

УДК 621.7(075.32)
ББК 34.64я722
Н 62
КТК 2360

Николаев А.А.

Н 62 ЭЛЕКТРОГАЗОСВАРЩИК: Учебное пособие для профессиональных лицеев и училищ / А.А. Николаев, А.И. Герасименко. Изд. 6-е. — Ростов н/Д: Феникс, 2005. — 384 с. (Начальное профессиональное образование.)

В книге изложены основы теории сварки, устройство и правила эксплуатации оборудования для ручной дуговой и газовой сварки и наплавки металлов, контактной сварки, сварки в защитных газах и под флюсом, рассмотрены специальные и перспективные виды сварки, механизация и автоматизация сварочного производства.

Пособие рассчитано на учащихся профессиональных лицеев, училищ и колледжей, но может быть использовано также для профессионального обучения рабочих на производстве.

УДК 621.7(075.32)
ББК 34.64я722
КТК 2360

ISBN 5-222-07031-X

© А.А. Николаев, А.И. Герасименко, 2005
© Оформление, изд-во «Феникс», 2005

..... **ГЛАВА 1**

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СВАРКЕ, СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ И ШВАХ

.....

§ 1. Классификация сварки и наплавки

▼ Сварка металлов представляет собой технологический процесс получения неразъемного соединения металлов за счет установления межатомных или межмолекулярных связей или их диффузии.

В зависимости от вида энергии, необходимой для обеспечения данных связей, различают три класса сварки: термический, термомеханический и механический. ▼

К термическому классу относятся виды сварки, осуществляемой плавлением, — местным расплавлением соединяемых частей с использованием тепловой энергии.

Источниками теплоты при сварке плавлением являются сварочная дуга, газовое пламя, лучевые источники энергии и теплота, выделяемая при электрошлаковом процессе.

Источники теплоты характеризуются температурой и концентрацией, определяемой наименьшей площадью нагрева в месте сварки и наибольшей плотностью тепловой

энергии в месте нагрева. Эти характеристики определяют технологические свойства источников нагрева металла при сварке и наплавке.

Степень концентрации теплоты в электрической дуге в десятки раз, в плазме — в тысячи, а в фотонном луче (лазерная обработка) — в десятки тысяч раз выше, чем в газовом пламени.

Основные виды сварки термического класса — дуговая, газовая, электрошлаковая, электронно-лучевая, плазменная, лазерная, термитная и др.

Дуговая сварка — сварка плавлением, при которой нагрев осуществляют электрической дугой. Особым видом дуговой сварки является плазменная сварка, при которой нагрев осуществляют сжатой дугой.

Газовая сварка — сварка плавлением, при которой кромки соединяемых частей нагревают пламенем газов, сжигаемых на выходе горелки.

Электрошлаковая сварка — сварка плавлением, при которой для нагрева металла используют теплоту, выделяющуюся при прохождении электрического тока через расплавленный электропроводный шлак.

Электронно-лучевая сварка — сварка, в которой для нагрева используют энергию электронного луча. Теплота выделяется за счет бомбардировки зоны сварки направленным электронным потоком.

Лазерная сварка осуществляется энергией светового луча, полученного от оптического квантового генератора — лазера.

При термитной сварке используют теплоту, образующуюся в результате сжигания термит-порошка, состоящего из смеси алюминия и оксида железа.

К термомеханическому классу относят виды сварки, при которых одновременно используются тепловая энергия и давление, — контактная, диффузионная, газопрессовая, дугопрессовая и др.

Основным видом этого класса является контактная сварка — нагрев осуществляется теплотой, выделяемой при прохождении электрического тока через находящиеся в контакте соединяемые части.

Диффузионная сварка — сварка давлением, осуществляемая взаимной диффузией атомов контактирующих частей при относительно длительном воздействии повышенной температуры и при незначительной пластической деформации.

В прессовых видах сварки соединяемые части могут нагреваться пламенем газов, сжигаемых на выходе сварочной горелки (газопрессовая сварка), дугой (дугопрессовая сварка), электрошлаковым процессом (шлакопрессовая сварка), индукционным нагревом (индукционно-прессовая сварка), термитом (термитно-прессовая сварка) и т. п.

К механическому классу относят виды сварки, осуществляемые с использованием механической энергии и давления: холодная, взрывом, ультразвуковая, трением и др.

Холодная сварка — сварка давлением при значительной пластической деформации без внешнего нагрева соединяемых деталей.

