавами поверхностей вращения (втулок, осей, валов, клапанов и т. п.) ВНИИавтогенмаш разработано несколько типов наплавочных станков.

Специальные способы наплавки

Наряду с перечисленными способами наплавки в производственной практике применяют ряд специальных способов:

наплавку плавящимся электродом сплавов на основе меди в среде защитных газов;

наплавку плазменной дугой с дополнительной присадкой проволоки, схема процесса наплавки этим способом показана на рис. 180;

наплавку под керамическим стержнем. Суть способа заключается в следующем: в зону горения дуги механизмом подается проволока, на которую опирается керамический стержень, по мере оплавления он

под собственным весом, либо под действием встроенного в держатель вибратора подается в зону горения дуги. Состав применяемой проволоки может быть различным. В состав стержня входят стабилизирующие, газообразующие, шлакообразующие и легирующие элементы. Этим способом можно наплавлять металл любого состава, в том числе и высоколегированные чугуны. Наплавку, выполняют при горизонтальном положении наплавляемой детали.

Техника механизированной наплавки

Качество формирования наплавленного слоя, его химический состав и структура в основном зависят от режима наплавки. Влияние режима наплавки, показано на рис. 181—183.

Выбор правильных термических условий (температура предварительного подогрева, температура процесса и скорость охлаждения) весьма важен для предупреждения образования трещин. Детали перед наплавкой подогревают в электрических или пламенных печах, газовыми горелками, током промышленной или высокой частоты. В печах осуществляют, как правило, общий предварительный подогрев. Схемы газопламенного нагрева показаны на рис. 184 и 185.

Чем больше склонность наплавленного металла к образованию трещин, тем выше должна быть температура подогрева и тем меньше должна быть скорость охлаждения детали. Так, для наплавки стали

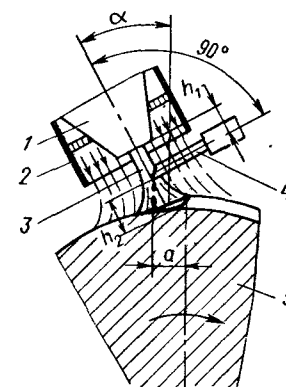


Рис. 180. Схема процесса газопламенной наплавки:

1 — канал-сопло; 2 — защитное сопло; 3 — плазменный факел; 4 — присадочная проволока; 5 — изделие; а — смещение горелки с оси; α — угол наклона горелки

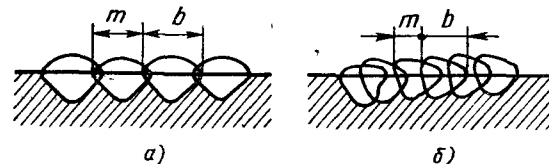


Рис. 181. Влияние шага наплавки на долю основного металла в составе наплавленного слоя:

а — доля основного металла в шве $m \approx b \approx 0,65\%$;
б — доля основного металла в шве $m \approx 0,5b \approx 0,45\%$;
m — шаг наплавки; b — ширина валика

3Х2В8 температура подогрева 350—400° С, а скорость охлаждения должна быть не выше 15—25° С/с, для сплава сормайт-1 соответственно 540—600° С и 1,5—2,0° С/с.

В отдельных случаях, при наплавке высоколегированных сплавов, возможно отказаться от общего предварительного подогрева деталей.

В этом случае процесс наплавки проводят с применением местных источников сопутствующего и последующего подогрева.

Схема такого процесса с использованием в качестве источников нагрева щелевых закалочных горелок показана на рис. 186. Проведен

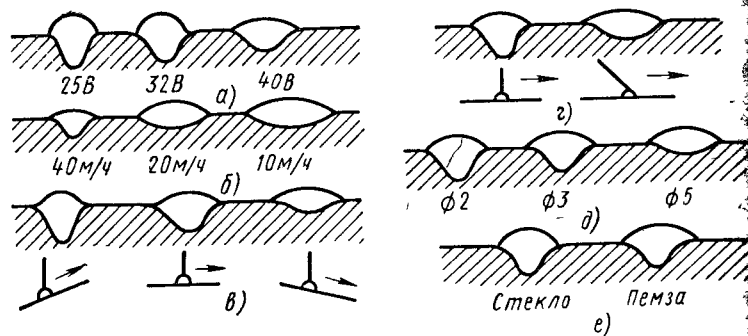


Рис. 182. Изменение доли участия основного металла в наплавленном в зависимости от параметров режима:

a — от напряжения дуги; *б* — от скорости наплавки; *в* — от наклона изделия; *г* — от наклона электрода; *д* — от диаметра электрода; *е* — от типа флюса.

процесса наплавки по этой схеме обеспечивает выполнение граничных условий качественной наплавки высоколегированных сплавов, т. е. создает условия предварительного подогрева до температуры 600°C и скорости последующего охлаждения, не превышающих 2°C/s .

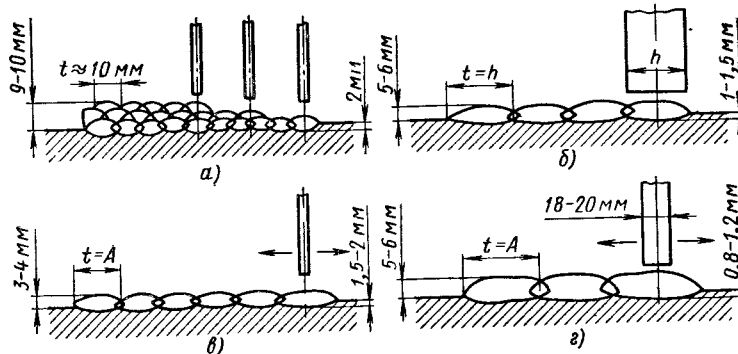


Рис. 183. Изменение доли участия основного металла в наплавленном при применении:

a — проволочного электрода; *б* — широкой ленты; *в* — поперечных колебаний электрода; *г* — поперечных колебаний узкой ленты; *A* — амплитуда колебаний

При наплавке сплавов, допускающих большие скорости охлаждения, возможно применение процессов наплавки широкими кольцами (с поперечными колебаниями электрода) под слоем флюса, либо с поперечными колебаниями при наплавке порошковой лентой открытой дугой.

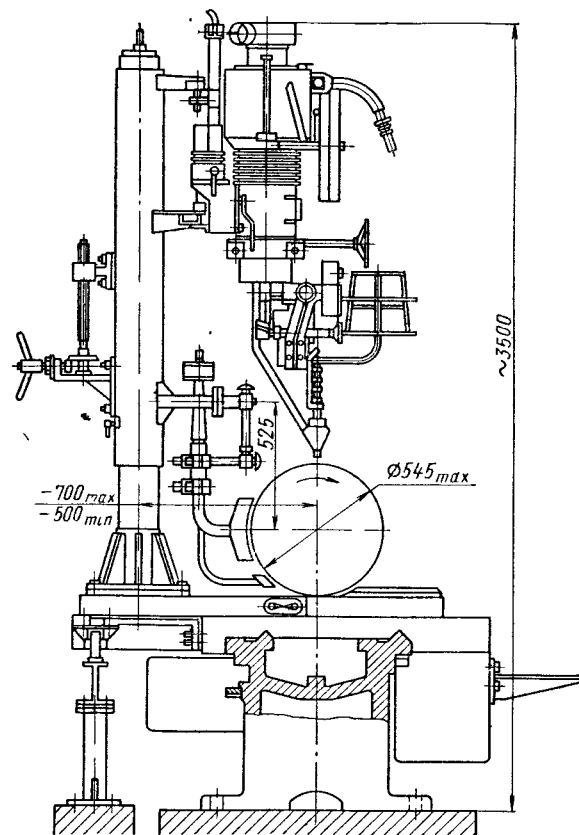


Рис. 184. Схема газового подогрева цилиндрических деталей

Скорость охлаждения в большинстве случаев находится в пределах $10-30^{\circ}\text{C/s}$. При такой скорости охлаждения наплавленный слой охлаждается одновременно с изделием, что предотвращает появление в отдельных случаях трещин. Крупные изделия после окончания наплавки подгревают и затем охлаждают с вешью или в сухом песке, асбестовой муке или утепленном коробе.

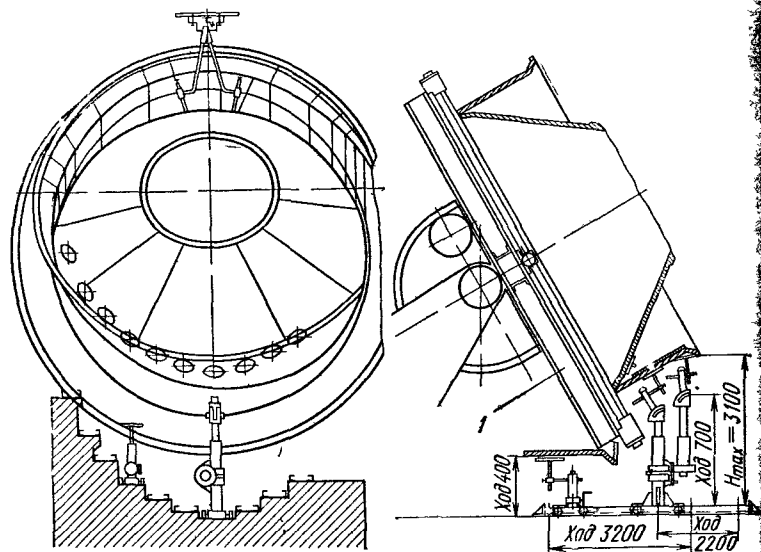


Рис. 185. Схема газового подогрева конических деталей:
1 — манипулятор с плашайбой

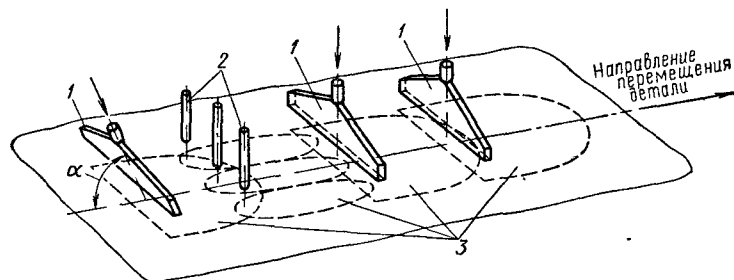


Рис. 186. Схема процесса наплавки твердых сплавов с использованием системы горелка—дуга—горелка:
1 — горелка, 2 — дуга; 3 — изотермы на поверхности наплавляемой детали

Наплавка тел вращения. Схема ручной наплавки цилиндрических деталей показана на рис. 187, а механизированной — на рис. 188

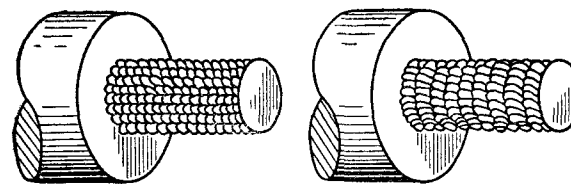


Рис. 187. Схема ручной наплавки цилиндрических изделий

Скорость подачи проволоки, а следовательно, и силу сварочного тока выбирают в зависимости от диаметра и формы изделия, подлежащего наплавке.

Рекомендуемый режим наплавки под флюсом цилиндрических деталей малого диаметра приведен в табл. 265, а большого диаметра —

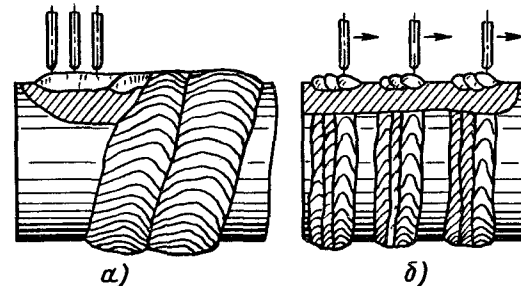


Рис. 188. Способы наплавки цилиндрических деталей:
а — трехэлектродная наплавка с общей ванной, б — многодуговая наплавка

в табл. 266 Наплавку цилиндрических деталей производят на специальных наплавочных установках или на приспособленных для этой цели токарных станках.

265. Режим наплавки цилиндрических деталей малого диаметра

Диаметр детали, мм	Диаметр электродной проволоки мм	Сила тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость наплавки, м/ч
200	2,0	220—260	27—30	28—32
160		200—240		24—28
120	1,6	170—200	26—29	20—24
90		150—180		16—20
60		110—130		14—18

286. Ориентировочные режимы автоматической наплавки под флюсом

Тип электродного материала	Диаметр проволоки и размер ленты, мм	Сила 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	
Проволока порошковая	2,0	150—250	26—30	20—50
	2,5	180—300	28—34	
	3,0	200—400	30—38	
	3,6	240—450	34—40	
Лента электродная сплошная	60×0,5	500—800	24—28	10—20
	100×0,5	800—1000	30—34	
Лента порошковая (открытая дуга)	17×4 18×3	650—700	30—32	40—60

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ НАПЛАВКИ

Легирование наплавленного металла. При наплавке под флюсом существует несколько методов получения легированного металла заданного химического состава, обладающего требуемым комплексом свойств (рис. 189).

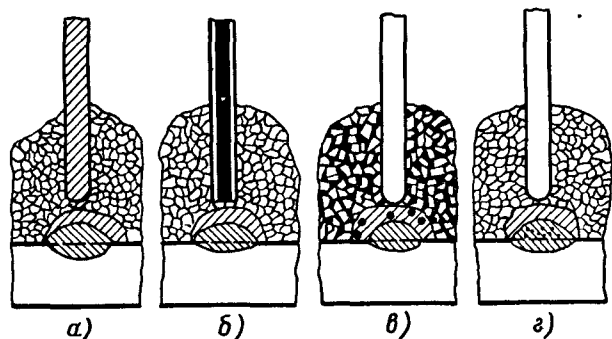


Рис. 189. Способы легирования при наплавке под флюсом: а — легированная проволока; б — порошковая или составная проволока; в — легирующий флюс; г — нанесение примесей на наплавляемую поверхность

Кроме приведенных способов, металл можно легировать укладкой на поверхность изделия легированного присадочного прутка, насыпкой порошка, нанесением паст.

Кроме этого, процесс наплавки можно вести по слою легированной шихты, которая через специальные дозаторы подается впереди дуги. Для этих целей разработана специальная аппаратура, подробную характеристику которой можно найти в соответствующих каталогах по сварочному оборудованию.

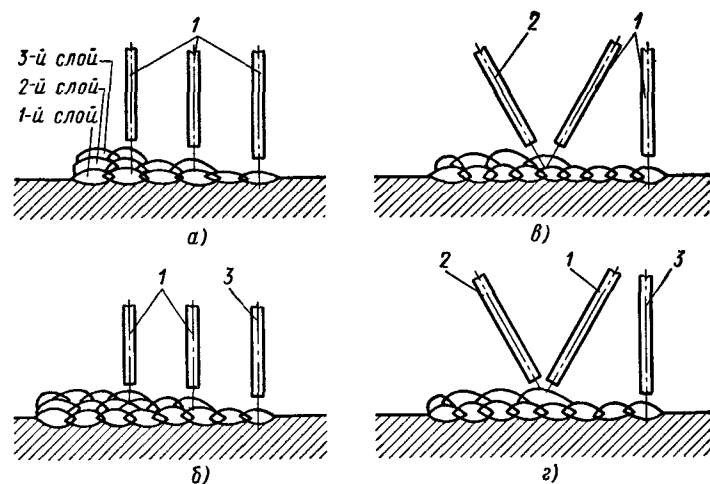


Рис. 190. Схема проведения процесса наплавки с различной комбинацией электродных проволок:

а — легированные проволоки; б — с дополнительной присадкой карбидов; в — наплавка по подслою; г — наплавка по подслою с дополнительной присадкой карбидов; 1 — легированная проволока; 2 — карбиды; 3 — аустенитная или малоуглеродистая проволока

На рис. 190 показана несколько иная схема проведения процесса, которая позволяет в широких пределах изменять состав наплавляемого металла, производить наплавку высоколегированных материалов на малоуглеродистый и аустенитный подслою с дополнительной присадкой специальных карбидов.

Диапазоны режимов, при которых состав наплавленного металла отклоняется от среднего на $\pm 10\%$ для способов, показанных на рис. 189, даны на графике рис. 191. Два способа (см. рис. 189, а и б) обеспечивают наиболее широкий диапазон рабочих режимов (рис. 191, а и б), поэтому случайные колебания силы тока и напряжения дуги, неизбежные при наплавке в производственных условиях, несущественно влияют на химический состав наплавленного металла.

Способ, показанный на рис. 189, в, обеспечивает узкий диапазон допустимых режимов. Случайные отклонения от заданного состава здесь более вероятней, чем при использовании легирующей проволоки.

Наплавка по слою легирующих примесей (см. рис. 189, г) позволяет получить заданный состав только в весьма узком диапазоне режимов. Небольшие отклонения силы тока и напряжения от требуемых неизбежно приводят к недопустимым отклонениям состава наплавленного металла.

Электродная проволока. Во многих случаях для наплавки можно успешно применять стандартную проволоку, выпускаемую по ГОСТ 2246—70* и 10543—63.

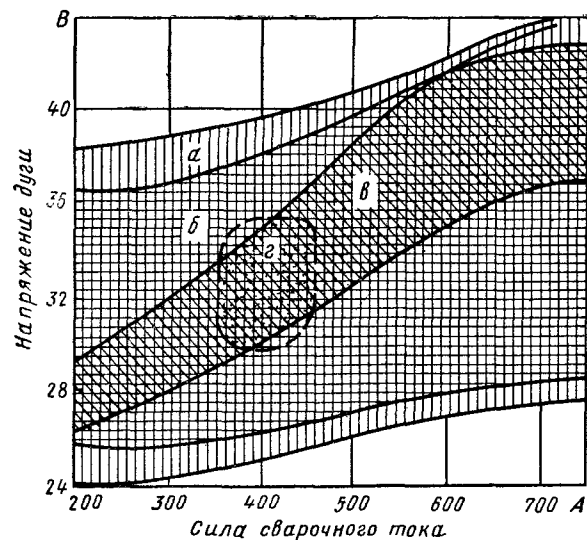


Рис. 191. Диапазон режимов, при которых состав наплавленного металла отклоняется в пределах $\pm 10\%$ от номинального состава:

а — наплавка легированной проволокой; б — наплавка порошковой проволокой, в — наплавка под легирующим флюсом, г — наплавка по слою легирующих примесей

Кроме сварочной проволоки, для наплавки можно использовать высококачественную углеродистую проволоку марок ВС и ОВС (ГОСТ 9389—60*), предназначенную для изготовления пружин, а также проволоку из сталей марок, приведенных в табл. 267.

Электродная лента. Для наплавки обычно применяют стальную холоднокатаную обрезающую ленту нормальной точности, изготовленную из конструкционной стали по ГОСТ 2284—69*, из инструментальной и пружинной стали по ГОСТ 2283—69***, из нержавеющей стали по ГОСТ 4986—70 и из жаростойких сплавов по ГОСТ 12766—67*. Для наплавки обычно используют ленту толщиной 0,4—1,0 мм и шириной 20—100 мм, в зависимости от размера наплавляемых деталей (ширина

267 Химический состав сталей для изготовления электродной проволоки для наплавки

Марка стали	Содержание элементов, %							ГОСТ или ТУ	
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Прочие элементы	S		P
30XГСА	0,28—0,35	0,8—1,20	0,9—1,20	0,8—1,10	0,40	—	0,030	0,030	4543—71
1X13	0,09—0,15	0,60	0,60	12,0—14,0	0,60	—	0,030	0,035	
2X13	0,13—0,23	0,60	0,60	12,0—14,0	0,60	—	0,030	0,035	
3X13	0,25—0,34	0,60	0,50	12,0—14,0	0,60	—	0,030	0,035	18143—72
X15H60	0,15	1,5	1,0	15,6—18,0	55,0—61,0	—	0,025	0,030	
X20H80	0,15	1,5	0,5	20,0—23,0	75,0—78,0	—	0,025	0,030	12766—67*
X20H80T	0,12	0,7	0,8	19,0—23,0	75,0	0,40 Ti	0,015	0,020	
65Г	0,60—0,70	0,9—1,20	0,17—0,37	0,30	0,30	—	0,030	0,035	9389—60*
60X3B10Ф	0,55—0,65	1,3—1,8	0,4—0,7	2,6—3,1	0,30	9,0—10,5 W, 0,3—0,5 V	0,040	0,40	10543—63

Примечание. Химический состав сварочной проволоки по ГОСТ 2246—70* приведен в табл. 32 (гл. 5).

наплавленного валика примерно равна ширине ленты) и наименьшей допустимой плотности тока. При заниженной плотности тока процесс наплавки будет неустойчив.

Ленту поставляют в рулонах.

Кроме катаной, для наплавки используют также ленту, изготовленную бесслитковой прокаткой жидкого металла и металлокерамическую.

Порошковая проволока. Вместо сплошной проволоки сложного химического состава применяют порошковую, изготовленную из низкоуглеродистой стальной ленты, свернутой в трубку, внутрь которой

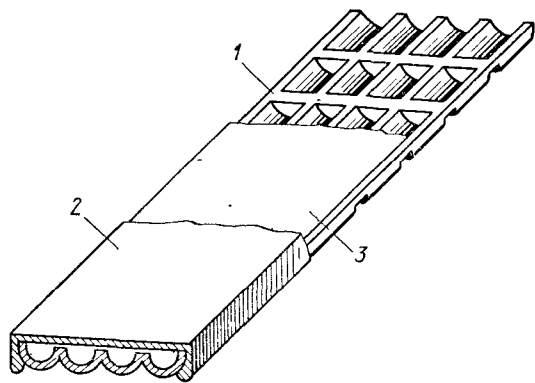


Рис. 192. Конструкция порошковой ленты

помещают шихту — порошкообразный сердечник, состоящий из смеси ферросплавов, железного порошка, графита и некоторых других компонентов.