Сварка взрывом — сварка, при которой соединение осуществляется в результате вызванного взрывом соударения быстро движущихся частей.

Ультразвуковая сварка — сварка давлением, осуществляемая при воздействии ультразвуковых колебаний.

Сварка т р е н и е м — сварка давлением, при которой нагрев осуществляется трением при вращении свариваемых деталей относительно друг друга.

Н а п л а в к а — процесс нанесения с помощью сварки слоя металла на поверхность изделия. Наплавку применяют для восстановления изношенных деталей и получения изделий с заданными свойствами поверхности.

Для наплавки применяют преимущественно дуговые виды сварки: ручную плавящимися и неплавящимися электродами, механизированную и автоматическую под флюсом и в защитных газах, вибродуговую, плазменную. Наряду с дуговой применяют газовую, электрошлаковую, индукционную, печную наплавку.

Известно несколько способов получения наплавленного легированного металла:

- использование легированного электродного стержня, электродной проволоки или ленты сплошного сечения и нелегирующих покрытий, флюса или защитного газа;
- использование проволок и лент с легирующими наполнителями в сочетании с нелегирующими покрытиями, флюсом или защитным газом;
- использование нелегированного электродного стержня, проволоки или ленты и легирующего покрытия или флюса;
- нанесение легирующих примесей в виде порошков, паст и т. д. на поверхность, подлежащую наплавке.

✓ Ручную дуговую наплавку применяют при восстановлении изношенных поверхностей, устранении брака литья и для наплавки поверхностей со специальными свойствами.

Ручную дуговую наплавку выполняют плавящимся и неплавящимся электродами, расплавлением слоя сыпучего наплавочного материала. ✓

Автоматическую наплавку под флюсом выполняют проволоками сплошного сечения и порошковыми, одним электродом, отдельными валиками, одновременно несколькими электродами и электродной лентой.

Наплавку вольфрамовым электродом проводят в среде аргона. Необходимые свойства наплавленного металла обеспечиваются применением присадочных проволок специального состава или вдуванием легирующих порошков в зону дуги.

Можно наплавлять в инертных газах и плавящимся электродом, однако применение той же технологии, что и для сварки, ведет к повышенному содержанию основного металла в наплавке, поэтому используют дополнительную присадочную проволоку.

Плазменная наплавка осуществляется несколькими способами:

- с подачей присадочной наплавочной проволоки;
- с подачей присадочного порошка в плазменную струю;
- по слою легирующего материала, нанесенного на поверхность изделия;
- с токоведущей присадочной проволокой;
- с двумя плавящимися электродами.

Электрошлаковая наплавка производится на плоские и цилиндрические поверхности для создания поверхностных слоев с особыми свойствами и для создания промежуточных слоев на кромках заготовок для последующей сварки. Техника электрошлаковой наплавки принципиально не отличается от техники сварки.

Вибродуговую наплавку применяют в основном как средство восстановления быстроизнашивающихся деталей станочного, металлургического, сельскохозяйственного оборудования. Этому виду наплавки могут подвергаться детали диаметром 8—10 мм и выше. Сущность вибродуговой

наплавки заключается в том, что наплавку осуществляют с помощью специальной головки, обеспечивающей подачу и вибрацию электродной проволоки.

Вибрация электрода облегчает возбуждение дуги и повышает стабильность процесса. При наплавке электрические разряды чередуются с короткими замыканиями. В зону наплавки и дуги подается щелочная эмульсия, защищающая металл от воздействия воздуха в процессе наплавки и охлаждающая детали, в связи с чем уменьшаются зона термического влияния и сварочные деформации и повышается твердость наплавленного слоя.

Газокислородное пламя используют преимущественно для наплавки литыми твердыми сплавами.

§ 2. Сварные соединения и швы

Сварным соединением называют элемент сварной конструкции, состоящей из двух или нескольких деталей и сварного шва, соединяющего эти детали.

Образование сварного соединения сопровождается сложными физическими и химическими процессами.

К физическим относят процессы, которые, изменяя физические свойства вещества, не изменяют строение элементарных частиц, из которых состоит данное вещество, и не приводят к изменению его химических свойств. При сварке — это нагрев металла, его плавление и кристаллизация, распространение теплоты, деформация изделия.

Химические процессы изменяют строение элементарных частиц, из которых состоит данное вещество, в результате чего получаются новые вещества с новыми химическими и физическими свойствами. К основным химическим

сварочно-металлургическим процессам относятся химические реакции взаимодействия свариваемого металла с газами, покрытиями и флюсами.

Физические и химические процессы при сварке сопряжены между собой по времени и пространству, поэтому их можно объединить общим понятием — физико-химические процессы. Под действием физико-химических процессов возникает характерное строение сварного соединения.

Сварное соединение (рис.1) при сварке плавлением включает в себя: сварной шов — участок сварного соединения, образовавшийся в результате кристаллизации сварочной ванны; зону сплавления — зону, где находятся частично сплавившиеся зерна металла на границе основного металла и шва; зону термического влияния — участок основного металла, не подвергшийся расплавлению, структура и свойства которого изменились в результате нагрева при сварке плавлением или резке; основной металл — металл подвергающихся сварке соединяемых частей, не изменивший своих свойств при сварке.

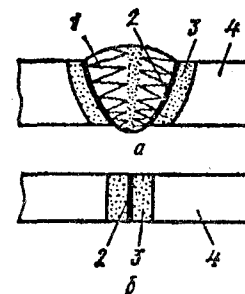


Рис. 1. Схема сварного соединения (а — при сварке плавлением; б — при сварке давлением): 1 — сварной шов; 2 — зона сплавления; 3 — зона термического влияния; 4 — основной металл

Соединение, выполненное сваркой давлением в твердом состоянии, состоит из зоны соединения, где образова-

лись межатомные связи соединяемых частей, зоны термомеханического влияния и основного металла.

В формировании структуры и свойств сварного шва при сварке плавлением определяющая роль принадлежит тепловым процессам, при сварке давлением — пластической деформации.

Различают стыковые, нахлесточные, тавровые и угловые соединения (рис. 2). Стыковые соединения «С» (рис. 2,а) самые типичные, в которых торцы или кромки соединяемых деталей располагаются так, что поверхность одной детали является продолжением поверхности другой. Стыковые соединения без скоса свариваемых кромок применяют при соединении листов толщиной до 12 мм. Кромки листов срезают под прямым углом к плоскости листа и при сварке располагают с зазором 1—2 мм. Листы толщиной до 4 мм сваривают односторонним швом, более 4 мм и до 12 мм — двусторонним.

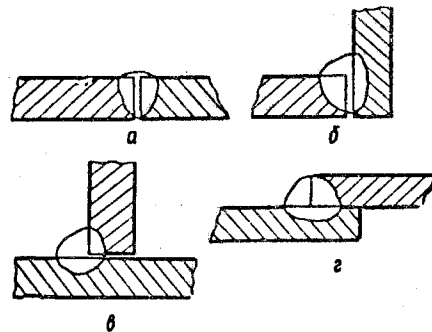


Рис. 2. Виды сварных соединений: а — стыковое; б — угловое; в — тавровое; г — нахлесточное

Стыковые соединения с V-образной разделкой кромок (рис. 3) применяют при сварке металла толщиной от 3 до 60 мм. В этом случае применяется многослойный шов (рис. 4). При этом разделка кромок может быть одно- и

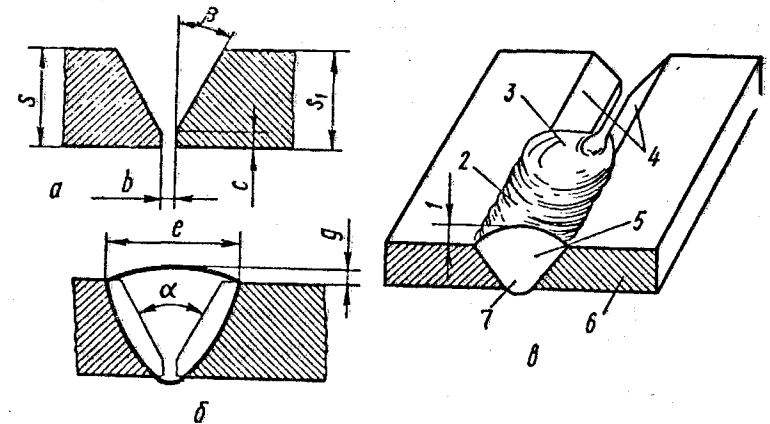


Рис. 3. Стыковое сварное соединение: а — подготовка под сварку; б — выполненный шов; в — внешний вид соединения; 1 — усиление шва; 2 — сварной шов; 3 — сварочная ванна; 4 — кромки; 5 — металл шва; 6 — основной металл; 7 — корень шва