Обычно применяют ленту размерами 15×0,8; 15×0,5; 18×0,5; 18×0,8; 12×0,6; 10×0,6; 9×0,4 мм. Для расчета состава шихты порошковых проволок следует пользоваться существующими и хорошо зарекомендовавшими себя методиками, разработанными институтом электросварки им. Е. О. Патона АН УССР и кафедрой сварки Уральского политехнического института им. С. М. Кирова.

Химический состав наплавленного металла зависит от состава шихты и от соотношения количества шихты и ленты в проволоке. Составы некоторых порошковых проволок приведены в табл. 268

Порошковая электродная лента. Для широкослойной наплавки все большее применение находит порошковая электродная лента (рис. 192), состоящая из двух тонких (0,3—0,5 мм) стальных (марки 08кп) лент 1 и 2 и засыпанной между ними шихты 3.

Шихту для ленты получают так же, как и для порошковой проволоки. Изготавливают порошковую ленту на специальных станках.

Флюсы для наплавки. Химический состав наиболее распространенных плавленых флюсов приведен в табл. 46 и 47 гл. 6.

Состав легирующих керамических флюсов приведен в табл. 269.

268. Рекомендуемые расчетные составы (%) порошковой проволоки

Марка проволоки	C	Si	Mn	Cr	Ni	V	Ti	Mo	W	S	P	Na ₂ SiF ₆	Марка флюса
<i>Для наплавки под флюсом</i>													
ПП-3Х2В8	0,6	0,30	1,45	2,8	—	0,30	—	—	9,75	—	—	2,0	АН-20
ПП-Х12ВФ	2,4	0,4	0,6	15,0	—	0,30	—	—	1,30	—	—	2,8	АН-30
ПП-У15Х17Н2	2,0	0,7	0,8	20,0	2,0	—	—	—	—	0,04	0,04	3,0	АН-20
ПП-Х10В14	4,0	0,4	0,4	10,0	—	—	—	—	14,5	0,04	—	3,0	АН-20
ПП-Р18	1,1	0,4	0,4	4,3	—	1,5	—	—	19,0	—	0,027	4,0	48-ОФ-6
ПП-Г13А	1,2	0,5	15,3	—	—	—	—	—	—	—	0,04	2,0	АН-16
ПП-У12Х6М2Ф2	1,7	2,0	1,2	8	3	1,4	—	1,6	—	—	—	—	АН-20; АН-30
<i>Для наплавки в углекислом газе</i>													
ПП-4Х2В8Г	0,50	0,30	1,0	3,0	—	0,35	1,0	—	10,0	—	0,04	0,8	—
ПП-У45Х25Г6Т	5,3	0,90	7,0	25,0	—	1,0	1,0	—	—	—	0,05	—	—
ПП-Р18Т	1,3	0,5	0,4	4,7	—	1,4	1,0	—	20,0	0,04	0,04	0,4	—
ПП-Х12ВФТ	2,5	0,6	0,4	15,0	—	1,0	1,0	—	1,3	—	—	0,5	—
ПП-И2	0,4	0,4	0,5	15,0	—	0,5	1,0	—	—	0,03	0,03	—	—
ПП-30Х10Г10Г	0,30	0,35	14	13	—	—	1,2	—	—	—	—	—	—

269. Состав легирующих керамических флюсов %

Компоненты	КС-Х12Г	КС-Х12М	КС-Х14Р	КС-3Х2В8	КС-Р18Р	КС-Р9Р
Мел	4,0—43,0	38,0—42,0	37,0—40,0	40,0—43,0	25,0—28,0	31,5—33,5
Фтористый кальций	5,0—6,0	5,0—6,0	8,0—10,0	8,0—9,5	8,5—9,0	8,0—10,0
Диоксид титана	5,0—6,0	5,0—6,0	—	13,5—13,5	8,5—9,8	8,0—9,0
Кремнезем	8,6—10,0	8,6—10,0	8,6—10,0	3,0—5,0	3,0—5,0	4,0—5,5
Оксид магния	—	—	12,0—14,0	—	—	—
Оксид натрия	1,5—1,7	1,5—1,7	1,5—1,7	1,5—2,0	1,5—2,0	1,4—1,6
Углерод	2,3—3,0	2,0—2,4	2,0—2,3	0,4—0,55	1,5—1,4	1,5—1,8
Кремний	0,7	0,7	2,1—2,4	2,0—2,5	0,7	0,7
Марганец	16,5—18,0	16,5—18,0	17,0—18,5	3,0—3,6	4,9—6,2	4,9—6,2
Вольфрам	—	—	—	10,0—12,0	20,0—22,5	13,0—15,0
Ванадий	—	—	—	0,4—0,7	2,2—3,0	4,0—5,5
Молибден	—	0,8—1,4	—	—	—	—
Алюминий	0,7—1,1	0,7—1,1	—	0,2—0,3	0,6—0,9	0,6—0,9
Титан	3,5—4,0	3,5—4,0	—	1,0—1,5	0,7—1,0	0,7—1,0
Сера	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15	0,15
Фосфор	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15	0,15
Карбид бора	—	—	2,8—3,0	—	0,7—0,8	0,3—0,4
Железо (из ферросплавов)	14,0—19,0	14,0—19,0	7,0—10,0	10,0—14,0	17,5—19,0	17,0—20,0

ДЕФЕКТЫ НАПЛАВКИ

Основные дефекты наплавки: трещины в наплавленном слое и в зоне сплавления с основным металлом детали, поры и раковины, шлаковые включения, несплавления слоя с основным металлом детали, подрезы и др.

Дефекты могут быть внешними, выходящими на поверхность наплавки, и внутренними, располагающимися внутри наплавленного слоя. Внешние дефекты обнаружить сравнительно легко путем осмотра наплавки, с помощью магнитной дефектоскопии и пр. Обнаружение внутренних дефектов представляет сложную и не всегда надежно разрешимую задачу. В этом случае пользуются методом контроля: просвечиванием рентгеновскими или гамма-лучами, методом магнитной и ультразвуковой дефектоскопии, металлографическими исследованиями макро- и микрошлифов и др.

Трещины являются наиболее опасным дефектом наплавки, так как под воздействием быстроизменяющихся нагрузок или тепловых колебаний они могут развиваться, т. е. увеличиваться в размерах, что может привести к преждевременному выходу детали из строя. Поэтому контролю на обнаружение трещин необходимо уделять весьма серьезное внимание.

Возникновение трещин зависит от содержания углерода и серы в наплавленном металле, от недостаточного предварительного подогрева детали при наплавке, жесткости изделия и пр. Холодные трещины могут возникнуть при отсутствии замедленного охлаждения детали после наплавки.

Более подробно причины образования трещин и меры, предупреждающие их образование, рассмотрены в гл. 2.

Поры могут образовываться при использовании влажного или отсыревшего флюса, при наличии ржавчины на наплавляемых поверхностях, при недостаточном слое флюса и пр. Поры появляются при наплавке по металлу, ранее наплавленному электродами с меловой обмазкой, который содержит повышенное количество азота.

Поры являются менее опасным дефектом, чем трещины, но их наличие снижает износостойкость и прочность наплавленного металла.

Шлаковые включения чаще наблюдаются при многослойной наплавке. Они являются результатом наплавки по неудаленной или плохо удаленной шлаковой корке с предыдущих слоев. При этом шлак не успевает расплавиться и всплыть на поверхность металла, вследствие чего остается в металле в виде шлаковых включений.

Несплавления наплавленного металла с основным металлом детали могут образоваться при несоответствии выбранной скорости наплавки, неправильной установке электрода, загрязнении наплавляемых поверхностей, нарушении режима наплавки и пр. Наличие этих дефектов может привести к отколу наплавленного слоя в процессе работы восстановленной детали.

Часто наплавленные детали устанавливают на машины без последующей механической обработки (ножи бульдозеров, опорные катки тракторов и др.). В этом случае важным требованием является гладкая поверхность наплавленного слоя. Причиной наплывов и углублений в наплавленном слое является нарушение режима наплавки — силы тока, напряжения дуги, скорости наплавки, смещения электрода с зе-

нита при наплавке цилиндрических деталей, величины вылета электрода и пр.

Причиной поверхностных дефектов наплавленного слоя может явиться и плохая устойчивость дуги.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Наплавка металлов. М., «Машиностроение», 1964, с. 5—75. Авт.: Кочев Г. Н., Миличенко С. Л., Ильин В. П., Кулишенко Б. А.
2. Разиков М. И. Автоматическая наплавка в среде углекислого газа М., Машгиз, 1962, с. 5—112.
3. Разиков М. И., Толстов И. А. Справочник мастера наплавочного участка. М., «Машиностроение», 1966, с. 3—84.
4. Современные методы наплавки и износостойкие наплавочные материалы. Материалы научно-технической конференции. Харьков, Дом техники НТО, 1970, с. 7—161.
5. Степанов Б. В. Наплавка быстрознашивающихся деталей с дополнительной присадкой карбидов. — «Сварочное производство», 1963, № 3, с. 30—32.
6. Степанов Б. В. Новые марки порошковой проволоки для износостойкой наплавки. В кн.: Производство крупных машин. М., «Машиностроение», 1964, с. 80—91.
7. Степанов Б. В. Порошковые проволоки для износостойкой наплавки. — «Сварочное производство», 1965, № 6, с. 17—19.
8. Степанов Б. В., Куруклис Г. Л. Дисперсионно-твердеющие сплавы для наплавки режущего инструмента. — «Сварочное производство», 1967, № 6, с. 27—28.
9. Степанов Б. В. Выбор рациональной технологии наплавки металлургического оборудования. Труды Курганского механического института, Курган, 1969, с. 109—111.
10. Сютёв А. Н., Вайнерман А. Е. Плазменная наплавка бронз на изделия цилиндрической формы. Л., ЛДНТП, 1970, с. 5—12.
11. Фрумин И. И. Автоматическая электродуговая наплавка М., Металлургия, 1961, с. 29—319.

ГЛАВА 16

СВАРКА ЧУГУНА

СВАРОЧНЫЕ СВОЙСТВА ЧУГУНА

Чугун представляет собой сплав железа с углеродом (содержание углерода более 2%) и относится к группе плохо сваривающихся металлов. Плохая свариваемость чугуна объясняется высоким содержанием углерода, а также серы и фосфора. Содержание серы в чугуне допускается до 0,15%, а фосфора — до 0,5%.

В зависимости от состояния углерода в чугуне различают два вида чугуна: серый и белый. Серый чугун имеет в изломе серый цвет. Большинство отливок изготовляют из серого чугуна. Серый чугун хорошо обрабатывается резанием. В белом или отбеленном чугуне весь углерод находится в химическом соединении с железом в виде цементита (Fe_3C). Цементит очень тверд и хрупок, поэтому белый чугун обладает высокой твердостью и хрупкостью и не поддается обработке обычным режущим инструментом. В изломе белый чугун имеет белый цвет. Если белый чугун подвергать длительному отжигу (томлению), то цементит в чугуне распадается и углерод выделяется в свободном состоянии.

Чугун, полученный путем отжига из белого чугуна, называют ковким. В отличие от серого чугуна в ковком чугуне углерод находится не в виде пластинчатого графита, а в виде хлопьевидного. Ковкий чугун хорошо обрабатывается режущим инструментом и по сравнению с серым чугуном обладает более высокими механическими свойствами, в особенности пластичностью и вязкостью.

В промышленности получил большое применение высокопрочный и легированный чугун. В высокопрочном чугуне углерод находится в виде шаровидного графита. Этот чугун обладает высоким пределом прочности (40—60 кгс/мм²), а также достаточной пластичностью. Легированный чугун в отличие от обычного содержит в своем составе один или несколько легирующих элементов.

Чугун сваривают обычно только при ремонтно-восстановительных работах и при исправлении дефектов в чугунных отливках. Основные факторы, затрудняющие сварку чугуна, следующие:

образование трещин в околошовных зонах в процессе сварки и при охлаждении после сварки, причина — низкие пластические свойства и возникновение в процессе сварки больших внутренних напряжений; при сварке наблюдается выгорание кремния, сопровождающееся появлением отбеленных зон в металле шва и в основном металле, прилегающем к шву, высокая твердость этих зон затрудняет последующую механическую обработку и, кроме того, приводит к образованию трещин;

чугун при нагреве очень быстро переходит из твердого состояния в жидкое, и наоборот, это почти исключает сварку в потолочном положении и затрудняет в других положениях;

интенсивное выгорание углерода делает сварной шов пористым, на образование пористости также влияет быстрый переход чугуна из жидкого состояния в твердое, при котором газы не успевают удалиться из сварочной ванны;

при сварке происходит окисление кремния, окислы кремния имеют температуру плавления выше, чем свариваемый металл, и потому затрудняют процесс сварки;

чугунные изделия имеют разнообразный химический состав и структуру. Разнообразие химического состава и структуры иногда может наблюдаться в различных участках одного и того же изделия. Это происходит в результате того, что более тонкие части чугунных отливок остывают быстрее и в них наблюдается частичный отбел, а более толстые части остывают медленнее и имеют структуру серого чугуна. Наиболее плохо сваривается чугун с крупнозернистой структурой. Чугун с мелкозернистой структурой сваривается значительно лучше. На структуру чугуна влияет в основном его химический состав.

Чугунные детали, работающие длительное время при высоких температурах, почти не поддаются сварке. Это происходит в результате того, что под действием высоких температур (300—400°С и выше) углерод и кремний окисляются и чугун становится очень хрупким. Чугун с окисленным углеродом и кремнием называют горелым. Также плохо свариваются чугунные детали, работавшие длительное время в соприкосновении с маслом и керосином. В таких случаях поверхность чугуна как бы пропитывается маслом и керосином, которые при сварке сгорают и образуют газы, способствующие появлению сплошной пористости в сварном шве.

СПОСОБЫ СВАРКИ ЧУГУНА

Чугун можно сваривать дуговой сваркой металлическим или угольным электродами, газовой сваркой, термитной сваркой и заливкой жидким чугуном.

По состоянию свариваемой детали различают три способа сварки чугуна: холодную, полугорячую и горячую. Холодную сварку выполняют без подогрева свариваемых деталей, полугорячую — при полном или местном подогреве до температуры 300—400°С, горячую — при полном нагреве до температуры 600—800°С. Эти способы сварки подразделяют на отдельные методы в зависимости от вида сварки, применяемых электродов и присадочного металла.

Выбор способа или метода сварки зависит от требований, предъявляемых к сварному соединению, а в некоторых случаях и от производственных возможностей. При выборе метода сварки учитывают: необходимость в механической обработке металла шва и околошовной зоны после сварки, необходимость получения однородности металла шва с металлом свариваемых деталей, требования к плотности сварного шва; нагрузки, при которых должны работать свариваемые детали.

Холодная сварка

Этот способ сварки имеет несколько разновидностей: стальными электродами, стальными электродами со специальными покрытиями, стальными электродами с помощью шпилек, чугунными электродами,

комбинированными электродами, медными электродами, электродами из монель-металла, электродами из никелевого аустенитного чугуна, газовой (ацетилено-кислородным пламенем).

Сварку стальными электродами применяют при ремонте неотверстанных чугунных изделий небольших размеров с малым объемом наплавки, не требующих после сварки механической обработки. Сварное соединение неоднородно по структуре, часто не обладает плотностью и имеет низкую прочность.

Сварку электродами с защитно-легирующими и покрытиями выполняют с V-образной или X-образной разделкой кромок. Для устранения неравномерного разогрева детали сваривают отдельными участками вразбивку. Длина отдельных наплавленных участков сварного шва не должна превышать 100—120 мм. После наплавки отдельных участков дают возможность остыть до температуры 60—80°С. При сварке изделий толщиной 8—15 мм сварку ведут с увеличенной шириной усиления шва (рис. 193). Сварку электродами с покрытиями ОММ-5 и К-5 можно выполнять на переменном или на постоянном токе. Наилучшие результаты получают при сварке электродами с покрытием УОНИ-13/45. Сварку электродами с покрытием УОНИ производят на постоянном токе обратной полярности.

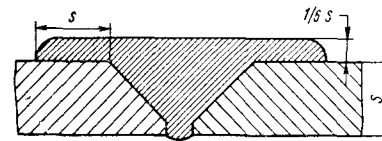


Рис. 193. Сварка чугунных деталей стальными электродами с увеличенной шириной усиления сварного шва

Сварка с помощью шпилек требует специальной подготовки изделий под сварку. Этим способом восстанавливают ответственные изделия как малых, так и больших габаритов (гидравлические и воздушные цилиндры, станины прессов, станков и т. д.), работающие при значительных нагрузках и не требующие обработки после сварки.

При этом способе кромки свариваемых деталей скашивают под углом 45° (при толщине деталей свыше 5—6 мм). Общий угол разделки должен составлять 90°. В подготовленных кромках просверливают отверстия и нарезают резьбу. В отверстия ввертывают шпильки из низкоуглеродистой стали. Шпильки располагают в шахматном порядке (рис. 194). Они могут быть разных диаметров в зависимости от толщины свариваемых деталей, при толщине свариваемых деталей до 10 мм диаметр шпилек не должен превышать 6 мм. При большей толщине свариваемых деталей диаметр шпилек ориентировочно выбирают по табл. 270. При этом в разделку устанавливают шпильки большего диаметра, а около разделки ставят шпильки меньшего диаметра, как показано на рис. 194. Высота возвышения шпилек над поверхностью свариваемого металла должна быть 0,5—1,0 диаметра шпильки. Перед сваркой шпильки плотно ввертывают в тело свариваемого металла. Глубина посадки шпилек должна составлять 1—2 диаметра шпильки. Разделка кромок может быть V-образная и X-образная. Наиболее часто применяют V-образную разделку, на половину толщины свариваемого металла. Подготовленный под сварку с ввернутыми шпильками металл должен быть очищен от грязи, масла, влаги и литейной корки.

Сварку выполняют на постоянном или переменном токе с использованием электродов с защитно-легирующими покрытиями типов Э42, Э42А, Э50 и Э50А. При толщине металла до 5 мм диаметр электрода

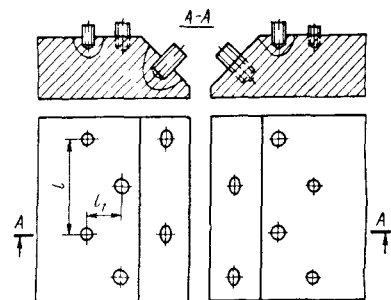


Рис. 194. Подготовка чугунных деталей под сварку с помощью шпильки

270. Диаметр шпильки в зависимости от толщины свариваемых чугунных деталей

Толщина свариваемого металла, мм	Диаметр шпильки, мм	Расстояние между шпильками, мм (см. рис. 194)	
		l	l ₁
10—20	10	40—60	5—10
20—25	12	48—50	10—12
25—30	14	50—56	12—15
30 и более	16	50—80	15—20

берут 3—4 мм, при толщине 5—10 мм — диаметр 4—5 мм. Ориентировочный режим сварки следующий:

Диаметр электрода, мм	3	4	5
Сила тока, А	90—100	130—160	180—200

В процессе сварки вначале обваривают шпильки кольцевыми швами, затем заполняют участки между обваренными шпильками. После этого заплавляют уже всю разделку. При выполнении всех перечисленных операций сварку нужно вести короткими участками по 100—150 мм, чтобы не разогревать сильно изделие. Во избежание сильного коробления количество наплавленного металла должно быть минимальным, тонкостенные изделия рекомендуются перед сваркой закреплять.

При толщине металла 10 мм в ответственных деталях рекомендуется устанавливать между шпильками анкеры, изготовленные из полосовой или круглой низкоуглеродистой стали. Анкеры устанавливают под углом 45° или перпендикулярно к сварному шву (рис. 195), после того как будут заварены участки между шпильками. Анкеры должны плотно прилегать средней частью к наплавленному металлу, а концами — к свариваемой детали. По толщине анкеры можно заваривать неполностью. Длину анкеров берут в зависимости от ширины свариваемого участка, а толщину или диаметр — в пределах 6—12 мм.

Стальными электродами со специальным покрытием сваривают изделия несложной формы, средних раз-

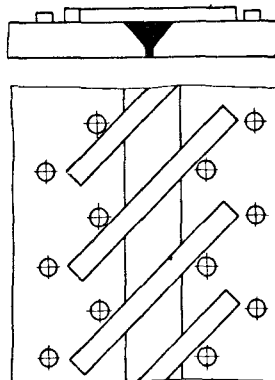


Рис. 195. Сварка чугунных деталей с помощью шпильки и анкеров

меров и веса, с толщиной стенок до 15 мм, работающие при незначительных статических и ударных нагрузках. Сварное соединение неоднородно по структуре, однако металл сварного шва по составу и свойствам достаточно близок к серому чугуну. При правильном и достаточно тщательном выполнении сварки можно получить плотное соединение, поддающееся обработке режущим инструментом. Этот метод сварки пригоден для заварки литейных дефектов с небольшим объемом наплавки.

Существует несколько составов специальных покрытий электродов. Эти покрытия в основном состоят из графита, ферросилиция и меди. В зависимости от процентного содержания тех или иных компонентов в электродном покрытии можно получить различный химический состав наплавленного металла. Важную роль в составе покрытия играет ферросилиций, который как графитизатор способствует получению серого чугуна. Стальные электроды со специальными покрытиями имеют стальной стержень из низкоуглеродистой сварочной проволоки Св-08 или Св-08А. Составы наиболее распространенных специальных покрытий приведены в табл. 271. Режимы сварки берут такие же, как и при сварке чугуна обычными стальными электродами.