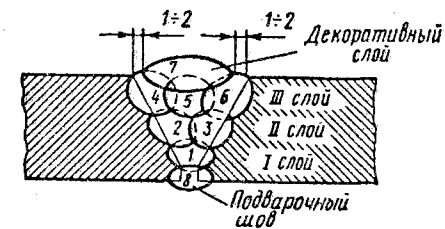


Рис. 4. Многослойный шов: 1—8 — последовательность выполнения отдельных проходов

двусторонней. Для толщин металла в пределах 15—100 мм применяют V-образную разделку с криволинейным скосом одной или обеих кромок. Стыковые соединения с X- и К-образными разделками кромок применяют при сварке металла толщиной 8—175 мм. При этом расход

электродного металла, а отсюда и электроэнергии — почти вдвое меньше, чем при V-образной разделке кромок. Кроме того, такая разделка обеспечивает меньшую деформацию после сварки. При V- и X-образных разделках кромки притупляют, чтобы предотвратить прожог металла при сварке.

Нахлесточные соединения (Н) применяют при изготовлении различных строительных конструкций — колонн, мачт, ферм и др. Их выполняют наложением одного элемента соединения на другой. Величина перекрытия должна быть не менее удвоенной суммы толщин свариваемых кромок изделия. Свариваемые поверхности не обрабатывают (не считая зачистки кромок). Листы заваривают с обеих сторон, чтобы не допустить проникновения влаги в зазор между свариваемыми листами.

Тавровые соединения (Т) — это соединения, в которых торец одного элемента примыкает к поверхности другого элемента свариваемой конструкции под некоторым углом. Их применяют для металлов толщиной 2—120 мм. В зависимости от назначения соединения и толщины металла сварка может быть осуществлена без скоса, с одно- и двусторонним скосом кромок элементов соединения. Для получения прочного шва зазор между свариваемыми элементами составляет 2—3 мм.

Угловые соединения (У) осуществляют при расположении свариваемых элементов под прямым или произвольным углом, и сварка выполняется по кромкам этих элементов с одной или с обеих сторон. Угловые соединения применяют при сварке различных коробчатых изделий, резервуаров и емкостей из металла толщиной 1—100 мм.

Сварные швы подразделяют по следующим признакам:

- по положению относительно действующего усилия — на фланговые, лобовые и косые;

- по положению в пространстве (рис. 5) — на нижние, горизонтальные, вертикальные и потолочные;

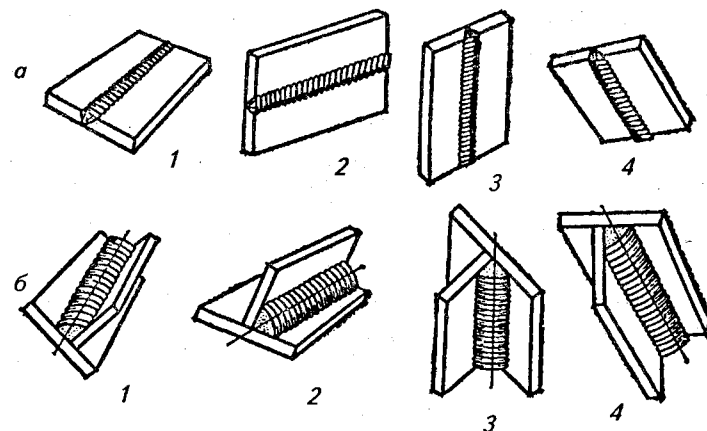


Рис. 5. Положение шва в пространстве: а — стыковые; б — угловые; 1 — нижнее положение; 2 — горизонтальное; 3 — вертикальное; 4 — потолочное

- по внешней форме — на выпуклые, нормальные и вогнутые;
- по протяженности — на непрерывные, или сплошные, и прерывистые (рис. 6).

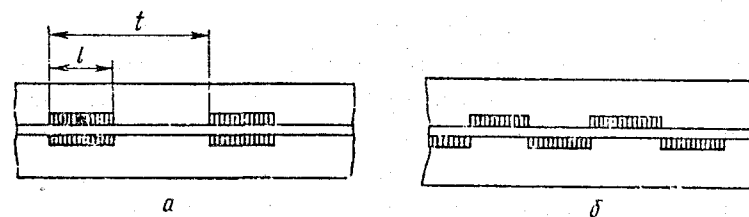


Рис. 6. Прерывистые швы: а — цепной; б — шахматный; l — длина провариваемого участка; t — шаг шва

В зависимости от способа сварки все виды сварных соединений стандартизованы. Перечень некоторых стандартов приводится в табл. 1. Типы швов сварных соединений и их обозначения даются в табл. 2.

Таблица 1

Область применения государственных стандартов на основные типы швов и сварных соединений, конструктивные элементы

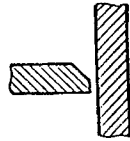
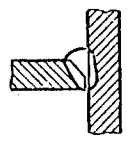
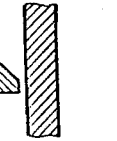
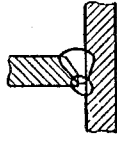


ГОСТ	Наименование	Область распространения
5264—80	Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры	На соединения из сталей, а также сплавов на железоникелевой и никелевой основах. Стандарт не распространяется на сварные соединения стальных трубопроводов по ГОСТ 16037—80
8713—79	Сварка под флюсом. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры	На соединения из сталей, а также сплавов на железоникелевой и никелевой основах. Стандарт не распространяется на сварные соединения стальных трубопроводов по ГОСТ 16037—80
14771—76	Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры	На соединения из сталей. Стандарт не распространяется на сварные соединения труб
15164—78	Электрошлаковая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры	На соединения из сталей. Стандарт не устанавливает размер зазора между свариваемыми деталями перед сваркой
15878—79	Контактная сварка. Соединения сварные. Конструктивные элементы и размеры	На соединения из сталей, сплавов на железоникелевой и никелевой основах, титановых, алюминиевых, магниевых и медных сплавов, выполняемых контактной точечной, рельефной и шовной сваркой. Стандарт не распространяется на сварные соединения, осуществляемые контактной сваркой без расплавления металла







Таблица 2

Некоторые основные типы швов сварных соединений

Тип соединения	Форма подготовленных кромок	Характер сварного шва	Форма поперечного сечения		Способ сварки	Толщина свариваемых деталей, мм	Условное обозначение соединения
			подготовленных кромок	сварного соединения			
Стыковое	С двумя симметричными скосами кромок	Двусторонний			—	8—120	С25
Угловое	Со скосом кромок	Односторонний			—	3—60	У9
Угловое	Со скосом кромок	Двусторонний			—	3—60	У10

По ГОСТ 5264—80

Тип соединения	Форма подготовленных кромок	Характер сварного шва	Форма поперечного сечения		Способ сварки	Толщина свариваемых деталей, мм	Условное обозначение соединения
			подготовленных кромок	сварного соединения			
Тавровое	Со скосом одной кромки	Односторонний			—	3—60	T6
		Двусторонний			—		T7
По ГОСТ 8713—79							
Стыковое	То же	Двусторонний			АФ	14—20	С12

Тип соединения	Форма подготовленных кромок	Характер сварного шва	Форма поперечного сечения		Способ сварки	Толщина свариваемых деталей, мм	Условное обозначение соединения
			подготовленных кромок	сварного соединения			
Нахлесточное	Без скоса кромок	Односторонний			АФ	1—20	H1
		Двусторонний			ПФ	1—20	H2
По ГОСТ 14771—76*							
Стыковое	Со скосом одной кромки	Односторонний замковый			ИНп	3—10	С11
					ИП	3—10	
					УП	3—40	