271. Состав (%) специальных покрытий стальных электродов для сварки чугуна

Компоненты	Покрытие						
	1	2	3	4	5	6	7
Графит	40	50	7,8	40	20	40	32,2
Ферросилиций	—	40	79,0	50	—	50	28,5
Карборунд	60	—	—	5	—	—	—
Медь	—	10	13,2	5	40	10	17,8
Плавленый шпат	—	—	—	—	40	—	14,3
Железная окалина	—	—	—	—	—	—	7,2

Сварку чугунными электродами в холодном состоянии в большинстве случаев применяют для исправления дефектов чугунного литья — мелких литейных пор, рыхлостей, раковин и трещин. Металл сварного шва можно получить близким по химическому составу к основному металлу, однако в металле сварного шва и прилегающих к нему зонах наблюдается отбел, что затрудняет последующую механическую обработку.

Чугунные электроды изготавливают из круглых литых прутков следующих размеров (мм):

Диаметр	4	6	8, 10, 12
Длина	250	350	450

Допускаемое отклонение длины прутков ± 15 мм. На поверхности прутков не должно быть пор, раковин и других дефектов. Прутки изготавливают из чугуна двух марок: А и Б (табл. 272). Прутки марки А применяют для газовой сварки и для стержней электродов при горячей

272. Химический состав чугунных электродных прутков (%)

Марка	C	Si	Mn	S, не более	P	Cr	Ni	Примерное назначение
						не более		
А	3,0—3,6	3,0—3,5	0,5—0,8	0,08	0,2—0,5	0,05	0,3	Для газовой сварки и для стержней электродов при горячей сварке
Б	3,0—3,6	3,6—4,8	0,5—0,8	0,08	0,3—0,5	0,05	0,3	Для стержней электродов при горячей, полугорячей и холодной сварке

сварке, марки Б — для стержней электродов, предназначенных для холодной, полугорячей и горячей сварки. Компоненты электродных покрытий для чугунных электродов замешивают на жидком стекле.

Чугунными электродами можно сваривать только в нижнем положении как на постоянном, так и на переменном токе. Режимы сварки приведены в табл. 273.

273. Режимы холодной сварки чугунными электродами

Толщина свариваемого металла, мм	Диаметр электрода, мм	Сила тока, А
До 15	6	270—300
Св 15 до 30	8	300—400
» 30 » 40	10	450—500
» 40	12	500—650

Медными электродами сваривают изделия, работающие при незначительных статических нагрузках, а также изделия, требующие плотных швов. Выполненный медными электродами сварной шов обрабатывают нормальным режущим инструментом. Этот способ сварки можно применять для заварки мелких дефектов в отливках, а также для ремонта малогабаритных деталей.

Медные электроды изготавливают из стержней диаметром 3—6 мм, которые затем обертывают стальной низкоуглеродистой лентой или проволокой. На подготовленный стержень наносят меловое покрытие. Вместо обертки из стальной ленты для медных электродов применяют также специальное покрытие, имеющее следующий состав (частей по массе):

Титановая руда	5
Ферросилиций	50
Алюминий в порошке	15
Графит	20
Мрамор	15
Плавиковый шпат	10

Медными электродами можно сваривать на постоянном и на переменном токе. Лучшие результаты получаются при сварке на постоянном токе обратной полярности.

Сварку электродом из монель-металла применяют в тех случаях, когда от сварного соединения не требуется большой прочности. В большинстве случаев этот метод сварки применяют для заварки дефектов литья, расположенных в неответственных местах отливки. Сварной шов хорошо обрабатывается режущим инструментом.

Электроды из монель-металла состоят из медно-никелевых стержней диаметром 3—6 мм и специального покрытия. Составы покрытий для электродов приведены в табл. 274. Сварку производят на постоянном токе обратной полярности. Валики накладывают короткими участками по 60—70 мм, после чего им дают остыть. В процессе сварки валики подвергают легкой проковке.

274. Покрытия для электродов из монель-металла

Компоненты	Состав, %			
	1	2	3*	4
Графит	66	40	74	—
Мел	32,5	60	—	58
Углекислый калий (поташ)	1,5	—	—	—
Окись алюминия	—	—	4	—
Каолин	—	—	6	—
Углекислый стронций	—	—	—	30
Железная окалина (крокус)	—	—	—	12

* Состав покрытия приведен в частях по массе

Сварку электродами из никелевого аустенитного чугуна применяют при исправлении дефектов в отливках. Механическая обработка наплавленного металла затруднительна, особенно при однослойной наплавке. Сварное соединение имеет достаточно высокую прочность.

Электроды состоят из чугуна легированных никелем прутков и специальных покрытий

Примерный химический состав никелевого чугуна следующий (%):

Углерод	2,5	Никель	20—22
Кремний	2—2,5	Медь	5
Марганец	0,6—0,8	Сера	0,05—0,06
		Фосфор	0,1—0,2

Покрытие состоит из 70% карборунда и 30% углекислых бария или стронция, разведенных на жидком стекле. Кроме того, можно применять покрытие УЗТМ-81, наносимое на электродный стержень в два слоя. Первый слой состоит из алюминиевого порошка, а второй слой имеет следующий состав (%):

Графит	55
Титановая руда	30
Алюминий металлический в порошке	10
Мрамор	5

Сварку выполняют как на переменном, так и на постоянном токе. При многослойной сварке швы подвергают легкой проковке. Сварные швы, выполненные в несколько слоев, поддаются обработке нормальным режущим инструментом.

Газовая сварка является весьма распространенным способом ремонта чугунных деталей. При использовании в качестве присадочного металла латунных прутков сварной шов получается достаточно плотным и поддается механической обработке. Газовую сварку чугуна можно разделить на собственную сварку и на пайку. При сварке в качестве присадочного металла применяют стальную сварочную проволоку Св-08 и Св-08А или стержни из чугуна марки А, при пайке — латунные прутки, химический состав которых приведен в табл. 275. Состав флюсов, применяющихся при сварке и пайке, приведен в табл. 276.

275. Примерный химический состав (%) латуни и бронзы, применяющихся в качестве присадочного металла при газовой пайке чугуна

Присадочный металл	Cu	Zn	Pb	Fe
Латунь	58—59	38—40	0,9—1,1	0,5—1
Латунь	58—59	38—40	0,9—1,1	0,5—1
Латунь ЛК 62-0,5	60,5—65	39	0,05	0,6
Бронза сварочная (бронза «Тобина»)	56—62	38—41	1—3,5	0,7—1
Присадочный металл	Mn	Ni	P	S
Латунь	0,4—0,8	—	0,01	—
Латунь	0,4—0,8	0,5	0,12	0,25
Латунь ЛК 62-0,5	—	—	0,02	0,4—0,6
Бронза сварочная (бронза «Тобина»)	0,5—0,8	0,3—0,8	—	—

276. Флюсы для сварки и пайки чугуна

Компоненты	Состав, %			
	1	2	3	4
Бура	100	56	70	56
Поваренная соль	—	22	20	—
Углекислый калий (поташ)	—	22	—	22
Ворная кислота	—	—	10	—
Углекислый натрий (сода)	—	—	—	22

Примечание. Флюсы 1, 2 и 3 используют при газовой сварке и пайке, а также при сварке угольным электродом. Флюс 4 используют при газовой пайке.

В холодном состоянии с применением а качестве присадочного металла чугунных прутков сваривают неотвержденные детали с малым объемом наплавки. Ориентировочные режимы газовой сварки приведены в табл. 277. Для обеспечения выхода газов жидкий металл сварочной ванны перемешивают концом присадочного чугунного прутка.

При ремонте чугунных деталей в холодном состоянии в большинстве случаев применяют газовую пайку. Она характерна тем, что присадка или припой расплавляются, а металл детали остается в нерасплавленном состоянии. Для увеличения поверхности сцепления наплавленного металла с металлом детали кромки последней подготавливают, как показано на рис. 196.

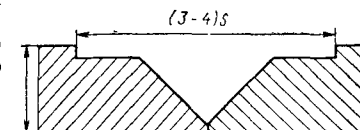


Рис. 196. Подготовка кромок для пайки чугуна латунью

Перед сваркой кромки детали прогревают, а затем посыпают флюсом. После этого разделку заправляют латунью. Мощность горелки берут из расчета 50—75 л/ч ацетилен на 1 мм толщины свариваемой детали. В процессе сварки в жидкий металл периодически подают флюс, а сварочную ванну непрерывно перемешивают концом присадочного прутка.

277. Ориентировочные режимы газовой сварки чугуна с применением чугунных присадочных прутков

Толщина металла, мм	Номер наконечника горелки	Мощность пламени из расчета расхода ацетилена, л/ч
До 5	3—4	400—500
Св. 5 до 10	4—5	700—1100
» 10 » 15	5—6	1100—1700
» 15	6—7	1700—2800

Полугорячая сварка

Подогрев свариваемой детали до 300—400° С способствует более замедленному охлаждению металла шва и прилегающих к нему зон после сварки. Замедленное охлаждение в значительной степени предотвращает получение отбеленных зон, что позволяет производить механическую обработку сварных соединений. Детали перед сваркой нагревают в термических печах, горнах или с помощью газовых горелок ацетилено-кислородным пламенем. При подогреве газовой горелкой необходимо следить за равномерностью нагрева подогреваемой поверхности.

Полугорячую сварку чугуна можно осуществлять низкоуглеродистыми стальными электродами с защитно-легирующими покрытиями типа ОММ-5, МР-3, К-5 и УОНИ-13, стальными электродами со специальным покрытием, чугунными электродами и ацетилено-кислородным пламенем с применением чугунных присадочных прутков. При сварке сквозных трещин или при заварке дефектов, находящихся на краю деталей, необходимо применять графитовые формы, предотвращающие вытекание жидкого металла из сварочной ванны. Во время сварки необходимо непрерывно поддерживать значительный объем

расплавленного металла в сварочной ванне и тщательно его перемешивать концом электрода или присадочного стержня. Для замедленного охлаждения заваренные детали засыпают мелким древесным углем или сухим песком.

Горячая сварка

Мелкие детали предварительно подогревают до 500—700° С, крупногабаритные (толщина стенок более 30 мм) — до 700—800° С.

Горячая сварка складывается из следующих последовательных операций: механической обработки под сварку, формовки свариваемых деталей, нагрева, сварки и охлаждения сваренных деталей.

Механическая обработка заключается в вырубке дефектных участков и зачистке их от масла, грязи, шлака и формовочной земли. При сварке двух сломанных частей скоса кромок не делают, а оставляют между ними зазор, обеспечивающий доступ электрода. Стенки деталей в зазоре должны быть механически обработаны.

Для предохранения расплавленного металла от вытекания участки, подлежащие сварке, формируют с помощью формовочной земли и графитовых пластинок (рис. 197).

Детали нагревают в специальных нагревательных печах, колодцах, горнах или с помощью индукционных подогревателей. В некоторых случаях на месте сварки сооружают временные нагревательные горны и печи.

Для горячей сварки применяют чугунные электроды со стержнями марок А и Б. Наиболее распространенными электродными покрытиями для горячей сварки являются ОМЧ-1 и УЗТМ-74. Ввиду значительного объема наплавленного металла при горячей сварке применяют электроды больших диаметров (8—16 мм).

Чугунные детали сваривают чугунными электродами на следующих режимах:

Диаметр электрода, мм	8	10	12	16
Сила тока, А	600—700	750—800	1000—1200	1500—1800

Сварку ведут без перерывов, с тем чтобы металл сварочной ванны все время был в расплавленном состоянии.

После сварки детали должны медленно охлаждаться вместе с нагревательной печью или под слоем мелкого древесного угля. Охлаждение крупногабаритных деталей может длиться несколько суток.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батманов В. А. Сварка чугуна М, Машгиз, 144 с
2. Елистратов А. С. Металлургические основы сварки чугуна М, Машгиз, 1957, 156 с.
3. Елистратов П. С. Сварочные свойства чугуна М., Машгиз, 1950, 145 с.
4. Стеренбоген Ю. А., Хорунов В. Ф., Грецкий Ю. Я. Сварка и наплавка чугуна. Киев, «Наукова думка», 1966, 210 с.

ГЛАВА 17

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРКИ

Контроль качества сварочных работ начинается еще до того, как сварщик приступил к сварке изделия. При этом проверяют качество основного металла, сварочных материалов (электродов, сварочной проволоки, флюса и т. д.), заготовок, поступающих на сборку, состояние сварочной аппаратуры и качество сборки, а также квалификацию сварщиков. Все эти мероприятия носят название *предварительного контроля*.

В процессе сварки проверяют внешний вид шва, его геометрические размеры, производят обмер изделия, осуществляют постоянное наблюдение за исправностью сварочной аппаратуры, наблюдают за выполнением технологического процесса. Указанные операции составляют *текущий контроль*.

Последней контрольной операцией является *проверка качества сварки в готовом изделии*. Для этой цели существуют следующие виды контроля: внешний осмотр и обмер сварных соединений, испытание на плотность, просвечивание рентгеновскими или гамма-лучами, контроль ультразвуком, магнитные методы контроля, люминесцентный метод контроля, металлографические исследования, механические испытания.

Вид контроля качества готового изделия выбирают в зависимости от назначения изделия и требований, которые предъявляются к этому изделию техническими условиями или ГОСТом.

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Контроль качества основного металла. Качество основного металла должно соответствовать требованиям сертификата, который посылают заводы-поставщики вместе с партией металла. В нем указывают наименование завода-изготовителя, марку и химический состав стали, номер плавки, профиль и размер материала, массу металла и номер партии, результаты всех испытаний, предусмотренных стандартом, номер стандарта на сталь данной марки. При отсутствии сертификата металл закупают в производство лишь после тщательной проверки: необходимо произвести наружный осмотр, пробу на свариваемость, установить механические свойства и химический состав металла. Методы испытания металла на свариваемость приведены в гл. 3.

При наружном осмотре металла проверяют отсутствие на металле окалины, ржавчины, трещин, расслоения и прочих дефектов. Предварительная проверка металла с целью обнаружения дефектов поверхности является необходимой и обязательной, поскольку она предупреждает применение некачественного металла для сварки изделия.

Механические свойства основного металла определяют путем испытания стандартных образцов на прессах и копрах.

Контроль качества сварочной проволоки. ГОСТ 2246—70 на стальную сварочную проволоку и 10543—63 на проволоку стальную наплавочную устанавливают: марку и диаметры сварочной проволоки, химический состав, правила приемки и методы испытания, требования к упаковке, маркировке, транспортированию и хранению.

Каждая бухта сварочной проволоки должна иметь металлическую бирку, на которой указано наименование и товарный знак предприятия-изготовителя, условное обозначение проволоки согласно стандарту и номер партии.

В сертификате, сопровождающем партию проволоки имеются следующие данные: товарный знак предприятия-изготовителя, условное обозначение проволоки, номер плавки и партии, состояние поверхности проволоки (оцинкованная или нецинкованная), химический состав в процентах, результаты испытаний на растяжение, масса проволоки (нетто) в килограммах.

Таким образом, наличие бирки, прикрепленной к бухте сварочной проволоки, а также сертификата на проволоку является гарантией того, что проволока пригодна для сварки. На поверхности сварочной проволоки не должно быть окислы, ржавчины, грязи и масла. Проволока из высоколегированной стали не должна иметь остатков графитовой смазки.

Сварочную проволоку, на которую не имеется документации, подвергают тщательному контролю. Наиболее важным является проверка химического состава проволоки, для чего от каждой партии отбирают 0,5% бухт, но не менее двух. Стружку для химического анализа берут от обоих концов каждой контролируемой бухты или из двух участков на расстоянии не менее 5 м один от другого. Произведя химический анализ, устанавливают марку сварочной проволоки и определяют возможность ее применения для сварки в соответствии с технологическим процессом.

Контроль качества электродов. При сварке конструкций, в чертежах которых указан тип электрода, нельзя применять электроды, не имеющие сертификата. Электроды без сертификата тщательно контролируют. При этом в соответствии с ГОСТ 9466—60, 9467—60, 10051—62, 10052—62* проверяют прочность покрытия, сварочные свойства электродов, определяют механические свойства металла шва и сварного соединения на образцах, сваренных электродами из проверяемой партии. О пригодности электродов для сварки судят также и по качеству наплавленного металла, который не должен иметь пор, трещин и шлаковых включений.

Внешний вид электродов должен удовлетворять требованиям стандарта, где указывается, что покрытие электрода должно быть прочным, плотным, без пор, трещин, вздутий и комков неразмешанных компонентов. Электроды с отсыревшим покрытием в производство не допускаются.

Контроль качества флюсов. Флюс проверяют на однородность по внешнему виду, определяют его химический состав, величину зерна, объемную массу и влажность.

Технические требования и методы испытания широко применяемых плавящихся флюсов АН-348А, ОСЦ-45, АН-348АН, ОСЦ-45М регламентированы ГОСТ 9087—69. Так, например, для определения влажности флюса берут навеску в 100 г, сушат ее при температуре $105 \pm 5^\circ \text{C}$ и взвешивают через определенные промежутки времени.

Когда результаты предпоследнего и последнего взвешивания будут одинаковы, дальнейшую сушку прекращают. По разности между последним и первым взвешиванием определяют количество содержащейся влаги во флюсе. Во избежание образования пор в металле шва влажность должна быть не более 0,1%.

Лучшим способом определения качества флюса является его испытание при сварке. Дуга под флюсом должна гореть устойчиво. Поверхность шва должна быть чистой, без пор, свищей и трещин. После остывания шва шлак должен легко отделяться от металла.

КОНТРОЛЬ ЗАГОТОВОК

Перед поступлением заготовок на сборку проверяют: чистоту поверхности металла, габаритные размеры заготовок, качество подготовки кромок, углы скоса кромок.

Дефекты заготовок под сварку в значительной степени сказываются на качестве и производительности сварочных работ. Например, увеличение угла скоса кромок приводит к увеличению количества наплавленного металла, к увеличению времени сварки и к излишнему расходу электроэнергии и электродов. Кроме того, соединение после сварки будет сильнее деформироваться, так как чем больше наплавленного металла, тем больше его усадка при остывании. Предупреждение дефектов в заготовках избавит от лишней работы по их исправлению.

КОНТРОЛЬ СБОРКИ

В собранном узле контролю подлежат: зазоры между кромками свариваемых деталей, отсутствие или малая величина которых приводит к непровару корня шва, а большая — к прожогам и увеличению

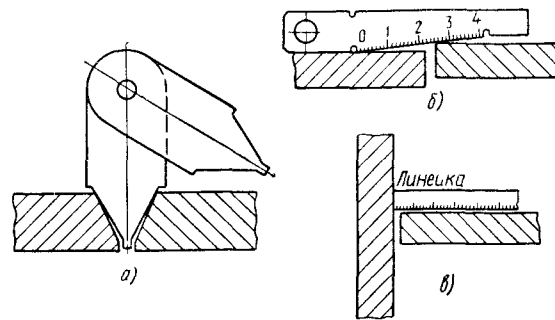


Рис. 198. Примеры контроля сборки:

а — проверка угла скоса и зазора между кромками стыкового соединения; б — проверка превышения кромок; в — проверка величины зазора

трудоемкости процесса сварки; превышение одной кромки относительно другой в стыковом соединении, относительное положение деталей в собранном узле, правильное наложение прихваток. Примеры контроля соединений, собранных под сварку, показаны на рис. 198.

ПРОВЕРКА КВАЛИФИКАЦИИ СВАРЩИКОВ

Квалификацию сварщиков проверяют: при установлении разряда, при допущении к выполнению ответственных сварочных работ, инспектируемых Госгортехнадзором СССР, непосредственно перед изготовлением ответственной конструкции путем сварки и испытания контрольных образцов. В каждом случае проверяют как теоретические знания, так и практические навыки.

Разряд устанавливают согласно требованиям, предусмотренным тарифно-квалификационными справочниками. Испытание сварщиков перед допуском к ответственным работам производят по правилам аттестации сварщиков, утвержденным Государственным комитетом по надзору за безопасным ведением работ в промышленности и горному надзору при Совете Министров СССР. Эти правила обязательны для всех министерств и ведомств.

После удовлетворительной сдачи испытаний специальной комиссией, создаваемой на заводе, сварщикам выдают удостоверение на право выполнения ответственных сварочных работ. В удостоверении указывают конструкции, которые может сваривать сварщик. Сварщики, допускаемые к ответственным работам, должны проходить ежегодные практические и теоретические испытания. Для выполнения ответственных работ по сварке специальных сталей сварщики проходят дополнительные испытания.

КОНТРОЛЬ ЗА ИСПОЛНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Перед тем как приступить к сварке, сварщик знакомится с технологическими картами, в которых указывают последовательность операций, диаметр и марку применяемых электродов, режимы сварки и требуемые размеры сварных швов.

Несоблюдение порядка наложения швов может вызвать значительную деформацию изделия, трудно устранимую впоследствии.

Не менее важным является соблюдение режима сварки. Силу сварочного тока и напряжение на дуге контролируют по показаниям амперметра и вольтметра. Скорость сварки и скорость подачи электродной проволоки определяют по сменным шестерням и по положению регулятора скорости, а также путем непосредственных замеров.

При ручной дуговой сварке, кроме наблюдения за показаниями амперметра, проверяют технику наложения шва. Режим газовой сварки определяется номером применяемого наконечника.

После того как закончена сварка изделия, сварные швы зачищают от шлака, наплывов, а поверхность узла — от брызг металла. Затем готовое изделие проходит ряд контрольных операций.

ПРОВЕРКА КАЧЕСТВА СВАРКИ В ГОТОВОМ ИЗДЕЛИИ

Внешний осмотр и обмер сварных швов

Внешним осмотром выявляют несоответствие шва геометрическим размерам, наплывы, подрезы, глубокие кратеры, прожоги, наружные трещины, непровары, свищи и поры и другие внешние дефекты (рис. 199).