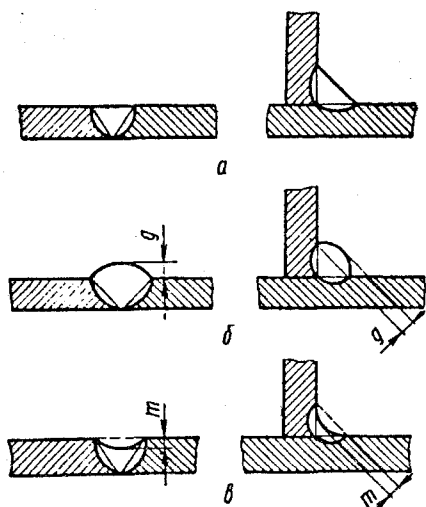


Рис. 7. Нормальный — а, усиленный — б и ослабленный — в швы

Выпуклые швы имеют большее сечение и поэтому называются усиленными (рис. 7, б). Однако большая выпуклость для швов, работающих при знакопеременных нагрузках, вредна, так как вызывает концентрацию напряжений в местах неплавного перехода от шва к поверхности основной детали. Вогнутые (ослабленные) (рис. 7, в) швы применяют, как правило, в угловых соединениях. В стыковых соединениях они не допускаются. Нормальные швы (рис. 7, а) по сечению соответствуют расчетным и приняты как основной вид сварного шва. Прерывистые швы применяют в том случае, если шов не ответственный (сварка ограждений, настила и др.) или если по расчету прочности не требуется сплошной шов. Их применяют в целях экономии материалов, электроэнергии и труда сварщика. Длину провариваемых участков прерывистого шва принимают в пределах от 50—150 мм, а промежутки делают примерно вдвое больше. Расстояние от начала предыду-

щего шва до начала последующего шва называют шагом шва.

Основные типы швов — стыковые и угловые. Стыковые швы — это швы стыковых соединений. Угловые швы, называемые также валиковыми, — это швы угловых, тавровых и нахлесточных соединений.

ГОСТ 2.312—72 регламентирует условные изображения и обозначения сварных соединений в технической документации. Независимо от способа сварки видимый шов на чертеже изображают сплошной линией, а невидимый — штриховой. От изображения шва проводят линию-выноску, заканчивающуюся односторонней стрелкой. Условное обозначение шва наносят над полкой линии-выноски, если изображен видимый шов, и под полкой, если шов невидимый. Стандартом определены вспомогательные знаки для обозначения сварных швов, наиболее часто используемые из них приведены в табл. 3. В табл. 4 даны примеры условных обозначений стандартных швов сварных соединений.

Для изготовления сварных конструкций применяется большое количество сварочных материалов, которые обеспечивают процесс сварки, формирование, защиту и заданный химический состав шва.

Сварочные материалы можно квалифицировать так:

- непосредственно участвующие в образовании сварного шва. К ним относятся штучные плавящиеся электроды для ручной дуговой сварки, электродные проволоки для сварки в защитных газах, под флюсом и для электрошлаковой сварки, присадочные материалы при различных способах сварки плавлением; в меньшей степени участвуют в формировании состава швов флюсы и активные газы;
- непосредственно не участвующие в образовании металла шва. К ним относятся неплавящиеся электроды, вольфрамовые, угольные, графитовые, инертные газы.

Таблица 3
Вспомогательные знаки для обозначения сварных швов

Вспомогательный знак	Значение вспомогательного знака	Расположение вспомогательного знака относительно полки линии выноски, проведенной от изображения шва	
		с лицевой стороны	с оборотной стороны
	Выпуклость шва снять		
	Напльвы 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 от 3 до 5 мм		
	Шов по незамкнутой линии. Знак применяют, если расположение шва ясно из чертежа		

Примечание. За лицевую сторону одностороннего шва сварочного соединения принимают сторону, с которой ведут сварку; соответственно двустороннего шва с несимметрично подготовленными кромками — сторону, с которой накладывают основной шов, и двустороннего шва с симметричной подготовкой кромок — любую сторону.

Таблица 4

Примеры условных обозначений швов

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 дуговой ручной сваркой при монтаже изделия. Выпуклость снята с обеих сторон. Параметр шероховатости поверхности шва со стороны: лицевой Rz 20 оборотной Rz 80			
Шов углового соединения без скоса кромок, двусторонний, осуществляемый автоматической сваркой под флюсом с ручной подваркой по замкнутой линии			

Сварочные материалы подразделяются также на металлические и неметаллические. К металлическим сварочным материалам относятся сварочные и наплавочные проволоки, ленты сплошного сечения и порошковые; электроды — покрытые плавящиеся и вольфрамовые неплавящиеся; дополнительный присадочный металл в виде присадочной проволоки, гранулированных металлических порошков.

К неметаллическим сварочным материалам относятся флюсы — плавленные и керамические, защитные газы — инертные и активные. К этой группе можно отнести вакуум как защитную среду при сварке активных металлов.

§ 3. Свариваемость металлов

Свариваемостью называется свойство или сочетание свойств металлов образовывать при установленной технологии сварки неразъемное соединение, отвечающее требованиям, обусловленным конструкцией и эксплуатацией изделия.

Различают физическую и технологическую свариваемость.

Физическая свариваемость — свойство материалов давать монолитное соединение с химической связью. Такой свариваемостью обладают практически все технические сплавы и чистые металлы, а также ряд сочетаний металлов с неметаллами.

Технологическая свариваемость — технологическая характеристика металла, определяющая его реакцию на воздействие сварки и способность при этом образовывать сварное соединение с заданными эксплуатационными свойствами.

Свариваемость металла зависит от его химических и

физических свойств, кристаллической решетки, степени легирования, наличия примесей и других факторов.

Назовем основные показатели свариваемости металлов и их сплавов:

- окисляемость при сварочном нагреве, зависящая от химической активности металла;
- чувствительность к тепловому воздействию сварки, которая характеризуется склонностью металла к росту зерна, структурными и фазовыми изменениями в шве и зоне термического влияния, изменением прочностных и пластических свойств;
- сопротивляемость образованию горячих трещин;
- сопротивляемость образованию холодных трещин при сварке;
- чувствительность к образованию пор;
- соответствие свойств сварного соединения заданным эксплуатационным требованиям.

Кроме перечисленных основных показателей свариваемости имеются еще показатели, от которых зависит качество сварных соединений. К ним относят качество формирования сварного шва, величину собственных напряжений, величину деформаций и коробления свариваемых материалов и изделий.

Окисляемость металла при сварке определяется химическими свойствами свариваемого материала. Чем химически активнее металл, тем больше его склонность к окислению и тем выше должно быть качество защиты при сварке. Это особенно наглядно видно на примере железоуглеродистых сплавов. Свариваемость углеродистой стали изменяется в зависимости от содержания основных примесей. Углерод является наиболее важным элементом в составе стали, определяющим почти все основные ее свойства в процессе обработки, в том числе и свариваемость.

Низкоуглеродистые и среднеуглеродистые стали свариваются хорошо. Стали, содержащие $C > 0,35\%$, свариваются хуже. С увеличением содержания углерода свариваемость стали ухудшается. В околошовных зонах появляются закалочные структуры и трещины, а шов получается пористым.

Марганца в стали содержится обычно $0,3—0,8\%$, что не затрудняет сварку стали. Однако при повышенном содержании марганца ($1,8—2,5\%$) прочность, твердость и закаливаемость стали возрастают, и это способствует образованию трещин. При сварке высокомарганцовистых сталей ($11—16\% Mn$) происходит выгорание марганца, если не принять меры по его восполнению через электродное покрытие, флюсы и др.

Хром увеличивает прочность стали, повышает ее устойчивость против коррозии и длительного воздействия высоких температур. Однако с увеличением содержания хрома возрастает закаливаемость сталей и ухудшается их свариваемость.

Никель повышает прочность, пластичность и коррозионную стойкость стали, улучшает свариваемость. Однако при сварке требуется защита от воздействия кислорода воздуха во избежание выгорания никеля.

Титан повышает прочность, ударную вязкость стали, улучшает ее свариваемость, способствует измельчению зерен при кристаллизации металла. При сварке связывает углерод, препятствуя образованию карбидов хрома по границам зерен и возникновению межкристаллитной коррозии металла сварного соединения хромсодержащих сталей.

Кремний содержится в обычной углеродистой стали в пределах $0,02—0,3\%$ и существенного влияния на свариваемость не оказывает. При повышенном содержании ($0,8—1,5\%$) кремний затрудняет сварку, так как придает

стали жидкотекучесть и образует тугоплавкие окислы и шлаки.

Сера является самой вредной примесью стали. Содержание серы в стали допускается не более $0,05\%$. Сера образует в металле сернистое железо, которое имеет более низкую температуру плавления, чем сталь, и плохо растворяется в расплавленной стали. При кристаллизации стали сернистое железо располагается между кристаллами металла шва и способствует образованию трещин.

Фосфор является также вредной примесью стали. Содержание фосфора в стали доходит до $0,05\%$. Фосфор ухудшает свариваемость стали, так как образует хрупкое фосфористое железо, придает стали хладноломкость.

Свариваемость стали принято оценивать по следующим показателям:

- склонности металла шва к образованию горячих и холодных трещин;
- склонности к изменению структуры в околошовной зоне и к образованию закалочных структур;
- физикомеханическим качествам сварочного соединения;
- соответствию специальных свойств сварного соединения техническим условиям.

Для определения свариваемости применяют два основных метода. По первому методу изготавливают образцы, на которые наплавляются по одному валу. Обработанные и протравленные образцы подвергают макро- и микроисследованиям, а затем механическим испытаниям на загиб и ударную вязкость. Результаты исследования позволяют не только оценить свариваемость стали, но и установить оптимальные режимы сварки.