Размеры швов должны соответствовать размерам, указанным в чертеже. Не допускается какое бы то ни было уменьшение фактического

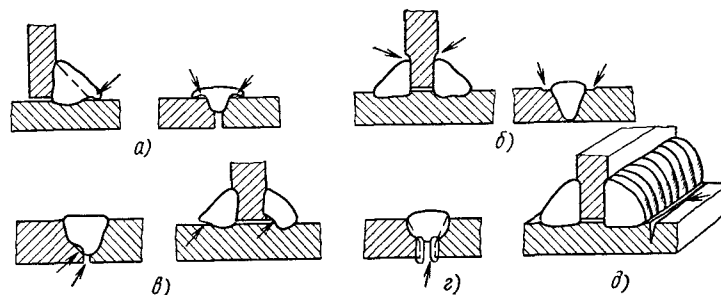


Рис. 199. Наружные дефекты сварного шва: а — наплывы, б — подрезы, в — прожог, г — трещина в основном металле

размера шва по сравнению с заданным, (номинальным) размером. На рис. 200 показан контрольный шаблон, имеющий вырезы под определенный размер шва. Универсальный измеритель со шкалой (рис. 201) служит для определения катета углового шва, величины усиления и подрезов в стыковом шве. Он может быть применен

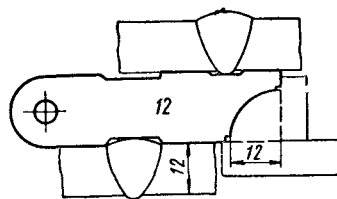


Рис. 200. Шаблон для измерения размеров швов

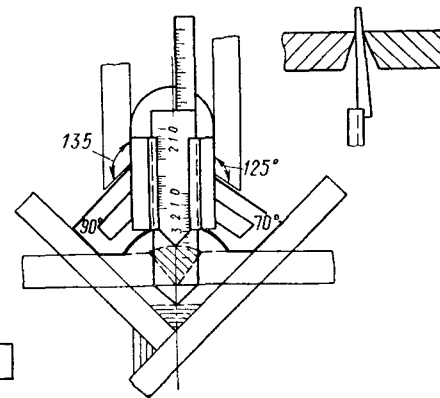


Рис. 201. Универсальный измеритель сварных швов

также для контроля подготовки деталей под сварку. Для контроля шага прерывистого шва можно использовать обычный мерительный инструмент.

Методы контроля плотности сварных швов

Испытаниям на плотность подвергают емкости для горючего, масла, воды, трубопроводы, газгольдеры, паровые котлы и др. Существует несколько методов контроля плотности сварных швов.

Гидравлическое испытание. При этом методе испытания в сосуде после наполнения его водой с помощью насоса или гидравлического пресса создают избыточное давление. Давление при испытании обычно берут в 1,5—2 раза больше рабочего. Величину давления определяют по проверенному и опломбированному манометру. Испытуемый сосуд под давлением выдерживают в течение 5—10 мин. В это время швы осматривают на отсутствие течи, капель и отпечетаний. Для гидравлического испытания применяют не только воду, но и авиационное масло или дизельное топливо (при контроле плотности швов в масляных и топливных баках, трубопроводах).

Кроме того, испытание может производиться наливом воды. Так испытывают вертикальные резервуары для хранения нефти и нефтепродуктов, газгольдеры и другие емкости.

Пневматическое испытание. При пневматическом испытании сжатый газ (воздух, азот, инертные газы) или пар подают в испытываемый сосуд. Сосуды небольшого объема погружают в ванну с водой, где по выходящим через неплотности в швах пузырькам газа обнаруживают дефектные места. Более крупные сварные резервуары и трубопроводы испытывают путем смазывания сварных швов пенным индикатором, который пузырится в местах неплотностей. Самым простым пенным индикатором является водный раствор мыла. Для испытания при отрицательных температурах пригодна смесь мыльного раствора с глицерином, льняное масло и др.

При пневматических испытаниях необходимо строго соблюдать правила техники безопасности. На подводящей магистрали должны быть запорные краны и предохранительные клапаны. Кроме рабочего манометра, при испытаниях предусматривают контрольный манометр. При испытании под давлением не допускается обстучивание сварных швов и исправление дефектов.

Вакуум-испытания. Участок шва, проверяемый на плотность, смачивают водным раствором мыла. На шов устанавливают вакуум-камеру, представляющую собой коробку с открытым дном и прозрачной верхней крышкой из плексигласа. По контуру открытого дна вакуум-камеры имеет резиновое уплотнение. Из камеры выкачивают воздух до определенного разрежения. По вспениванию мыльного раствора, которое наблюдают через крышку, обнаруживают расположение дефектов. Этот метод нашел применение при контроле стыковых швов днищ резервуаров.

Испытание керосином. Этот метод испытания основан на явлении капиллярности, которое заключается в способности многих жидкостей, в том числе и керосина, подниматься по капиллярным трубкам (трубкам малого поперечного сечения). Такими капиллярными трубками являются сквозные поры и трещины в металле сварного шва. Одну сторону стыкового шва покрывают водным раствором мела, после высыхания которого другую сторону смачивают керосином. Время выдержки изделия после смачивания керосином зависит от толщины свариваемых деталей: чем больше толщина и чем ниже температура воздуха, тем больше время выдержки.

Испытание аммиаком. Сущность этого метода заключается в том, что испытываемые швы покрывают бумажной лентой или марлей (рис 202), которая пропитана 5%-ным водным раствором азотнокислой ртути или фенолфталеином. В изделие нагнетается воздух до определенного

давления и одновременно подают некоторое количество газа (аммиака). Проходя через поры шва, аммиак оставляет на бумаге черные (бумага пропитана раствором азотнокислой ртути) или красные (фенолфталеиновая бумага) пятна.

Испытания с помощью течейскаателей. При этом методе испытания применяют гелиевые или галоидные течейскаатели. При применении гелиевых течейскаателей внутри испытываемого сосуда создают вакуум, а снаружи сварные швы обдувают смесью воздуха с гелием. При наличии неплотностей гелий проникает внутрь сосуда, а затем поступает в течейскаатель, где имеется специальная аппаратура для его обнаружения.

В случае применения галоидных течейскаателей внутри испытываемого сосуда создают избыточное давление и вводят небольшое количество галоидного газа. Газ проникает через неплотности шва, отсасывается снаружи сосуда и поступает в специальную аппаратуру. По наличию галоидного газа определяют плотность шва.

Этот метод обладает высокой чувствительностью и применяется для контроля ответственных сварных изделий.

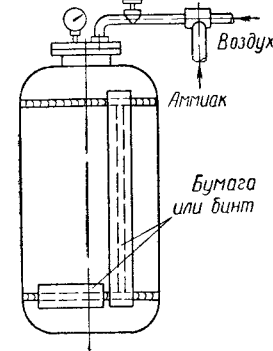


Рис. 202. Схема испытания плотности швов аммиаком

Механические испытания сварных швов и изделий

От химического состава и структуры наплавленного металла, режимов сварочного процесса, наличия дефектов в металле шва зависят его механические свойства. Кроме механических свойств металла шва, во многих случаях надо определить и механические свойства сварного соединения в целом. При этом сравнивают прочность металла шва с прочностью основного металла и металла зоны термического влияния. Наплавленный металл часто является слабым местом сварного соединения. Для практической проверки квалификации сварщиков обязательным является испытание стыковых соединений на растяжение и изгиб. При сварке ответственных изделий изготавливают контрольные образцы, результаты испытаний которых являются критерием качества сварки.

Характер механических испытаний образцов зависит от того, какую нагрузку несет сварное соединение при эксплуатации. Испытания бывают статические (с постоянной или медленно возрастающей нагрузкой), динамические (с ударной нагрузкой) и вибрационные. При вибрационном испытании, или испытании на выносливость, нагрузка изменяется в течение определенного времени по величине и направлению большое количество раз. Порядок механических испытаний сварных швов и соединений регламентирован ГОСТ 6996—66.

Испытание металла различных участков сварного соединения на статическое (кратковременное) растяжение производят на стандартных образцах. При этом определяют: предел текучести (физический σ_T или условный $\sigma_{0,2}$); предел прочности (временное сопротивление) σ_B ; относительное удлинение после разрыва (на пятикратных образцах) δ_5 ;

относительное сужение после разрыва ψ ; ГОСТом предусмотрено пять типов образцов. Для испытаний, проводимых при нормальной или пони-

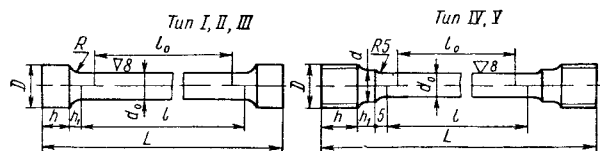


Рис. 203. Форма образцов для испытания различных участков сварного соединения на статическое растяжение

женной температуре, применяют образцы всех типов. При испытании при повышенной температуре применяют образцы типов IV и V.

Формы и размеры образцов должны соответствовать рис. 203 и табл. 278.

278. Размеры (мм) образцов для испытания металла различных участков сварного соединения (рис. 203)

Тип образца	d_0	d	K^*	D	h	h_1	R	l_0	l	L
I	$3 \pm 0,1$	—	0,03	6	4	2	1	15	18	30 ± 1
II	$6 \pm 0,1$	—	0,03	12	10	2,5	1,5	30	36	61 ± 1
III	$10 \pm 0,2$	—	0,04	16	10	3	3	50	60	86 ± 1
IV	$6 \pm 0,1$	10	0,03	M12	15	5	—	30	36	86 ± 1
V	$10 \pm 0,2$	12	0,04	M16	15	5	—	50	60	110 ± 1

* K — допускаемая разность наибольшего и наименьшего диаметров на длине рабочей части образца
Допускается увеличение диаметра головки образца.

Образцы вырезают из швов угловых или стыковых соединений или из специально подготовленных наплавов.

Испытание сварного соединения на статическое растяжение производят на образцах, форма и размеры которых даны на рис. 204 и

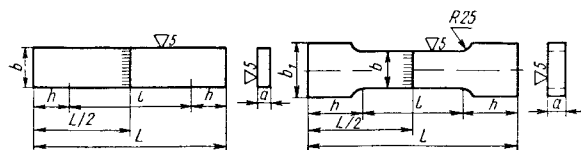


Рис. 204. Форма образцов для испытания сварного соединения на статическое растяжение

в табл. 279. Усиление шва снимают заподлицо с основным металлом. В отдельных случаях разрешается производить испытание образцов без снятия усиления. При этом площадь сечения образца принимают

279. Размеры (мм) образцов для испытания сварного соединения на статическое растяжение (рис. 204)

Толщина металла a	Ширина рабочей части образца b	Ширина захватной части образца b_1	Длина рабочей части образца l	Общая длина образца L
До 6,0	$15 \pm 0,5$	25	50	$L = l + 2h$
Более 6,0 до 10	$20 \pm 0,5$	30	60	
» 10 » 25	$25 \pm 0,5$	35	100	
» 25 » 50	$30 \pm 0,5$	40	160	
» 50 » 75	$35 \pm 0,5$	45	200	

Примечания: 1. Длину захватной части образца h устанавливают в зависимости от конструкции испытательной машины.
2. Размеры образца при толщине металла более 75 мм устанавливают соответствующими техническими условиями.

вне шва. При испытании образца со снятым усилением определяют прочность наиболее слабого участка соединения.

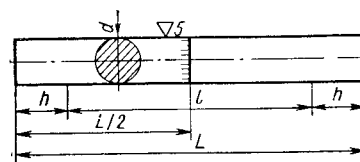


Рис. 205. Форма образцов для испытания стыковых соединений стержней

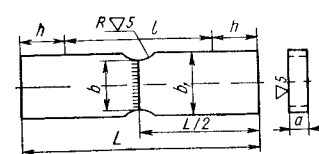


Рис. 206. Форма образцов для испытания прочности металла шва

Для испытания стыковых соединений стержней применяют образцы круглого сечения. Форма и размеры образцов должны соответствовать рис. 205 и табл. 280. Для определения прочности металла шва в стыковом соединении применяют образец, показанный на рис. 206.

280. Размеры (мм) образцов для испытания стыковых соединений стержней (рис. 205)

Диаметр стержня d	Длина рабочей части образца l	Общая длина образца L
До 10	60	$L = l + 2h$
Св. 10 до 25	100	
» 25 » 50	160	
» 50 » 75	200	

Примечания: 1. Длину захватной части образца устанавливают в зависимости от конструкции испытательной машины.
2. Размеры образцов при диаметре стержня более 75 мм устанавливают соответствующими техническими условиями.

Размеры образца в зависимости от толщины металла приведены в табл. 281. Усиление шва должно быть снято механической обработкой до уровня основного металла. Предел прочности (кгс/см²) при испытании таких образцов определяют по формуле

$$\sigma_B = K \frac{P}{F},$$

где K — поправочный коэффициент; P — максимальное усилие, кгс; F — площадь поперечного сечения образца в наименьшем сечении до испытания, мм².

281. Размеры (мм) образцов для определения прочности металла шва (рис. 206)

Толщина металла a	Ширина захватной части образца b_1	Ширина рабочей части образца b	Радиус закругления R	Длина рабочей части образца l	Общая длина образца L
До 6,0	25	15 ± 0,5	6 ± 1	40	$L = l + 2h$
Св 6,0 до 10	30	20 ± 0,5	12 ± 1	60	
» 10 » 25	38	25 ± 0,5	20 ± 2	70	
» 25 » 40	45	30 ± 0,5	25 ± 2	90	
» 40 » 50	55	35 ± 0,5	30 ± 2	110	

Примечания: 1. Длину захватной части образца h устанавливают в зависимости от конструкции испытательной машины.
2. Размер образца при толщине металла более 50 мм устанавливают техническими условиями.

Для углеродистых и низколегированных конструкционных сталей коэффициент K принимают равным 0,9. Для других металлов значение коэффициента K устанавливается соответствующей технической документацией.

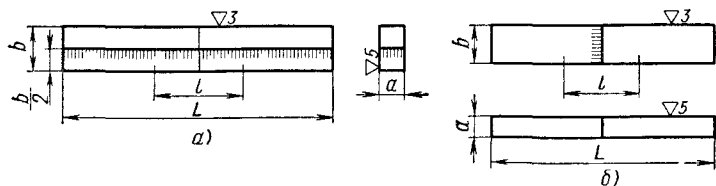


Рис. 207. Форма образцов для испытания на изгиб при расположении сварного шва:

a — вдоль образца, b — поперек образца

Испытание на изгиб дает представление о пластических свойствах стыкового соединения. Форма и размеры образцов приведены на рис. 207 и в табл. 282. Испытание образцов типа А (рис. 207, а) производят по схеме, показанной на рис. 208, а, а испытание типов Б и В (рис. 207, б) — по схеме рис. 208, б; причем для образцов типа Б $K = 2,5D$, а для образцов типа В $K = 3D$. Нагрузку прикладывают

равномерно до появления первой трещины. Угол загиба до появления трещины является мерой пластических свойств сварного соединения.

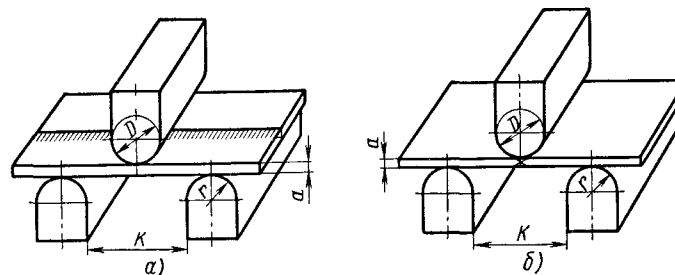


Рис. 208. Схема испытания образцов на изгиб

282. Размеры (мм) образцов для испытания на изгиб (рис. 207)

Тип образца	Толщина основного металла a	Ширина образца b	Общая длина образца L	Длина рабочей части образца l	Рис.
А	До 5 Св. 5 до 50	$a + 15$ $a + 30$	$2,5D + 80$	$\frac{L}{3}$	207, а
Б	До 50	1,5 a , но не менее 10	$2,5D + 80$		207, б
В	До 10 Св 10 до 25	20 30	$3D + 80$		207, в

Примечание D — диаметр оправки, мм

Ударную вязкость металла шва и переходной зоны определяют при испытании образцов с надрезом на ударный изгиб, форма образца показана на рис. 209, а размеры даны в табл. 283.

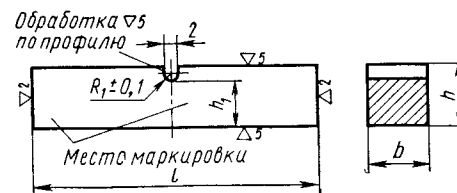


Рис. 209. Образец для определения ударной вязкости

283. Размеры (мм) образцов для определения ударной вязкости (рис. 209)

Тип	<i>b</i>	<i>h₁</i>	<i>h</i>	<i>l</i>
I	10 ± 0,1	8 ± 0,1	10 ± 0,1	55 ± 0,5
II	5 ± 0,1	8 ± 0,1	10 ± 0,1	55 ± 2
III	S*	6 ± 0,1	8 ± 0,1	55 ± 2

* Толщина металла

Надрез образца делают по шву, по линии сплавления или по зоне термического влияния в зависимости от цели испытания.

Твердость сварного соединения, характеризующая прочность металла, измеряют с помощью приборов Роквелла и Виккерса. Отдельные схемы измерения твердости показаны на рис. 210.

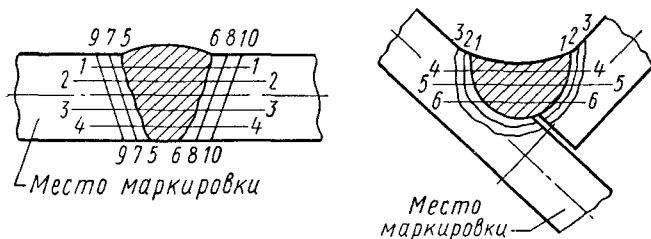


Рис. 210. Схемы замера твердости (твердость измеряют в точках пересечения линий 1—10)

Кроме испытания стандартных образцов, механическим испытанием подвергают готовые изделия и конструкции. Целью такого испытания, которое большей частью проводят в условиях, близких к условиям работы изделия, является выявление его прочности.

Рентгеновское просвечивание

Рентгеновские лучи являются электромагнитными волнами. Они обладают следующими свойствами: способны проникнуть сквозь непрозрачные тела, действуют на фотографическую пленку, как и световые; под действием рентгеновских лучей некоторые вещества, например сернистый цинк, светятся (люминесцируют), вызывают ионизацию газов, в том числе и воздуха, и делают его электропроводным в больших дозах, вызывают вредное физиологическое действие на живой организм, разрушая его ткани.

В промышленности для просвечивания изделий применяют серийные рентгеновские аппараты типа РУП. Так, аппарат РУП-120-5-1 применяют для просвечивания металла из стали толщиной до 25 мм и легких сплавов толщиной до 100 мм.

Схема просвечивания сварного соединения показана на рис. 211. Источник излучения (рентгеновскую трубку) помещают на определенном расстоянии от шва, так, чтобы лучи были направлены перпендикулярно к его оси. С противоположной стороны крепят светонепроницаемую кассету, которая должна плотно и равномерно прилегать к просвечиваемому участку изделия. В кассете расположены рентгеновская пленка и два листа усиливающих экранов. При просвечивании пленку выдерживают под лучами в течение определенного времени, называемого экспозицией. Экспозиция зависит от толщины просвечиваемого металла, фокусного расстояния, интенсивности излучения и чувствительности пленки. Усиливающие экраны служат для сокращения экспозиции. После просвечивания пленку вынимают из кассеты и проявляют. Затем негатив промывают и фиксируют для получения стойкого фотографического изображения. Полученное на негативе изображение участка шва будет неодинаковым по степени потемнения отдельных мест. Луч, попавший на пленку, через дефект поглотится в меньшей степени по сравнению с лучами, прошедшими через плотный металл, и окажет более сильное засвечивающее действие на определенный участок светочувствительного слоя пленки.

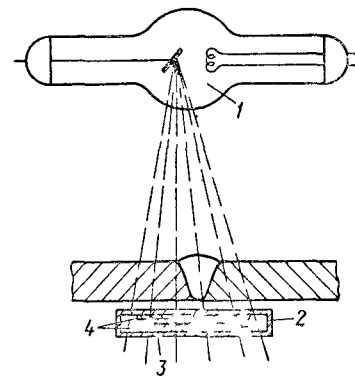


Рис. 211. Схема просвечивания рентгеновскими лучами:

1 — рентгеновская трубка; 2 — кассета; 3 — фотопленка; 4 — экраны

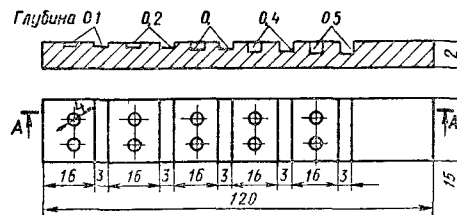


Рис. 212. Устройство пластинчатого дефектометра

При просвечивании рядом со швом (параллельно ему), со стороны источника излучения, устанавливают дефектометр (рис. 212), который служит для определения глубины залегания и величины обнаруженного дефекта. Дефектометр — это пластинка, изготовленная из того же материала, что и просвечиваемый металл. Толщина пластинки должна быть равна усилению шва. На дефектометре выфрезерованы канавки различной глубины. При одинаковой интенсивности потемнения пленки

под одной из канавок с потемнением дефекта, при известной глубине канавки, определяют величину дефекта (по высоте). Качество просвеченного сварного шва определяют путем сравнения пленки с эталонными снимками, установленными для определенного изделия или группы изделий. Просвечиванием можно обнаружить большинство внутренних дефектов: непровар, поры, включения, крупные трещины.

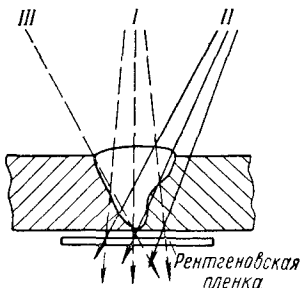


Рис. 213. Схема просвечивания стыкового соединения

При просвечивании стыкового шва с V-образной подготовкой кромок кассету с пленкой обычно устанавливают со стороны нижней части разделки, что позволяет выявить непровар вершины. Для обнаружения непровара по кромкам источник лучей устанавливают в два различных положения (II и III), как показано на рис. 213. Непровар по кромке, фиксируется на пленке в виде темной полоски выделяющейся на более светлом фоне сварного шва. Газовые поры и шлаковые включения одинаково выявляются при любой схеме просвечивания.

Просвечивание сварных швов гамма-лучами

Гамма-лучи, так же как и рентгеновские, представляют собой электромагнитные волны. Получение гамма-лучей связано со свойствами некоторых элементов (уран, радий, торий) самопроизвольно испускать лучи. Это явление называется радиоактивностью.

Недостатком применения для просвечивания естественных радиоактивных веществ является их дороговизна. Сейчас при просвечивании применяют более дешевые искусственные радиоактивные вещества. Их получают облучением какого-либо химического элемента ядерными частицами — нейтронами. Из искусственных радиоактивных изотопов чаще применяют для просвечивания изотопы кобальт-60, тулий-170 и иридий-192.

Из-за вредного действия гамма-лучей на организм человека радиоактивные изотопы хранят в специальных контейнерах.

Для просвечивания в цеховых условиях промышленности выпускает установки ГУП-Со-0,5-1, ГУП-Со-5-1 и ГУП-Со-50.

Техника просвечивания сварных соединений гамма-лучами подобна технике рентгеновского просвечивания. Схемы гамма-просвечивания показаны на рис. 214.

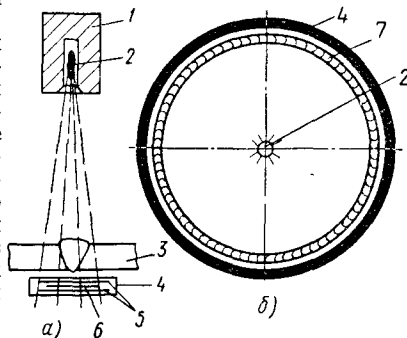


Рис. 214. Схемы гамма-просвечивания: а — стыкового шва; б — кольцевого шва; 1 — свинцовый кожух; 2 — ампула; 3 — сварная деталь; 4 — кассета; 5 — экран; 6 — пленка; 7 — шов

По сравнению с рентгеновским контролем просвечивание гамма-лучами имеет следующие преимущества: радиоактивный препарат можно установить для просвечивания в такие места конструкции, где не поместится громоздкая рентгеновская установка;

гамма-лучами возможно одновременно контролировать несколько деталей, а также кольцевые швы изделий;

контейнер с ампулой удобен в полевых условиях благодаря легкости его транспортировки;

затраты на гамма-просвечивание меньше;

препарат радиоактивного изотопа (кобальт-60) безотказен в работе и может непрерывно использоваться пять с лишним лет.

Недостаток просвечивания гамма-лучами — меньшая чувствительность к выявлению дефектов в швах толщиной меньше 50 мм.

Длительное воздействие на человека больших доз излучения приводит к лучевой болезни. При соблюдении установленных правил можно работать по просвечиванию в течение длительного времени без ущерба для здоровья.

Методы контроля сварных швов рентгенографированием и гаммаграфированием регламентированы ГОСТ 7512—69.

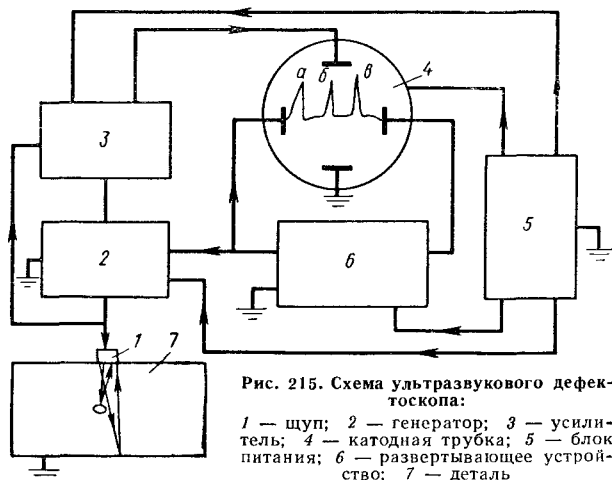
Ультразвуковой метод контроля

Этот метод основан на способности ультразвуковых волн отражаться от границы раздела двух сред, обладающих разными акустическими свойствами. При помощи ультразвука можно обнаружить трещины, раковины, расслоения в листах, непровары, шлаковые включения, поры.

Ультразвук представляет собой упругие колебания материальной среды с частотой колебания выше 20 кГц, т. е. выше верхней границы слухового восприятия. Существует несколько способов получения ультразвуковых колебаний. Наиболее распространенным является способ, основанный на пьезоэлектрическом эффекте некоторых кристаллов (кварца, сегнетовой соли) или искусственных материалов (титаната бария). Этот эффект заключается в том, что если противоположные грани пластинки, вырезанной из кристалла, например кварца, зарядить разноименными зарядами электричества, то она будет деформироваться в такт изменениям знаков зарядов. Изменяя знаки электрических зарядов с частотой выше 20 тыс. колебаний в секунду, получают механические колебания пьезоэлектрической пластинки той же частоты, передающейся в окружающую среду в виде ультразвука.

На пьезоэлектрическом эффекте основана работа ультразвуковых дефектоскопов — приборов для выявления дефектов в изделиях, в том числе и в сварных швах. Для проверки качества сварного шва дефектоскоп подключают к сети переменного тока (рис. 215). Рядом со сварным швом устанавливают пьезоэлектрический шуп 1 с пластинкой из титаната бария. Автоматическое изменение знаков зарядов на поверхности пластинки достигается при помощи лампового генератора 2. Если от этого генератора сообщить пластинке импульс электрических колебаний, то пластинка пошлет в шов короткий ультразвуковой импульс такой же частоты. Первоначальный электрический импульс после его усиления в усилителе 3 будет зарегистрирован на экране катодной трубки 4 в виде пика а светящегося луча. Попав в бездефектный шов, пучок ультразвука достигает противоположной стороны сварного соеди-

нения, и отразившись от него, снова попадает на пластинку. К этому моменту пластинка уже прекратит испускать ультразвук из-за кратковременности электрического импульса. Вместо источника ультразвуковых колебаний она становится их приемником. Ультразвуковые колебания, отразившись от дна изделия и попавшие на пластинку, преобразуются в механические, а затем и в электрические колебания. Последние



после усиления попадают на катодную трубку осциллографа. На его экране появится донный сигнал в виде пика *в*.

Если же в шве имеется какой-либо дефект, например трещина, то часть пучка ультразвука отразится от нее, а другая часть — от противоположной стороны сварного соединения. В этом случае на экране будут видны уже три пика. По среднему пику *б* устанавливают, что в шве залегает какой-то дефект. Расстояние между пиками *а* и *б* позволяет определить, на какой глубине находится дефект.

По принципу отражения ультразвуковых волн работают ультразвуковые дефектоскопы УЗД-7, УДМ-1М, УДМ-3, с помощью которых можно обнаружить дефекты, расположенные на глубине 1—2500 мм под поверхностью.

Люминесцентный метод контроля

Этот метод основан на свечении некоторых веществ при действии на них ультрафиолетовых лучей. Люминесцентный метод контроля применим для обнаружения поверхностных дефектов, главным образом мельчайших трещин.

Перед контролем исследуемый участок шва очищают от загрязнений, затем на очищенные места наносят жидкий раствор, содержащий люминофор. Таких веществ — люминофоров известно несколько. Например, раствор дефектоля в бензине светится ярким желто-зеленым све-

том при освещении его ультрафиолетовыми лучами. После 10—15 мин выдержки раствор смывают и изделие сушат в струе теплого воздуха. Облучая изделия ультрафиолетовыми лучами в затемненном помещении, по свечению раствора, оставшегося в трещинах, обнаруживают дефектные места.

Магнитные методы контроля

Магнитные методы контроля основаны на принципе использования магнитного рассеяния, возникающего над дефектом при намагничивании контролируемого изделия. Если сварной шов не имеет дефектов, то магнитные силовые линии по сечению шва распределяются равномерно (рис. 216, *а*). При наличии дефекта в шве вследствие меньшей магнитной проницаемости дефекта магнитный силовой поток будет огибать дефект, создавая магнитные потоки рассеяния (рис. 216, *б*).

В зависимости от способа фиксирования потоков рассеяния существует метод магнитного порошка и индукционный метод. В первом случае неравномерность поля определяют по местам скопления ферромаг-

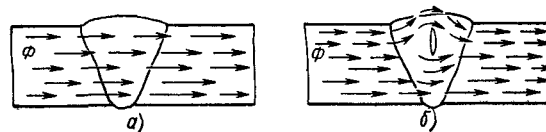


Рис. 216. Прохождение магнитного силового потока по сварочному шву:
а — без дефекта; *б* — с дефектом

нитного порошка, нанесенного на поверхность изделия. Во втором случае потоки рассеяния улавливают индукционной катушкой. Изделие намагничивают электромагнитом, соленоидом или пропуская ток непосредственно через сварное соединение.

При выборе метода намагничивания нужно учитывать, что выявление дефектов магнитным методом возможно только в случае, когда они расположены перпендикулярно направлению магнитного потока.

Существуют два способа контроля магнитным порошком — сухой и мокрый. При сухом способе порошок закиси-окиси железа равномерно наносят на поверхность изделия, применяя ручное сито или пульверизатор. Во многих случаях, в качестве порошка применяют железную окалину, которую предварительно измельчают в шаровой мельнице и просеивают через тонкое сито. В момент пропускания электрического тока изделие слегка обстучивают, что обеспечивает подвижность частиц порошка, распределяющихся в наведенном магнитном поле. Излишек порошка сдувают с детали слабой воздушной струей. При мокром способе применяют так называемую магнитную суспензию — смесь какой-либо жидкости (керосин, трансформаторное масло) с магнитным порошком, мельчайшие частицы которого равномерно распределены по ее объему. Операцию контроля начинают с того, что контролируемый участок сварного соединения поливают или опрыскивают суспензией. Дефекты обнаруживают по скоплениям магнитного порошка. Один и тот же участок проверяют дважды. После проверки качества всех сварных швов изделие размагничивают.

Метод магнитного порошка пригоден для контроля только в ферромагнитных материалах. Этим методом можно обнаружить все поверхностные трещины и те внутренние трещины и непровары, которые залегают на глубине до 6 мм. Для контроля сварных соединений применяют магнитные дефектоскопы, выпускаемые промышленностью, например переносный магнитный дефектоскоп 77ПМД-3М и др.

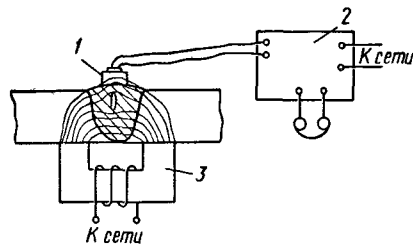


Рис. 217. Схема дефектоскопа системы К. К. Хренова и С. Т. Назарова: 1 — искатель; 2 — усилитель, 3 — электромагнит

магнитные поля над дефектом обнаруживают при помощи искателя. Индукционный ток усиливается ламповым усилителем, с которым соединена катушка искателя. Усиленные электрические сигналы попадают на телефон, в котором слышатся резко усиленные звуки. Одновременно с этим загорается сигнальная лампа.

При помощи дефектоскопа можно выявлять дефекты в сварных швах стыковых соединений толщиной 6—25 мм.

Разновидностью магнитной дефектоскопии является магнитографический способ контроля, при котором поля рассеяния фиксируются на ферромагнитной ленте.

Магнитные методы контроля часто применяют для составления предварительного заключения о качестве сварного соединения. Окончательное установление качества производится по снимку, полученному просвечиванием рентгеновскими или гамма-лучами.

Металлографические исследования

Посредством металлографического анализа проверяют качество структуры металла сварного соединения. В зависимости от того, с каким увеличением рассматривают зерно металла, различают макроструктуру и микроструктуру.

Под макроструктурой понимают структуру металла сварного соединения, рассматриваемую или в натуральную величину или через лупу. Макроструктуру исследуют на шлифах, травленных специальными реактивами. После травления на макрошлифе ясно видны дефекты, попавшие в его сечение. Кроме того, на макрошлифе можно обнаружить скопления серы и фосфора по границам кристаллов. Скопление серы выявляют следующим образом: на макрошлиф накладывают засвеченный листок фотобумаги, смоченный 15%-ным раствором серной кислоты. В тех местах, где бумага соприкасалась с сернистыми включениями,

на ней остаются коричневые пятна. Макроструктуру исследуют не только на специально обработанных шлифах, но и по излому образцов после их механических испытаний. Макрошлиф или излом сварного соединения исследуют тогда, когда программой испытания предусмотрено изготовление контрольных образцов.

Макроконтроль сварного соединения можно осуществлять также с помощью засверловки. В этом случае определенное место шва засверливают так, чтобы образовавшееся углубление вскрыло вершину шва. Засверленное место шлифуют наждачной бумагой, затем травят реактивом, рассматривают через лупу и в случае отсутствия дефектов снова заваривают.

В отличие от макроисследования, которое дает представление о металле шва в целом при микроскопическом исследовании, изучают отдельные участки сварного соединения. Микроисследование проводят при помощи микроскопа с увеличением в 100—500 раз. Микроисследование позволяет выявить дефекты структуры, микротрещины и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бондин И. Н. Контроль качества сварных соединений и конструкций М., Машгиз, 1962, 160 с.
- 2 Назаров С. Т. Методы контроля качества сварных соединений М., «Машиностроение», 1964, 228 с.
- 3 Правила испытания сварщиков М., «Металлургия», 1971, 33 с.

ГЛАВА 18

ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОГО НОРМИРОВАНИЯ
СВАРОЧНЫХ РАБОТ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Техническое нормирование предусматривает установление технически обоснованных норм времени на выполнение различных сварочных работ. Технически обоснованные нормы времени позволяют сварщику производительно использовать рабочее время, полностью загружать сварочное оборудование, а при рациональных приемах сварки перевыполнять установленные нормы и повышать свой заработок.

В норму времени на выполнение сварочных работ входит:

основное, или машинное, время сварки, включающее время горения дуги или время плавления электрода при сварке 1 м шва. Основное время определяют и подсчитывают с учетом технологии сварки, производительности сварочного оборудования и режимов сварки;

подготовительно-заключительное время, которое складывается из затрат времени на получение задания и производственный инструктаж, на настройку и наладку аппаратуры, на сдачу работ. Обычно это время составляет 4—8% основного времени;

вспомогательное время, необходимое на установку детали на рабочее место, поворот ее в процессе сварки, зачистку швов, установление режима сварки и на другие аналогичные операции;

время, затрачиваемое на обслуживание рабочего места, на отдых и естественные надобности.

НОРМИРОВАНИЕ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ

Для определения, или расчета, основного времени сварки необходимо знать массу наплавленного металла, силу сварочного тока и коэффициент наплавки электродов.

Массу наплавленного металла определяют по заданным чертежом размерам шва. Объем наплавленного металла V_H (см³) определяют по формуле

$$V_H = Fl,$$

где F — площадь поперечного сечения шва, см²; l — длина шва, см, Масса наплавленного металла (г)

$$Q_H = V_H \gamma,$$

где γ — плотность металла, г/см³ (для стали $\gamma = 7,8$ г/см³).

Сила сварочного тока определяется условиями сварки, диаметром электрода, положением шва в пространстве и другими данными, устанавливаемыми технологическим процессом.

Количество металла, наплавленного в течение 1 ч горения дуги, отнесенное к единице силы тока I , называют *коэффициентом наплавки*. Его размерность выражается в г/А ч. Обычно коэффициент наплавки обозначают через a_H .

При ручной сварке коэффициент a_H зависит от марки электрода (табл. 284)

284. Зависимость коэффициента наплавки от марки электрода

Марка	Коэффициент наплавки, г/А·ч	Коэффициент перехода металла в шов	Марка	Коэффициент наплавки, г/А·ч	Коэффициент перехода металла в шов
ЦМ 7	11,0	0,90	УОНИ-13/45	9,0	0,95
ЦМ 7С	11,5—12,5	0,90	К-5	9,0	0,73
ОММ 5	7,25	0,80	СКУ	10,7	1,04

При наличии указанных выше величин определяют основное время сварки $t_{св}$ (ч) путем деления массы наплавленного металла (г): на силу сварочного тока (А) и на коэффициент наплавки a_H (г/А ч)

$$t_{св} = \frac{Q_H}{I a_H}.$$

Вспомогательное время при ручной дуговой сварке складывается из времени, затрачиваемого на установку детали на рабочее место, снятие детали, поворот или перемещение ее в процессе сварки, включение и выключение рубильника сварочной машины, смену электродов, зачистку свариваемых кромок перед сваркой, зачистку швов от шлака, осмотр, клеймение швов, переходы от одного участка шва к другому при сварке прерывистых швов и другие операции, необходимые для выполнения основной работы.

Затраты вспомогательного, подготовительно-заключительного времени на обслуживание рабочего места, отдых и естественные надобности составляют в среднем 30—50% и определяются путем хронометражных наблюдений.

285. Удельный расход электроэнергии при сварке

Род тока	К. п. д. сварочного поста	Расход электроэнергии на 1 кг наплавленного металла, кВт·ч	Мощность холостого хода, кВт
Переменный	0,8—0,9	3—4	0,2—0,35
Постоянный	однопостовая установка	0,3—0,6	4—6
	многопостовая установка	0,24—0,5	5—8

Расход электродов подсчитывают по формуле

$$Q_{эл} = Q_n K_3,$$

где K_3 — коэффициент расхода электродов с учетом потерь на огарки, разбрызгивание, угар металла и массу шлака (для качественных электродов с толстой обмазкой $K_3 = 1,40 \div 1,60$, для электродов с тонкой обмазкой $K_3 = 1,20 \div 1,30$).

Расход электроэнергии (кВт·ч), определяемый обычно на 1 кг наплавленного металла, зависит от рода тока (табл. 285).

Норма времени при ручной дуговой сварке обычно дается на 1 м шва заданного сечения или изготовление определенной детали или изделия. Во всех случаях она называется штучным временем.

НОРМИРОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ И ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ ПОД ФЛЮСОМ

Норму времени на автоматическую и полуавтоматическую сварку определяют по тому же методу, что и при ручной дуговой сварке.

Основное время сварки находят по площади поперечного сечения шва, вычисленной по заданным размерам шва. При автоматической сварке основное время при одной и той же толщине металла меньше, чем при ручной сварке. Сила сварочного тока определяется по данным технологического процесса. Коэффициент наплавки зависит от состава проволоки и флюса, от полярности и плотности тока. В среднем коэффициент наплавки составляет 11—18 г/А·ч.

Расход проволоки при автоматической сварке равен примерно массе наплавленного металла

$$Q_{пр} = 1,1Q.$$

Подготовительно-заключительное время состоит из времени на получение задания, ознакомление с работой, получение производственного инструктажа, установку определенного режима сварки, подготовку и установку приспособления, сдачу работы.

Вспомогательное время включает в себя затраты времени на зачистку и осмотр свариваемых кромок, насыпание в бункер флюса, сбор флюса, установку и снятие детали, осмотр швов, клеймение и другие операции, необходимые для выполнения основной работы.

На обслуживание рабочего места при автоматической сварке затрачивают значительно меньше времени, чем при ручной дуговой сварке.

Подготовительно-заключительное, вспомогательное время и время на обслуживание рабочего места и на отдых при автоматической сварке обычно составляет 10—30% основного времени сварки. Расход электроэнергии определяют так же, как и при ручной дуговой сварке.

НОРМИРОВАНИЕ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ

При контактной сварке под нормой времени понимают время, необходимое для выполнения одного свариваемого изделия. Норма выработки в этом случае определяется количеством изделий, свариваемых за час или за смену. Норма времени при контактной сварке складывается также из основного, вспомогательного, подготовительно-заключительного времени, времени на обслуживание рабочего места и на отдых.

Основное время зависит от степени механизации контактной машины и ее мощности. Основное время обычно имеет меньшее значение при работе на механизированных контактных машинах.

Вспомогательное время — время, затрачиваемое на установку заготовок, их центрирование, зажатие (при стыковой сварке), перемещение (главным образом при точечной сварке) и др. Вспомогательное время зависит от конструкции зажимных устройств, требуемой точности при сварке и наличия приспособлений, фиксирующих заготовки.

Подготовительно-заключительное время при контактной сварке имеет сравнительно небольшую величину.

Время обслуживания рабочего места — время, затрачиваемое на подготовку машины к сварке (смена электродов, их зачистка, зачистка контактов контактора).

При нормировании контактной сварки основное и вспомогательное время можно определять по таблицам. Подготовительно-заключительное время, время на обслуживание рабочего места и время на отдых составляют 10—20% суммы основного и вспомогательного времени.

Основное время при стыковой сварке оплавлением можно определять по табл. 286, а вспомогательное время — по табл. 287.

286. Основное время (мин) при стыковой сварке оплавлением

Диаметр заготовки, мм	Время непрерывного оплавления и осадки при сварке на машинах с автоматическим управлением	Время подогрева, оплавления и осадки при сварке на машинах с неавтоматическим управлением	Диаметр заготовки, мм		
			35	50	70
6	0,067	0,067	0,416	0,583	0,70
10	0,117	0,133	—	—	—
16	0,167	0,35	0,750	—	—
22	0,183	0,54	1,0	—	—
28	0,267	0,7	—	—	—

287. Вспомогательное время (мин) при стыковой сварке на машинах с рычажными зажимами

Оснастка зажимов	Масса сваренной детали, кг			
	До 1	Св. 1 до 3	Св. 3 до 5	Св. 5 до 7,5
С упорами и фиксаторами	0,2—0,25	0,25—0,35	0,35—0,45	0,45—0,55
Без упоров, но с фиксаторами	0,3—0,35	0,35—0,45	0,45—0,55	0,55—0,65

Основное время при точечной сварке определяют по формуле

$$t_0 = nt_1,$$

где n — число точек в детали; t_1 — основное (машинное) время на сварку одной точки.

Вспомогательное время при точечной сварке на универсальных одно-точечных машинах стационарного типа определяют по табл. 288.

288. Вспомогательное время (мин) при точечной сварке

Характеристика детали	Масса детали, кг		
	До 1	Св. 1 до 3	Св. 3 до 5
Деталь, собранная, готовая для сварки	0,18	0,21	0,25
Простая деталь, собираемая из двух заготовок, взаимно сопрягающихся без приспособления	0,22	0,30	0,35
Деталь, собираемая из двух заготовок по шаблону . . .	0,27	0,32	0,37
Деталь, собираемая из двух заготовок по шаблону с креплением быстродействующим зажимом	0,34	0,40	0,46

Основное время при шовной сварке определяют по формуле

$$t_0 = \frac{l}{v},$$

где l — длина шва, м; v — скорость сварки, м/мин.

Вспомогательное время при шовной сварке принимают:

Масса детали, кг	До 3	Св. 3 до 5	Св. 5 до 10	Св. 10 до 15
Вспомогательное время, мин	0,30	0,38	0,50	0,60

При контактной сварке происходит износ рабочих контактных частей машины. При стыковой сварке изнашиваются контактные губки, при точечной — электроды, при шовной — ролики, при рельефной — контактные плиты. Быстрота износа этих частей зависит от материала, из которого они изготовлены, от чистоты поверхности свариваемых заготовок и от режима сварки.

Стойкость рабочих частей повышается, если их изготовить из более твердых материалов, тщательно зачищать свариваемые поверхности заготовок от загрязнений, а также зачищать контактные поверхности самих рабочих частей.

При точечной и шовной сварке рабочие контактные части машин следует делать из специальных сплавов, что повышает их стойкость

в 2—3 раза и более. Ориентировочные нормы стойкости рабочих частей и расход меди на их изготовление можно принимать:

Число точек, свариваемых на декапированной стали до полного износа электродов из красной меди	10 000—30 000
Расход меди на сварку 1000 точек при сварке декапированной стали, г	25—70
Число свариваемых стыков до полного износа губок	5 000—15 000
Расход меди на сварку 1000 стыков, г	20—450
Длина шва (м), свариваемого до полного износа роликов из красной меди (при сварке декапированной стали с интенсивным охлаждением роликов)	2000
Расход меди на 100 м сварного шва, г	100—300

Расход электроэнергии при стыковой, точечной и шовной сварке ориентировочно определяют по табл. 289

289. Расход электроэнергии при сварке стальных деталей

Стыковая сварка оплавлением		Точечная сварка на автоматических машинах		Шовная сварка декапированной стали	
Площадь поперечного сечения в месте сварки, мм ²	Расход на сварку одного стыка, кВт ч	Суммарная толщина свариваемых листов, мм	Расход на 100 точек, кВт ч	Суммарная толщина свариваемых листов, мм	Расход на 1 м шва, кВт ч
100	0,006	—	—	—	—
200	0,024	—	—	—	—
300	0,060	2	0,04	0,5	0,04—0,08
500	0,125	4	0,08	1	0,08—0,14
1000	0,400	6	0,13	1,5	0,1—0,20
1500	0,825	8	0,23	2	0,12—0,24
2000	1,275	10	0,38	3	0,25—0,50
2500	1,725	12	0,62	4	0,5—1,00

НОРМИРОВАНИЕ АЦЕТИЛЕНО-КИСЛОРОДНОЙ СВАРКИ

Основное время (мин), затрачиваемое на сварку 1 м шва, определяют по формуле

$$t_{св} = KS,$$

где K — коэффициент, зависящий от типа сварного соединения, вида шва и свариваемого металла (табл. 290); S — толщина свариваемого металла, мм.

Подготовительно-заключительное время включает в себя получение задания, инструктаж, выбор номера наконечника горелки, установку баллонов, зарядку генератора, проверку водяного затвора, сдачу готовой продукции.

Вспомогательное время состоит из времени, необходимого для зажигания и тушения горелки, для регулировки пламени, разогрева свариваемых кромок до плавления, для перехода с одного места сварки на дру-

290. Зависимость коэффициента *K* от вида шва и рода металла

Тип соединения и вид шва	Метод сварки	Свариваемый металл						
		Малоуглеродистая сталь	Средне- и высокоуглеродистая сталь, углерод и медные сплавы	Медь, никель	Алюминий и его сплавы	Магневые сплавы	Свинец	Цинк
Стыковые и угловые с присадочным материалом	Левый	5,0	4,5	4,0	4,0	3,0	3,5	3,5
	Правый	4,0	3,5	3,5	3,5	—	—	—
Отбортовка и угловой без присадочного материала	Левый	4,0	3,5	3,5	3,0	2,0	3,0	3,0
Тавровые	Левый	6,5	6,0	6,0	5,0	4,0	4,0	4,0
	Правый	5,5	5,0	5,0	4,5	—	—	—
Внахлестку	Левый	—	—	—	4,5	—	2,5	3,0
	Правый	—	—	—	4,5	—	—	—

Примечание. При сварке вертикальных швов основное время умножают на 1,2, для горизонтальных швов — на 1,4 и для потолочных швов — на 1,6.

гое, для промера и осмотра шва, очистки кромок и шва, клеймения и уборки изделия.

Время на обслуживание рабочего места, отдых и естественные потребности включает в себя уборку рабочего места, уборку баллонов и аппаратуры.

Обычно подготовительно-заключительное и вспомогательное время, время на обслуживание рабочего места и отдых составляет при газовой сварке 30—50% основного времени.

Примерный расход материалов в зависимости от толщины свариваемого металла *S* для малоуглеродистой стали:

Газы, л на 1 м шва:	
ацетилен	8S
кислород	9,5S
Проволока, г на 1 м шва	10S

НОРМИРОВАНИЕ НАПЛАВОЧНЫХ РАБОТ

При ручной газопламенной наплавке время на наплавку 1 см³ присадочного прутка определяют в зависимости от толщины наплавляемой детали, от номера наконечника сварочной горелки (табл. 291).

Нормой времени при наплавке порошкообразных смесей может служить часовая производительность, при которой наплавляют поверхность площадью 60—100 см², толщиной слоя 1,5—2 мм, при этом масса наплавленного металла составляет 0,15—0,18 кг.

При определении нормы основного времени на механизированную наплавку решающее значение имеет коэффициент наплавки, приведенный в табл. 292.

291. Время наплавки 1 см³ присадочного прутка при ацетилено-кислородной сварке и наплавке

Толщина наплавляемой детали, мм	Номер наконечника	Время наплавки (включая подогрев стали), мин	Толщина наплавляемой детали, мм	Номер наконечника	Время наплавки (включая подогрев стали), мин
1—1,5	1	1,3	10—12	5	0,52
2—4	2	1,1	13—18	6	0,42
5—7	3	0,73	19—30	7	0,38
8—9	4	0,62			

292. Коэффициенты наплавки *K* для низкоуглеродистой проволоки, флюсов ОСЦ-45 и АН-348А (при вылете электрода, равном десяти его диаметрам)

Сила тока, А	Напряжение дуги, В	Коэффициент наплавки, кг/А·ч, при диаметре электродной проволоки, мм				
		3	4	5	6	8
400	27—30	12,3	11,5	—	—	—
500	27—30	13,8	12,6	13,3	—	—
600	32—35	15,4	13,8	14,0	—	—
700	32—35	17,0	16,0	14,8	13,8	—
800	36—38	18,5	—	15,6	14,3	—
900	36—38	—	—	16,3	14,8	14,4
1000	37—40	—	—	17,1	15,2	14,8
1100	38—45	—	—	—	15,7	14,9
1200	38—45	—	—	—	16,1	15,1
1300	38—45	—	—	—	16,7	15,3
1400	38—45	—	—	—	17,3	15,6

При наплавке порошковой проволокой открытой дугой с внутренней защитой коэффициент наплавки равен 13—16 г/А·ч, при этом расход проволоки на 1 кг наплавленного металла составляет 1,25—1,42 кг.

При расчете нормы основного времени на наплавку удобнее использовать часовую производительность, т. е. при определении времени брать количество наплавленного металла тем или иным способом в час. Для простоты расчета можно пользоваться графиком, приведенным на рис. 218. Вспомогательное время определяется по данным хронометража для уникальных деталей и может колебаться от 30 до 150% основного времени. Вспомогательное время для наплавки серийных или часто повторяющихся деталей с учетом постановки их на наплавочную установку, подогрев и снятие с установки обычно составляет от 20 до 35% основного времени.

При ручной дуговой наплавке время наплавки (мин) одной детали *T_н* определяют:

для случая, когда коэффициент наплавки известен,

$$T_n = \frac{60Q_n}{a_n I_{св}} K_n,$$

где a_n — коэффициент наплавки, г/А·ч; $I_{св}$ — величина сварочного тока, А; K_n — коэффициент, учитывающий вспомогательное время на организационно-техническое обслуживание и перерывы на отдых ($K_n = 1,5$);

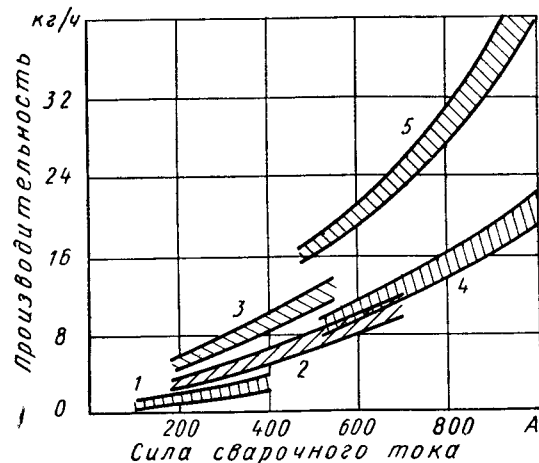


Рис. 218 Производительность наплавки:

1 — штучными электродами вручную; 2 — проволокой сплошного сечения под флюсом; 3 — порошковой проволокой открытой дугой; 4 — порошковой лентой открытой дугой (однодуговая наплавка); 5 — порошковой лентой открытой дугой (двухдуговая наплавка)

для случая, когда коэффициент a_n неизвестен,

$$T_n = t_n F K_n,$$

или

$$T_n = t'_n V K_n,$$

где t_n — время наплавки 1 см³ при определенной толщине; t'_n — время наплавки 1 см³ сплава, мин; V — объем наплавки, см³.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Опыт применения наплавки в народном хозяйстве (материалы, конференции). М., ГОСИНТИ, 1964.
2. Современные методы наплавки и износостойкие материалы. Материалы научно-технической конференции Харьков, Дом техники НТО, 1970, с 49—53, 98—105 и 132—136.
3. Черняк В. С., Воцанов К. П. Справочник молодого сварщика. М., Трудрезервиздат, 1958, с. 459—467.

ГЛАВА 19

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ГАЗОСВАРОЧНЫХ И ГАЗОРЕЗАТЕЛЬНЫХ РАБОТ

Несоблюдение правил техники безопасности при газовой сварке и резке может привести к следующим несчастным случаям: взрыву складов карбида кальция и бензина, а также ацетиленовых генераторов, кислородных баллонов и газификаторов, пожару от брызг расплавленного металла и шлака, от воспламенения бензина и керосина, ожогам газовым пламенем, брызгами металла и шлака.

Безопасная работа при газовой сварке и резке возможна только при правильном обращении с оборудованием, аппаратурой и материалами.

Баллоны служат для перевозки и хранения кислорода и горючего газа (см. гл. 12). Их нельзя бросать и подвергать ударам, перевозить нужно на машинах и повозках, снабженных рессорами, укладывая на специальные подкладки (рис. 219). Выгрузка баллонов с автомашины показана на рис. 220. Перевозить одновременно кислород и горючий газ запрещается. На небольшие расстояния баллоны транспортируют на специальных носилках или тележках с закреплением хомутом каждого баллона. Следует предохранять баллоны и от перегрева солнечными лучами, накрывая их брезентом.

Во время работы баллоны укрепляют в вертикальном положении хомутом или цепью (рис. 221) на расстоянии не ближе 5 м от источников с открытым пламенем и не ближе 1 м от приборов центрального отопления.

Крепление редуктора к вентилю баллона должно быть плотным и надежным. Открывать вентиль нужно плавно, так как при резком открывании возможно его воспламенение. При большом расходе кислорода во избежание замерзания вентиля или редуктора следует устанавливать подогреватели или отбирать кислород одновременно из нескольких баллонов через переносную рампу.

Нельзя расходовать весь газ из баллона. Остаточное давление кислорода в баллоне должно быть не менее 0,5 ат, а ацетилена не менее 0,5—2,0 ат при температуре плюс 15—20° С. В цехе, где работают не более

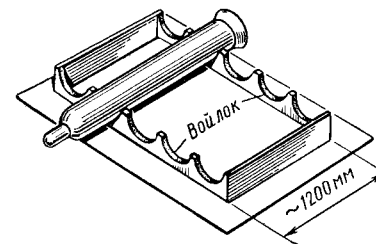


Рис. 219. Деревянные подкладки для перевозки баллонов

10 постов, допускается иметь по одному запасному баллону кислорода и ацетилена для каждого поста и хранить их в несгораемых пристройках. При наличии более 10 постов должно быть устроено централизованное снабжение газами. Склады для хранения наполненных баллонов должны быть одноэтажные с перекрытием легкого типа и не иметь чердачных помещений. Стены, перегородки и перекрытия должны быть из несгораемых материалов, окна и двери открываться наружу, высота не менее 3,25 м.

Расстояния между складами и различными строениями следует выдерживать в соответствии с табл. 293.

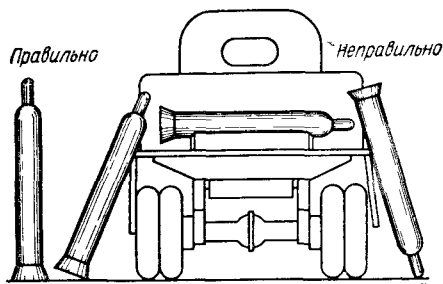


Рис. 220. Выгрузка баллонов с автомашины

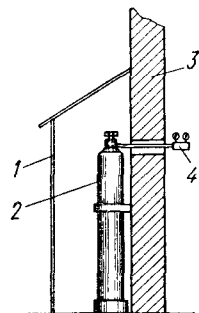


Рис. 221. Крепление баллонов:

1 — железный шкаф,
2 — баллон; 3 — стена
здания, 4 — редуктор

Хранение карбида кальция. Сам карбид кальция невзрывоопасен, но при попадании на него воды разлагается, образуя взрывоопасные смеси ацетилена с воздухом. Во избежание этого при перевозке и хранении карбид кальция упаковывают в герметически закрытые бидоны или барабаны, снабженные надписью «Карбид. Предохранять от сырости».

Барабаны с карбидом при перевозке следует предохранять от толчков и ударов. При разгрузке их скатывают по наклонной плоскости. При вскрытии барабанов следует соблюдать следующие предосторожности: вскрывать барабан только специальным ножом, а не зубилом; во избежание появления искр крышку по месту реза покрывают тонким слоем солидола, нельзя вскрывать барабан вблизи открытого огня.

293. Минимальные расстояния складов баллонов от других строений

Емкость склада баллонов, шт.	Расстояние, м		
	между складами и от производственных зданий	от жилых зданий	от общественных зданий
До 500	20	50	100
Св. 500 до 1500	25	50	100
* 1500	30	50	100

Хранить карбид необходимо в отдельном помещении, отгороженном от генератора и в количестве не более 200 кг. Склады для карбида кальция располагают на высоких местах, чтобы во время паводков и дождей в них не могла попасть вода. Расстояния складов от жилых и производственных помещений указаны в табл. 294.

294. Минимальные расстояния складов с карбидом кальция от других строений

Тип зданий	Расстояние, м, при емкости склада, т		
	До 2	Св. 2 до 20	Св. 20
Жилые	15	25	40
Производственные	10	15	20

Ацетиленовые генераторы и помещения для них. Ацетиленовые генераторы должны обеспечивать автоматическую выработку определенного количества ацетилена в зависимости от отбора газа. Перерыв в отборе газа не должен вызывать выбрасывания ацетилена в атмосферу. Приспособление для загрузки карбида должно исключать возможность ударов кусков карбида о металлическую поверхность во избежание получения искр. Нагрев воды в генераторе выше 60° С не допускается. Для лучшего охлаждения расход воды должен быть 5—10 л на 1 кг карбида. Во избежание замерзания после окончания работы воду из генераторов сливают. Ил выгружают из генератора только после полного разложения данной порции карбида. Иловые ямы устраивают под открытым небом и оборудуют перилами, а также надписями о запрещении проходить мимо них с открытым огнем и курить.

Помещения для стационарных ацетиленовых генераторов строят из несгораемого материала с бетонным или асфальтированным полом и легкой крышей, окна и двери должны открываться наружу. Площадь помещения в зависимости от паспортной производительности генератора должна быть не менее указанной в табл. 295.

295. Площадь помещений для ацетиленовых генераторов

Общая паспортная производительность генератора, м ³ /ч	Минимально допустимая площадь генераторных помещений, м ²	Общая паспортная производительность генератора, м ³ /ч	Минимально допустимая площадь генераторных помещений, м ²
До 5	8	31—50	45
6—10	16	51—75	52
11—20	24	76—100	60
21—30	32	Св. 100	80

Отопление помещения может быть паровое или водяное. Для электрического освещения рекомендуется делать наружную проводку с рефлекторами наружного освещения. В помещении на видном месте должна висеть инструкция по уходу за генератором, утвержденная

Инспекцией охраны труда. Вход в аппаратное помещение с открытым огнем, курение, пользование спичками запрещаются.

Передвижные генераторы производительностью до 3 м³/ч устанавливаются на расстоянии не ближе 10 м от места производства работ и от других источников открытого огня.

Водяные затворы. Каждый генератор должен иметь водяной затвор, установленный по ходу газа до горелок. Для стационарных установках, кроме постовых водяных затворов, независимо от числа постов должен быть установлен центральный водяной затвор. Пропускная способность постовых затворов должна соответствовать максимальному расходу ацетилена в горелке, а центрального — максимальной производительности генератора. Предохранительная пластинка оловянной фольги должна разрываться при давлении до 2,3 ат. Установка более прочных пластинок недопустима. Водяные затворы контролируют каждые 1—2 месяца. Количество воды проверяют каждый раз перед началом работы и после каждого обратного удара. При необходимости воду добавляют до уровня контрольного крапика при выключенной подаче газа. При избыточном давлении газа в магистрали выше 0,1 ат нужно пользоваться только закрытыми затворами.

Редукторы. Перед употреблением редукторы должны быть тщательно проверены. При обнаружении жира или масла на кислородном редукторе его промывают дихлорэтаном, четыреххлористым углеродом или спиртом. Крепление редуктора к вентилю и рукаву должно быть плотным. Необходимо оберегать редукторы от попадания в них окалины, стружек, песчинок, которые могут привести к утечке газа. Исправность работы редуктора проверяют не реже одного раза в неделю.

Рукава. Баллоны или генераторы соединяют с горелками или резаками гибкими резиновыми рукавами оплеточной конструкции по ГОСТ 9356—60*. Для подачи ацетилена и горючего газа с избыточным давлением не более 6 ат используют рукава типа I, для подачи жидкого топлива с избыточным давлением не более 6 ат — бензостойкие рукава типа II, для подачи кислорода с избыточным давлением не более 15 ат — рукава типа III.

Рукава плотно крепят мягкой проволокой или специальными хомутами к редукторам и горелкам. В случае срыва, разрыва или воспламенения ацетиленового рукава необходимо прежде погасить пламя горелки, а затем прекратить доступ горючего из баллона. При воспламенении кислородного рукава прежде закрывают подачу газа из баллона. При замене рукава, выгоревшие внутри, а также с расслоениями, трещинами, выпучинами нельзя вследствие пониженной их прочности. Если повреждена только часть рукава, то ее можно вырезать и куски рукава соединить двусторонним ниппелем (ГОСТ 1078—71). Другое соединение рукавов недопустимо.

Горелки и резаки. Зажигать пламя горелки и резака необходимо в строгой последовательности: сначала немного открывают кислородный вентиль, затем несколько больше — ацетиленовый и смесь тотчас же поджигают. Затем регулируют пламя. Чтобы погасить пламя, сначала закрывают ацетиленовый вентиль, а затем кислородный. Обратный удар может произойти: при несоответствии номера мундштука мощности пламени, вследствие закупорки мундштука, сильного нагрева горелки, неплотной посадки инжектора и мундштука. Обратный удар ведет к срыву, разрыву или воспламенению рукавов и редукторов.

Необходимо строго следить за исправностью горелки. Чистить отверстие мундштука только деревянной палочкой или латунной проволокой. Нагретую горелку охлаждают погружением в ведро с чистой водой, при этом ацетиленовый вентиль должен быть плотно закрыт, а кислородный несколько приоткрыт, чтобы предотвратить попадание воды внутрь горелки.

Рабочее место каждого сварщика должно занимать площадь не менее 4 м², и расположение оборудования должно обеспечивать безопасность работы.

Газорезчики и газосварщики должны работать в рукавицах и спец-одежде, защищающей их от попадания на кожу брызг металла и шлака. Спецодежду (костюм из плотной материи и брезентовые рукавицы) выдают сварщику бесплатно по утвержденным нормам. Для защиты глаз сварщики обязаны работать в очках с защитными стеклами по ГОСТ 9497—60* (табл. 296).

296. Стеклофильтры для защиты глаз сварщиков и вспомогательных рабочих

Обозначение светофильтра	Классификационный номер светофильтра	Марка стекла	Размеры, мм	Назначение
Э-1 Э-2 Э-3 Э-4	9 10 11 12	ТС-3	Прямоугольные 52×102 толщиной 1,5—4,0	Для электросварщиков при силе тока, А: 30—75 75—200 200—400 >400
В-1 В-2 В-3	2 3 4	ТС-1		Для вспомогательных рабочих при работе в цехах То же, при работе на открытых площадках
Г-1 Г-2 Г-3	4 5 6	ТС-2	Круглые диаметром 35—60, толщиной 1,5—3,5	Для газосварщиков при работе на открытых площадках При газовой сварке и резке средней мощности При мощной газовой сварке и резке

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЭЛЕКТРОСВАРОЧНЫХ РАБОТ

Электродуговая сварка. При ручной электродуговой сварке несчастные случаи могут быть в результате поражения электрическим током, светового излучения дуги, а также в результате ожогов каплями металла и шлака.

Поражение электрическим током. В результате действия электрического тока на организм могут быть повреждены нервная система (электрический удар) или кожный покров (ожоги). Характер и степень поражения зависят от величины силы тока и сопротивления тела человека. Сила тока до 0,002 А переносится безболезненно, а 0,05 А — является опасной. Более высокая сила тока может вызвать смерть. Чем выше напряжение и ниже сопротивление, тем сильнее будет поражение током. В сухих помещениях при нормальных условиях работы и исправной сухой одежде и обуви напряжение ниже 36 В, а в сырых помещениях ниже 12 В — безопасно, более высокое напряжение опасно, наибольшую опасность представляет двухполюсное прикосновение (рис. 222).

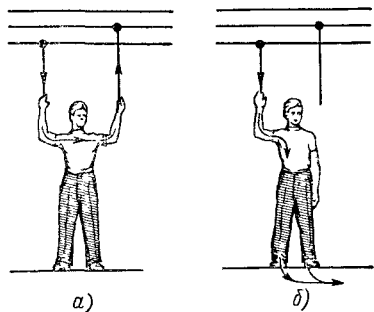


Рис. 222. Схема двухполюсного (а) и однополюсного (б) прикосновения

В случае поражения током пострадавшему необходимо оказать первую помощь: отсоединить его от проводов, предварительно надев резиновые рукавицы или встав на резиновый коврик (ток можно выключить также рубильником, вывертыванием предохранительной пробки или замыканием проводов накоротко, в результате чего перегорят предохранители), обеспечить пострадавшему доступ свежего воздуха (открыть окна и двери или вынести его на улицу), если пострадавший потерял сознание, нужно немедленно вызвать медицинскую помощь, до прибытия врача пострадавшему необходимо производить искусственное дыхание.

Световое воздействие электрической дуги. Электрическая дуга ослепляюще действует на глаза сварщика и других близко находящихся людей. Кроме того, в спектре дуги содержатся невидимые ультрафиолетовые и инфракрасные лучи, вызывающие воспаление слизистой оболочки глаз и ожоги кожи. Для защиты лица и глаз сварщики применяют щитки или маски (ГОСТ 1361—69*) со специальными светофильтрами (ГОСТ 9497—60*). В зависимости от условий работы выбирают стекло светофильтра определенного номера (см. табл. 296). С наружной стороны светофильтр закрывают обычным оконным стеклом, которое меняют по мере его загрязнения.

При заболевании глаз (появление рези, светобоязнь) следует немедленно обратиться к врачу. До получения медицинской помощи можно

делать примочки слабым раствором соды или применять цинковые глазные капли.

Ожоги каплями жидкого металла или шлака. Для предохранения от ожогов каплями металла или шлака сварщик должен иметь спецодежду из трудновоспламеняющегося материала, рукавицы, берет и плотно зашнурованную обувь. Ожоги также могут быть получены при неосторожном обращении с огарками электродов и при сбивании шлака. При сбивании шлака глаза сварщика должны быть защищены очками с простыми стеклами.

При горячей сварке чугуна с подогревом необходимо соблюдать следующие правила: нагретое изделие оградить специальными асбестовыми щитами по форме изделия, тело закрыть асбестовым фартуком, обеспечить приток свежего воздуха к рабочему месту, не вызывая, однако, охлаждения подогретого изделия.

При потолочной сварке необходимо надевать асбестовые нарукавники и плавно завязывать их у кистей рук.

Дополнительные правила при автоматической и полуавтоматической сварке под флюсом и в среде защитных газов. При работе подвесных автоматов и сварочных тракторов питание током осуществляют перемещающимися проводами; кроме того, напряжение в цепях автоматической аппаратуры выше, чем при ручной дуговой сварке, поэтому все неподвижные провода заключают в металлические трубки, а подвижные — в резиновые рукава, обшитые брезентом или обмотанные в два слоя киперной (прорезиненной) лентой.

Все части автоматов и полуавтоматов, которые в случае повреждения изоляции могут оказаться под напряжением, должны быть заземлены. Все болтовые и контактные соединения должны быть плотно зажаты, а наконечники залужены.

Бункер для флюса должен плотно закрываться крышкой. При засыпке флюса в бункер и при уборке использованного флюса надо стараться не поднимать пыли, а также следить за исправностью вентиляции.

Применяемые при сварке защитные газы аргон, гелий, азот и углекислый газ хранят в баллонах под избыточным давлением 150 ат, поэтому обращение с баллонами при их транспортировке, хранении и эксплуатации должно соответствовать правилам Госгортехнадзора (см. раздел техники безопасности при газосварочных работах).

При электрошлаковой сварке имеет место большой объем жидкого металла и шлака. При нарушении технологии возможны выбросы жидкого металла, поэтому надо строго следить за уровнем ванны, за состоянием системы подачи воды. Категорически воспрещается во время сварки находиться под ползуном, подкладкой или формой, чтобы при вытекании жидкий металл или шлак не попали на одежду и тело. Спецодежда и светофильтры для защиты глаз такие же, как при ручной сварке.

Контактная сварка. Корпусы машин должны быть обязательно заземлены. Переключение ступеней, включение игнитронных и тириatronных прерывателей, перестановка и зачистка электродов должны производиться при выключенном рубильнике. Необходимо следить за исправностью водоохлаждающих рукавов.

Во время работы сварщик должен иметь фартук, рукавицы и очки с простыми стеклами для защиты глаз от брызг. Место работы, где

производится стыковая сварка оплавлением, должно быть ограждено щитами, чтобы не мешать другим рабочим; хранение каких-либо горючих материалов в таком помещении запрещено.

ВЕНТИЛЯЦИЯ

Основными профессиональными заболеваниями сварщиков являются пневмокониоз и интоксикация марганцем, характер развития которых и тяжесть течения зависят от концентрации сварочного аэрозоля и газов в зоне дыхания сварщиков.

Для устранения нарушения газовой защиты сварочного шва подвижность воздуха в рабочей зоне при ручной дуговой электросварке качественными электродами должна быть в пределах 0,3—0,9 м/с в зависимости от марки электрода, при сварке в углекислом газе — не более 0,5 м/с, в инертных газах — не более 0,25 м/с, при электрошлаковой сварке и сварке и наплавке под флюсом — может быть до 1,5—7,0 м/с.

При газопламенной обработке металлов сжиженными газами и отсутствии местных отсосов $\frac{2}{3}$ воздуха следует удалять из нижней зоны помещения и $\frac{1}{3}$ из верхней.

Министерством здравоохранения СССР установлены следующие нормативы расчета общеобменной вентиляции: для ручной электродуговой сварки покрытыми электродами от 2000 (тонкопокрытые, ОМА) до 6000 (фтористокальциевые УОНИ-13, ОЗС-2 и т. п.) и 8000 м³ (рудно-кислые и ильменитовые ОММ-5, ЦМ-7, СМ-5) на 1 кг израсходованных электродов, для сварки титана и его сплавов — 1000, алюминия и его сплавов — от 2000 (неплавящимся электродом) до 10 000 (плавящимся электродом в среде аргона и гелия), меди и чугуна — 7000 м³ на 1 кг израсходованных электродов.

Для дуговой и электрошлаковой сварки под флюсом 1000 м³ на 1 кг присадочной проволоки, для полуавтоматической сварки в среде защитных газов — 3000, порошковыми проволоками с внутренней защитой рутилового типа — 4000, карбонатно-флюоритового — 6000 м³ на 1 кг проволоки.

Министерством здравоохранения СССР установлены также следующие величины предельно допустимых концентраций вредных газов и аэрозолей (мг/м³):

Бериллий и его соединения	0,001
Свинец и его неорганические соединения	0,01
Торий	0,05
Озон	0,1
Хромовый ангидрид, хроматы, бихроматы (в пересчете на CrO ₃)	0,1
Марганец (в пересчете на MnO ₂)	0,3
Пыль окислов железа, содержащая менее 10% общей SiO ₂ , 1,5—3% окислов марганца и до 10% других окислов металлов	6,0

ПРОТИВОПОЖАРНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

При дуговой электросварке открытой дугой, а также при контактной сварке оплавлением и газовой сварке и особенно резке брызги расплавленного металла разлетаются на значительные расстояния, вызывая пожарную опасность. Поэтому сварочные цехи должны сооружаться

из негорючих материалов. Используемые для этой цели деревянные постройки должны быть оштукатурены или окрашены огнестойкой краской. В местах сварки недопустимо скопление воспламеняющихся смазочных материалов, обтирочной ветоши и т. п.

При газовой сварке и резке возможность взрывов и пожаров обусловлена также применением таких веществ, как кислород, ацетилен, метан, пары бензина и керосина, которые в смеси с воздухом могут взрываться при повышении температуры или давления. С медью, серебром и ртутью ацетилен образует соединения, которые могут взрываться при температуре выше 120° С от ударов и толчков. При воспламенении барабана с карбидом или ацетиленового генератора для тушения огня необходимо пользоваться сжатым азотом или углекислотными огнетушителями.

Для быстрой ликвидации очагов пожара вблизи места сварки всегда должны находиться бочка с водой и ведро, ящик с песком и лопата, а также ручной огнетушитель. Пожарные краны, рукава, стволы, огнетушители, песок, и другие средства пожаротушения необходимо содержать в исправности и хранить в определенных местах по согласованию с органами пожарного надзора.

Пожар может возникнуть не сразу, а спустя некоторое время после окончания работ. Поэтому при окончании работы необходимо внимательно проверить, не тлеет ли что-нибудь, не пахнет ли дымом и гарью.

ПРАВИЛА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Состояние изоляции проводов проверяют не реже одного раза в месяц, а осмотр подвижных контактов, переключателей, рубильников и клемм — не реже одного раза в три дня.

Напряжение холостого хода на зажимах генератора или трансформатора не должно превышать 110 В для машин постоянного тока и 70 В для машин переменного тока. Сварочные машины должны находиться под наблюдением специалистов. Установку и ремонт их могут производить только электромонтеры.

Корпусы сварочной аппаратуры и источников тока необходимо заземлять. Кроме того, обязательно должно быть заземлено свариваемое изделие. Заземление сварочных агрегатов на контур производят присоединением медного провода сечением не менее 6 мм² или железного сечением не менее 12 мм² к какой-либо точке корпуса и к трубе диаметром 37—50 мм, длиной 1—2 м. Трубу закапывают в землю. Вместо трубы можно использовать полосовую сталь толщиной не менее 4 мм, сечением 48—50 мм².

Категорически запрещается использовать контур заземления в качестве обратного провода сварочной цепи. При появлении напряжения на частях аппаратуры и оборудования, не являющихся токоведущими, необходимо прекратить сварку и вызвать мастера или дежурного электрика. Номинальная сила тока плавких предохранителей не должна превышать указанного в схеме.

Установку стационарных сварочных трансформаторов и генераторов следует выполнять так, чтобы ширина свободного прохода между токоведущими частями была не менее 1,5 м. Все электросварочные установки снабжают пусковыми реостатами, а также измерительными приборами, обеспечивающими возможность непрерывного контроля за работой установки. Устройства для переключений должны быть защищены кожухами, но иметь свободный подход. Электросварочные установки снабжают схемами и инструкциями, объясняющими назначение каждого прибора и его действие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 *Справочник по технике безопасности и производственной санитарии. Т. 3, Правила, нормы, инструкции.* Л., «Судостроение», 1972, с. 112—255.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Автомат сварочный дуговой 135
Автоматы для аргоно-дуговой сварки 217
 — для сварки кольцевых швов 146
 — — — плавящимся электродом в среде защитных газов 218
 — для электрошлаковой сварки 207
 — конструкции Института электросварки им. Е. О. Патона 138
 — сварочные — Классификация 135
 — шланговые 146, 147
Азот — Влияние на сталь 10
Алюминий — Автоматическая сварка 403
 — Аргоно-дуговая сварка 403
 — Газовая сварка 406
 — Обработка швов 408
 — Подготовка под сварку 402
 — Покрытия электродов 404, 405
 — Режимы сварки 223, 403, 405, 406, 407
 — Свойства 402
 — Структура сплавов 30
 — Термообработка после сварки 408
 — Флюсы 404
 — Электроды металлические 403
Аппараты для повышения устойчивости горения дуги 62
Ацетон 374

Б

Баллоны 379, 497
Бронза — Дуговая сварка 415
 — Газовая сварка 415
 — Термообработка после сварки 415

В

Ванадий — Содержание в стали и влияние на сварку 34
Ванна сварочная 6
Вентиляция помещений 504
Включения шлаковые в сварных швах 15—16
 — Состав 15
 — Факторы, влияющие на величину и количество 15
Вольфрам — Применение для электродов 222
 — Содержание в стали и влияние на сварку 34
Время вспомогательное 488, 490, 494, 493, 495
 — на обслуживание рабочего места 488, 490, 494
 — основное 488, 490, 491, 492, 493, 494
 — подготовительно-заключительное 488,
 — существования сварочной ванны 6
ВТУ ВЛ № 24—5—62 222
ВТУ МХП 0446—54 220
ВТУ МХП 1848—52 402
Выпрямители сварочные — См. *Установки сварочные выпрямительные*

Г

Газовая защита металла при сварке 9
 — активными газами 10
 — инертными газами 10
Газообразование в процессе плавления электрода 5
Газы активные 10
 — в металле 16
 — горючие 375
 — защитные 213, 220, 222

- Генератор** сварочный повышенной частоты 62
- Генераторы** ацетиленовые 376, 499
- для сварки в среде защитных газов 69
- многополюсные 70
- с намагничивающей параллельной и размагничивающей последовательной обмотками возбуждения 66
- с независимым возбуждением и размагничивающей последовательной обмоткой 65
- Генераторы** сварочные — Параллельная работа 80
- Уход 81
- Гибочные работы** 366
- Глубина провара** — Влияние силы тока и диаметра проволоки при автоматической сварке под флюсом 158
- Головка** сварочная 135
- многодуговая 137, 140
- подвесная 136
- самоходная 136
- Горелки** газовые 382, 500
- газозлектрические 215, 216, 228
- Группы** сталей по свариваемости 44
- по технологической свариваемости 35
- углеродистых обыкновенного качества 319, 321, 322, 323
- ГОСТы** 297—73 249
- 380—71 * 45, 319, 323
- 462—51 * 402
- 949—73 349
- 977—65 * 45
- 1012—72 402
- 1050—60 ** 45, 129, 327
- 1078—71 500
- 1361—69 ** 90
- 1415—70 100
- 1435—54 * 45
- ГОСТы** 2246—70 * 92, 93, 94, 135, 230, 233, 234, 237, 396, 452, 453, 470
- 2283—69 *** 452
- 2284—69 * 452
- 2.312—72 343
- 2768—69 402
- 3022—70 221
- 4414—48 99
- 4415—48 * 99
- 4416—73 99
- 4417—48 * 99
- 4418—48 99
- 4421—73 99
- 4422—48 * 99
- 4543—71 45, 327, 453
- 4755—70 * 100, 392
- 4757—67 100
- 4759—69 101
- 4760—49 * 101
- 4761—67 * 101
- 4784—65 * 329
- 4986—70 452
- 5058—65 * 45, 323, 327
- 5165—49 * 100
- 5520—69 * 45
- 5632—72 45, 327
- 5950—73 45, 46
- 6713—53 327
- 7512—69 483
- 7871—63 403
- ГОСТы** 8050—64 *** 221, 230, 233
- 8713—70 163
- 9087—69 * 129, 470
- 9293—59 221
- 9356—60 * 382, 500
- 9389—60 * 452, 453
- 9466—60 470
- 9467—60 97, 98, 102, 103, 105
- 9497—60 * 501
- 9849—61 * 394
- 10051—62 97, 106, 115, 116, 470
- 10052—62 * 97, 106, 108, 112, 113, 470
- 10157—73 220, 223
- 10543—63 135, 452, 453, 470
- 12766—67 * 452, 453
- 14111—69 264
- 14959—69 45
- 15164—69 185
- 16773—71 101
- 17293—71 101
- 18143—72 453
- 19265—73 46
- Д**
- Деформации** сварочные — Методы предотвращения и устранения 357

- Механизм образования 351
- остаточные — Влияние на качество конструкций 356
- элементов конструкций — Предельные значения 337
- Диаметр электрода** — Влияние на форму шва при автоматической сварке под флюсом 157, 158
- Диссоциация** 9
- Дроссель** 53
- Дуга сварочная** — Зажигание 117
- Напряжение 49
- Определение 49
- Световое воздействие на человека 502
- Статическая вольт-амперная характеристика 49
- Дуга сварочная переменного тока**
- Напряжение зажигания 50
- Способы настройки режима 53
- Требования к источникам питания 51
- З**
- Заготовка** деталей под сварку 364
- Закись железа** — Влияние на металл 11
- Затворы водяные** 377, 500
- Защита газовая** 9
- Знаки** вспомогательные для обозначения сварных швов 344
- Зона сплавления** 33
- термического влияния — Величина 25 — Определение 25 — Участки 24
- И**
- Инструмент** сварщика дополнительный 91
- Испытания на свариваемость** 35—44
- Исследования на машине ИМЕТ-4 40
- Методика ЛТП-4 42
- Метод Кировского завода 39
- Метод МВТУ им. Баумана 35
- Проба Института электросварки им. Е. О. Патона 39
- Испытания сварных швов** механические 476—480
- на плотность 473—475
- Источники питания** переменного тока — Внешняя характеристика 51
- постоянного тока 65—79
- К**
- Кабины** рабочие 89
- Кантователь** 152, 371
- Карбид кальция** — Хранение 498
- Кислород** 10, 374
- Классификация сталей** по свариваемости 44—48
- по структуре 26
- Класс стали** аустенитный 8
- карбидный 29
- мартенситный 28
- перлитный 27
- ферритный 29
- Коагуляция** 15
- Кондукторы** 371
- Контакты** типа КИА 257
- Контроль** заготовок 471
- исполнения технологического процесса 472
- основного металла 469
- сборка 471—472
- сварочной проволоки 470
- флюсов 470
- электродов 470
- Контроль готовых изделий** — Вакуум — Испытания 474
- Гидравлические испытания 474
- Испытания аммиаком 474
- Испытания керосином 474
- Испытания с помощью течеекателей 475
- Люминисцентный метод 484
- Магнитный метод 485
- Металлографические исследования 486
- Механические испытания 475—480
- Осмотр и обмер 472
- Пневматические испытания 474
- Просвечивание гамма-лучами 482
- Рентгеновское просвечивание 480
- Ультразвуковой метод 483
- Концентрация** вредных газов — Предельно допустимые величины 504

- Коэффициент** запаса прочности 333
 — концентрации напряжений эффективный 337, 342
 — наплавки 488, 495
 — потеря 114, 165
 — усвоения легирующих элементов 13
 — усиления 155
 — форма усиления швов 155, 156, 163
 — проплавления шва 155, 156, 165
- Кремний** — Содержание в стали и влияние на сварку 34
- Кристаллизация** 17

Л

- Латунь** — Газовая сварка 415
 — Дуговая сварка 413
 — Контактная сварка 273
 — Сварка в среде защитных газов 414
 — Термообработка после сварки 415
- Легиrowание** металла шва 13—14
 — наплавленного металла 450
- Лента** порошковая для наплавки 454
 — электродная для наплавки 452
- Ликвация** 20

М

- Магнитные сплавы** — Режимы аргоно-дуговой сварки 225
- Манипуляторы** сварочные 153, 154, 353
- Марганец** — Содержание в стали и влияние на сварку 34
- Материалы** для ацетилено-кислородной сварки — Расход 494
 — для электрошлаковой сварки 187
 — наплавочные — Выбор 422
 — электродные для контактной сварки 262
- Машина** фотокопировальная для газовой резки 393
- Машины** газорезательные 391
- Медь** — Газовая сварка 412
 — Дуговая сварка 408
 — Покрывные электродов 409
 — Режимы сварки 409, 410, 411, 412, 413
 — Сварка в защитных газах 412
 — Термообработка после сварки 412
 — Флюсы 409, 413
 — Холодная сварка 313
- Металл наплавленный** — Химический состав 8
- Металлы** — Механические свойства 40, 320
- Молибден** — Содержание в стали и влияние на сварку 34

Н

- Наплавка** аргоно-дуговая 433, 437
 — в защитных газах 436—437
 — вибродуговая 437—438
 — газопламенная 444
 — механизированная — Способы 435
 — плавящимся электродом в защитных газах 444
 — плазменной дугой 444
 — под флюсом 436
 — порошковой проволокой 439—442
 — ручная 432—435
 — тел вращения 449
 — электрошлаковая 442—444
- Наплавка** — Нормирование 495—496
 — Режимы 433, 438, 442, 443, 449, 450
 — Способы и назначения 423
- Напряжение** дуги — Влияние на форму шва при автоматической сварке под флюсом 157
- Напряжения** в сварных соединениях — допускаемые 332 — Методы устранения 356 — Механизм образования 351
 — остаточные 354 — Влияние на прочность 355
 — собственные 350
- Научная организация труда** (НОТ) 89
- Натяжение** поверхностное 15
- Никель** — Сварка 420
 — Содержание в стали и влияние на сварку 34

- Ниобий** — Содержание в стали и влияние на сварку 34
 — Аргоно-дуговая сварка 226
- Норма времени** на сварочные работы 488, 494

О

- Обозначения условные** легирующих элементов 92
 — сварных швов 343
- Образцы** для испытания механических свойств — Размеры 476, 477, 478, 479, 480
- Ожоги** 503
- Окисление** металла газами 11
 — окислами 12
 — шлаками 11
- Осцилляторы** 62, 64, 214
- Очки** защитные 501

П

- Параметры** технологические электрошлаковой сварки прямолинейных стыков 180
- Перлит** 22
- Пламя** сварочное — Зоны 384
- Плотность тока** при автоматической сварке под флюсом — Влияние на форму шва 158
 — Допускаемые значения 166
- Подготовка кромок** — Влияние на форму шва при автоматической сварке под флюсом 160
- Покрывтия электродов** для сварки алюминия 404, 405
 — для сварки бронз 416
 — меди 409
 — никеля 420
 — чугуна 463, 465
- Покрывтия электродов** из монель-металла 465
 — из никелевого аустенитного чугуна 465
- Покрывтия электродов** — Компоненты 96
 — Назначение 96
 — Химический состав компонентов 99
- Полиморфизм** 17

- Полуавтоматы** для сварки плавящимся электродом в среде защитных газов 218
 — для электрошлаковой сварки 207
 — шланговые 146, 147
- Помещения** для ацетиленовых генераторов 499
- Поры** 16, 17, 457
- ПР%** (ПВ%) 52, 249
- Правила** безопасности при сварке 501
- Правила** электротехнической безопасности 505—506
- Припуски** при контактной сварке 268, 270, 271
- Процессы** в сварочной ванне 6
- Провода** сварочные 91
- Проволока** порошковая 439, 440, 454, 455
 — стальная сварочная 92 — Размеры и масса мотков 93 — Химический состав 94
- Проволока** электродная для наплавки 437, 452
 — для сварки под флюсом 135 — Расход при автоматической и полуавтоматической сварке 490

Р

- Рабочее место** сварщика 89, 501
- Разметка** деталей 364
- Раскисление** металла при сварке 12—13
- Расчет** на прочность сварных соединений
 — Методы 332
 — Формулы 338
- Регуляторы** электронные 257
- Редукторы** 379, 500
- Режимы** сварки — см. по видам сварки и свариваемым металлам
- Резаки** 387, 500
- Резка** воздушно-электродуговая 398—401 — Режимы 399
 — дуговая металлургическим электродом 396—397 — Режимы 397
 — угольным электродом 397—398

- кислородная 386—394 — Оборудование 387 — Технология 394
- кислородно-дуговая 398
- кислородно-флюсовая 394—395
- Рукава 228, 381, 500

С

- Сборка под контактную сварку 266
- под электрошлаковую сварку 187
- сварных конструкций 368
- элементов для автоматической сварки 167
- Свариваемость — Методы испытания 35 — Определение 33
- технологическая 35
- Сварка автоматическая под флюсом 126—177
- Выделение вредных газов 128
- Высота слоя флюса 126
- Горячие трещины 127
- Механические свойства металла шва 126
- Напряжение дуги 157
- Нормирование 490
- Отделимость шлаковой корки 128
- Поры в сварных швах 127
- Преимущества 127
- Производительность 126
- Режимы сварки — Расчет 162
- Устойчивость процесса 127
- Формирование шва 128
- Сварка азотно-дуговая 212—213
- Сварка аргоно-дуговая — Материалы 216
- Оборудование 214
- Режимы 222
- Сварка в замок 169
- Сварка в смеси углекислого газа и кислорода 236
- Сварка в углекислом газе 226—241
- Материалы 228
- Оборудование 227
- Технология и режимы 230
- Сварка газовая 374—385 — Нормирование 493
- Сварка газопрессовая 385
- Сварка диффузионная в вакууме 296
- Режимы 297
- Установки 298

- Сварка контактная рельефная 246 — Машины 254 — Режимы 274, 278
- роликотая — Дефекты и причины возникновения 283 — Машины 260 — Подготовка заготовок 265 — Нормирование 490 — Режимы 279, 280, 281 — Типы соединений 279 — Характеристики и области применения 246 — Электроды 260, 265
- стыковая — Дефекты и причины возникновения 282 — Машины 250—254 — Подготовка заготовок 265 — Режимы 266 — Способы и область применения 243 — Электроды 260
- точечная — Дефекты и причины возникновения 283 — Машины 254 — Подготовка заготовок 265 — Последовательность операций — Применение 246 — Режимы 274, 275 — Схемы циклов 245 — электроды 260, 264, 265
- Сварка контактно-шлаковая 183
- Сварка латуни — см. *Латунь*
- Сварка меди — см. *Медь*
- Сварка — Определение 5, 33
- Характеристика процесса 33
- Сварка никеля — см. *Никель*
- Сварка плазменной дугой 285—288
- Аппаратура 287, 288
- Режимы 287
- Сварка под флюсом высоколегированных сталей 175
- высокоуглеродистых сталей 173
- двухслойных сталей 176
- легированных конструкционных сталей 175
- среднеуглеродистых сталей 173
- Сварка проводов медных с алюминиевыми холодная 314
- Сварка ручная дуговая — Зажигание сварочной дуги 117 — Нормирование 488 — Подбор силы тока и диаметра электрода 121 — Положение и перемещение электрода 117 — Порядок выполнения швов 119

- стали высоколегированной 124
- высокомарганцовистой 125
- инструментальной 125
- легированной 122
- низколегированной 123
- низкоуглеродистой 122
- среднелегированной 124
- углеродистой 122
- хромистой 124
- Сварка сопротивлением (контактная) 267
- Сварка с использованием ультразвука 293—296
- Режимы 294
- Установки 295
- Сварка трением 302—305
- Машины 306
- Режимы 303
- Сварка холодная — Длина вылетов рекомендуемая 313 — Машины 315
- внахлестку 305
- непрерывным швом (шовная) 311
- стыковая 311
- точечная без предварительного зажатия деталей 308
- с односторонним деформированием 309
- с предварительным зажатием деталей 308
- чугуна 460
- Сварка чугуна горячая 468
- полугорячая 467—468
- холодная 461—467 — Газовая 466 — Медными электродами 464 — С помощью шпилек 461 — Стальными электродами 461, 462 — чугунными электродами 263 — электродами из монель-металла 465 — электродами из никелевого аустенитного чугуна 465
- Сварка электронно-лучевая 289—292
- Режимы 290
- Установки 291
- Сварка электрошлаковая — Аппараты сварочные 199
- Возбуждение дуги 194
- Зазор между деталями 185, 189
- Параметры режимов 189, 195
- Преимущества 179
- Разновидности 179
- Сборка под сварку 187
- Способы наведения шлаковой ванны 193
- Сущность процесса 178
- Типы и виды швов 186
- Толщина свариваемых деталей 179, 185
- Требования к заготовкам и материалам 187
- Условные обозначения типов соединений 184
- Флюсы 187
- Сварка электрошлаковая контактно-шлаковая 183
- ленточными электродами 183
- плавящимся мундштуком 180 — Изоляция мундштука 191
- пластинчатыми электродами 179, 182
- подплавляющимся мундштуком 183
- проволочными электродами 179, 192
- Сварщики — Проверка квалификации 472
- Спецодежда 501
- Сила сварочного тока при автоматической сварке под флюсом 156
- Система флюс-электродная проволока при автоматической сварке 129
- Скорость охлаждения после наплавки 445
- подачи электродной проволоки при автоматической сварке под флюсом 165
- сварка 6, 159, 166
- Смеси экзотермические 194
- Соединения сварные — Классификация 330
- стыковые — Выполнение автоматической сваркой под флюсом 168
- типы и применение 330
- угловых, выполнение автоматической сваркой 172
- Сплавы алюминиевые — Механические свойства 328 — Применение для сварных конструкций 329

- дисперсно-твердеющие для наплавки 431
 - для индукционной и газопламенной наплавки 434
 - на основе кобальта для наплавки 430
 - меди для наплавки 430
 - никеля для наплавки 430
 - твердые для наплавки 432
 - титановые — Применение и свойства 329
 - Способы настройки режима сварки** 52
 - Стабилизаторы импульсные** 64
 - Стали для наплавки высокомарганцовистые** 428
 - высокоуглеродистые 428
 - высокохромистые 428
 - низколегированные 427
 - низкоуглеродистые 427
 - углеродистые 427
 - хромовольфрамомолибденовые 429
 - хромоникелевые аустенитные и аустенитно ферритные 429
 - Стали** — Рекомендации по применению 326
 - термически упрочненные низколегированные 327, 328
 - углеродистые обыкновенного качества — Группы по назначению и гарантируемыми характеристикам 319
 - Стенды роликовые** 152
 - Степень кислотности шлака** 7
 - Структура металла** — Виды 18
 - Исследование изменений при сварке 40
- Т**
- Тантал** — Аргоно-дуговая сварка 226
 - Тележки самоходные** 150
 - Технические условия** — Содержание 362
 - Титан** — Автоматическая сварка под флюсом 418
 - Аргоно-дуговая сварка 225, 417
 - Контактная сварка 418
 - Содержание в стали и влияние на сварку 34
 - Термообработка после сварки 419

- Толщина металла, свариваемого автоматической сваркой в один слой** 163
 - Тракторы сварочные** 137, 143, 145
 - Трансформаторы сварочные** для автоматической и полуавтоматической сварки под флюсом 59—65
 - для сварки трехфазной дугой 61
 - классификация 53
 - параллельная работа 79
 - с повышенным магнитным расстоянием 53
 - уход 81
 - характерные неисправности 81
 - Трещины** в сварных швах 20—21
 - при наплавке 457
 - склонность металла к образованию 42
 - ТУ ВМ2—529—57** 222
 - ТУ МХП 4196—54** 220
 - ТУ—ЦНИИТМАШ** 99
- У**
- Углекислый газ** 228
 - Углерод** — Содержание в стали и влияние на сварку 34
 - Угол наклона электрода и изделия** — Влияние на форму шва при автоматической сварке под флюсом 160
 - Усадка наплавленного металла** 20
 - сварных соединений 357
 - Условные обозначения легирующих элементов** 92
 - сварных швов — Состав 343
 - типов сварных соединений выполняемых электрошлаковой сваркой 184
 - Установка для кислородной резки** 390
 - Установки сварочные выпрямительные** 65, 71, 75
 - Возможные неисправности 86
 - Уход 83
- Ф**
- Флюсоаппарат всасывающего действия** 150
 - смешанного действия 150

- Флюс пассивный** 133 — Состав 134
- Флюсы для автоматической сварки алюминия** 405
 - для наплавки 451
 - для сварки алюминия 403, 404
 - меди и ее сплавов 413
 - чугуна 466
 - для электрошлаковой сварки 187
- Флюсы керамические** 133—135, 456
- Флюсы** — Классификация 129
 - Применение 130
 - Требования 127—129

Х

- Химический состав плавящихся 132
- Херрит** 22
- Ферросплавы** — Химический состав 100
- Формула Джоуля** — Ленца 242
- Характеристика** внешняя источника питания дуги 51
- Хром** — Содержание в стали и влияние на сварку 33

Ц

- Цемент** 22
- Цирконий** — Аргоно-дуговая сварка 226

Ч

- Чугун высокохромистый для наплавки** 429
 - никелевый для электродов 465
 - сварка — см. *Сварка чугуна*
 - свойства 459
 - серый 30
 - факторы, затрудняющие сварку 459

Ш

- Шлак** — Определение 7
 - Состав 7

- Степень кислотности 7
- Требования 9
 - Химический состав 8
- Шлемы** 90
- Шов сварной** — Соотношение между основным и электродным металлом 7
 - форма и размеры при автоматической сварке под флюсом 154

Щ

- Щитки** 90

Э

- Эквивалент углерода** — Формула для оценки свариваемости 162
- Электрододержатели** 90
- Электроды** — Влияние диаметра на форму шва при автоматической сварке под флюсом 157
 - Классификация 96
 - Обозначение покрытий 98
 - Покрытия 90 — см. также *Покрытия электродов*
 - Размеры 97
 - Расчет расхода 107, 489
- Электроды металлические вольфрамовые** 222
 - для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами 116
 - для сварки алюминия 403
 - медные для сварки чугуна 464
 - стальные для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами 106, 108, 112
 - конструкционных сталей 98, 102, 103
 - низколегированных сталей 98
 - теплоустойчивых сталей 98, 105, 106
 - чугунные 463
- Электроэнергия** — Расход 489, 493

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие к третьему изданию	3
Глава 1 Металлургические основы дуговой сварки (В В Степанов)	5
Процессы, протекающие при сварке	5
Сварочные шлаки	7
Газовая защита электрической дуги	9
Окисление металла при сварке	10
Раскисление металла при сварке	12
Легирование металла шва	13
Шлаковые включения в сварных швах	15
Газовые поры в сварных швах	16
Кристаллизация металла шва	17
Ликвидация и усадка	20
Трещины в сварных швах	20
Список литературы	21
Глава 2 Изменение структуры и свойств металлов и сплавов при сварке (В В Степанов)	22
Микроструктура металла шва	22
Микроструктура металла зоны термического влияния	23
Величина зоны термического влияния	25
Влияние легирующих элементов на структуру металла	26
Список литературы	32
Глава 3 Свариваемость металлов (В В Степанов)	33
Общие понятия о свариваемости	33
Влияние легирующих элементов и примесей	33
Технологические факторы, влияющие на свариваемость	34
Испытание на свариваемость	35
Классификация сталей по свариваемости Краткие рекомендации по технологии сварки	44
Список литературы	48
Глава 4 Источники питания сварочной дуги (М Я Шатов)	49
Электрическая сварочная дуга	49
Источники питания переменного тока	53
Трансформаторы для автоматической и полуавтоматической сварки под флюсом	59
Источники питания постоянного тока	65
Параллельная работа источников питания сварочной дуги	79
Уход за источниками питания сварочной дуги	81
Список литературы	88
Глава 5 Ручная электродуговая сварка (И В Петулин)	89
Организация рабочего места сварщика	89
Электроды для сварки и наплавки	92
Технология ручной дуговой электрической сварки	117
Техника выполнения шва и режим сварки	117
Сварка низкоуглеродистых сталей	122
Сварка углеродистых сталей	122
Сварка легированных сталей	122
Список литературы	125

Глава 6 Автоматическая сварка под флюсом (М И Рази-ков)	126
Сущность и преимущества автоматической сварки	126
Флюсы и электродная проволока для автоматической сварки и наплавки	127
Требования к флюсам	127
Классификация флюсов	129
Система флюсов и электродной проволоки	129
Керамические флюсы	133
Электродная проволока	135
Оборудование для автоматической сварки	135
Типы сварочных автоматов	135
Специализированные сварочные автоматы	146
Оборудование автоматических сварочных установок	149
Флюсовые аппараты	149
Самоходные тележки	150
Кантователи и манипуляторы	152
Технология автоматической сварки под флюсом	154
Влияние технологических факторов на форму швов	156
Влияние режима сварки на форму швов	156
Приближенный расчет режимов автоматической сварки под флюсом	162
Подготовка и сборка под сварку	167
Технологические способы выполнения сварных соединений	168
Список литературы	177
Глава 7 Электрошлаковая сварка (Г Т Копытов, Л Ф Цыкарев)	178
Сущность процесса и разновидности электрошлаковой сварки (ЭШС)	178
Типы и конструктивные элементы сварных соединений и швов	185
Технология сборки и сварки	186
Оборудование	199
Список литературы	210
Глава 8 Дуговая сварка в среде защитных газов (Г Т Копытов)	211
Азотно-дуговая сварка	212
Дуговая сварка в среде аргона и его смесях с активными газами	213
Дуговая сварка в углекислом газе	226
Список литературы	241
Глава 9 Электрическая контактная сварка (А А Фофанов)	242
Основы контактной сварки	242
Основные виды контактной сварки и их применение	243
Оборудование для контактной сварки	249
Основные показатели машин	249
Машины для стыковой сварки	250
Машины для точечной и рельефной сварки	254
Машины для роликовой сварки	260
Электроды контактных машин	260
Технология контактной сварки	265
Подготовка заготовок к сварке	265
Стыковая сварка	266
Точечная сварка	273
Рельефная сварка	274
Роликовая сварка	279
Дефекты и контроль качества	282
Список литературы	284
Глава 10. Новые способы сварки (В В Степанов, Р В Балаябин)	285
Сварка плазменной дугой	285
Электронно-лучевая сварка	289
Сварка с использованием ультразвука	293
Диффузионная сварка в вакууме	296

Сварка трением	302
Холодная сварка	305
Список литературы	317
Глава 11. Основы производства сварных конструкций (И. П. Никонов, Ю. А. Денисов)	318
Преимущества и области применения сварных конструкций	318
Рекомендации по выбору материалов для сварных конструкций	319
Типы сварных соединений	330
Расчет сварных соединений на прочность	332
Обозначение швов сварных соединений	343
Сварочные напряжения и деформации	350
Технологический процесс производства сварных конструкций	362
Список литературы	373
Глава 12. Газовая сварка и резка (Ю. А. Маслов)	374
Газовая сварка	374
Газы для газовой сварки	374
Оборудование для газовой сварки	376
Технология газовой сварки	384
Газопрессовая сварка	385
Кислородная резка	386
Оборудование для кислородной резки	387
Технология кислородной резки	394
Кислородно-флюсовая резка	394
Список литературы	395
Глава 13. Электрическая дуговая резка металлов (Ю. А. Маслов)	396
Общие сведения	396
Дуговая резка металлическим электродом	396
Дуговая резка угольным электродом	397
Кислородно-дуговая резка	398
Воздушно-электродуговая резка	398
Список литературы	401
Глава 14. Сварка цветных металлов (Ю. А. Маслов)	402
Сварка алюминия и его сплавов	402
Сварка меди	408
Сварка латуни	413
Сварка бронзы	415
Сварка титана	415
Сварка никеля	420
Список литературы	421
Глава 15. Наплавочные работы (Б. В. Степанов)	422
Классификация наплавочных сплавов	422
Ручная наплавка	432
Механизированная наплавка	435
Наплавка под флюсом	436
Наплавка в защитных газах	436
Вибродуговая наплавка	437
Наплавка открытой дугой порошковой проволокой	439
Электрошлаковая наплавка	442
Газопламенная наплавка	444
Специальные способы наплавки	444
Техника механизированной наплавки	445
Материалы для наплавки	450
Дефекты наплавки	457
Список литературы	458
Глава 16. Сварка чугуна (Ю. А. Маслов)	459
Сварочные свойства чугуна	459
Способы сварки чугуна	460
Холодная сварка	460

Полугорячая сварка	467
Горячая сварка	468
Список литературы	468
Глава 17. Контроль качества сварки (И. П. Никонов)	469
Контроль качества исходных материалов	409
Контроль заготовок	471
Контроль сборки	471
Проверка квалификации сварщиков	472
Контроль за исполнением технологического процесса	472
Проверка качества сварки в готовом изделии	472
Внешний осмотр и обмер сварных швов	472
Методы контроля плотности сварных швов	473
Механические испытания сварных швов и изделий	475
Рентгеновское просвечивание	480
Просвечивание сварных швов гамма-лучами	482
Ультразвуковой метод контроля	483
Люминесцентный метод контроля	484
Магнитные методы контроля	485
Металлографические исследования	486
Список литературы	487
Глава 18. Основы технического нормирования сварочных работ (Б. В. Степанов)	488
Общие сведения	488
Нормирование ручной дуговой сварки	488
Нормирование автоматической и полуавтоматической сварки под флюсом	490
Нормирование контактной сварки	490
Нормирование ацетилено-кислородной сварки	493
Нормирование наплавочных работ	494
Список литературы	496
Глава 19. Техника безопасности (Г. Н. Кочевая)	497
Техника безопасности при выполнении газосварочных и газорезательных работ	497
Техника безопасности при выполнении электросварочных работ	501
Вентиляция	504
Противопожарные мероприятия	504
Правила электротехнической безопасности	505
Список литературы	506
Предметный указатель	507

СПРАВОЧНИК СВАРЩИКА
Под ред В В Степанова

Редактор издательства *Д В Баженов*
Технический редактор *Е П Смирнова*
Корректоры *Е. В Сабынич* и *А П Озерова*
Художник *А Я Михайлова*

Сдано в набор 27/XI 1973 г Подписано к печати 15/III 1974 г Т-02898
Формат 84×108¹/₃₂ Бумага № 2 Усл печ л 27,3 Уч -изд л 36
Тираж 225 000 экз (I-й завод I—40000 экз) Заказ № 704 Цена 1 р. 49 к

Издательство «Машиностроение»,
107885 Москва, Б 78, 1-й Басманный пер , 3

Ленинградская типография № 6 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
193144, Ленинград, С-144, ул Монсеенко, 10