Сталь считается свариваемой хорошо, если трещины отсутствуют; удовлетворительно, если трещины образуются при охлаждении водой, но отсутствуют при охлаж-

дении воздухом; ограниченно, если сталь для предупреждения образования трещин требует предварительного подогрева до 100—150°C и охлаждения на воздухе. Плохо сваривающиеся стали требуют предварительного подогрева до 300°C и выше.

Углеродистые стали по свариваемости можно условно подразделить на следующие группы: хорошо сваривающиеся стали — Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4 (ГОСТ 380—88); 08, 10, 15, 20, 25 (ГОСТ 1050—88); удовлетворительно сваривающиеся стали — Ст5 (ГОСТ 380—88); 30, 35 (ГОСТ 1050—88); ограниченно сваривающиеся стали — Ст6, Ст7 (ГОСТ 380—88); 40, 45, 50 (ГОСТ 1050—88); плохо сваривающиеся стали — 60Г, 65Г, 70Г, 70, 75, 80, 85.

В сварных строительных конструкциях используются главным образом стали первой группы. Стали Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5 применяют при изготовлении строительных конструкций, арматуры, горячекатаных и сварных труб с прямым и спиральным швами. Из стали Ст3 изготовляют бункера, резервуары, газгольдеры, подкрановые балки, конструкции доменного комплекса, балки перекрытий. Стали 10, 15, 20 и 25 используют для производства горячекатаных труб. Эти стали хорошо поддаются сварке и образуют сварной шов без хрупких структур и пористости.

Как правило, чем выше прочность свариваемого материала и больше степеней его легирования, тем чувствительнее материал к термическому циклу сварки и сложнее технология его сварки.

Чувствительность металла к тепловому воздействию сварки оценивают по свойствам различных зон соединений и сварных соединений в целом при статических, динамических и вибрационных испытаниях (растяжение, изгиб, определение твердости, определение перехода металла в хрупкое состояние и др.), а также по результатам металло-

графических исследований в зависимости от применяемых видов и режимов сварки.

Сопrotивляемость металла образованию трещин при сварке: при сварке могут возникать горячие и холодные трещины в металле шва и в околошовной зоне.

Горячие трещины — хрупкие межкристаллические разрушения металла шва и околошовной зоны, возникающие в твердожидком состоянии в процессе кристаллизации, а также при высоких температурах в твердом состоянии.

При кристаллизации жидкий металл шва сначала переходит в жидкотвердое, а затем в твердожидкое и, наконец, в твердое состояние. В твердожидком состоянии образуется скелет из кристаллитов затвердевшего металла (твердой фазы), в промежутках которого находится жидкий металл, который в таком состоянии обладает очень низкими пластичностью и прочностью.

Усадка шва и линейное сокращение нагретого металла в сварном соединении при охлаждении могут привести к образованию горячих трещин. Горячие трещины могут образовываться как вдоль, так и поперек шва.

Для оценки свариваемости металлов по сопротивляемости горячим трещинам применяют два основных вида испытаний — сварку технологических проб и машинные способы испытаний.

В технологических пробах сваривают узел или образец заданной жесткости. Пригодность материала, электродов, режимов сварки оценивают по появлению трещины и ее длине.

При машинных методах испытаний растягивают или изгибают образец во время сварки. Стойкость материалов оценивают по критической величине или скорости деформирования, при которых возникает трещина. Для предотвращения горячих трещин необходимо правильно выбирать присадочный материал и технологию сварки.

Холодные трещины — локальные межкристаллические разрушения, образующиеся в сварных соединениях преимущественно при нормальной температуре, а также при температурах ниже 200° С. Причины возникновения холодных трещин при сварке следующие:

- охрупчивание металла вследствие закалочных процессов при быстром его охлаждении;
- остаточные напряжения, возникающие в сварных соединениях;
- повышенное содержание водорода в сварных швах, который усиливает неблагоприятное действие первых двух главных причин.

Для оценки свариваемости металлов по сопротивляемости холодным трещинам применяют, как и при оценке сопротивляемости горячим трещинам, два вида испытаний — технологические пробы и методы количественной оценки с приложением к образцам внешней постоянной механической нагрузки.

Преимуществом технологических проб является возможность моделировать технологию сварки и, следовательно, судить о сопротивляемости образованию трещин в условиях, близких к реальным. Проба представляет собой жесткое сварное соединение. Стойкость материала оценивают качественно по наличию или отсутствию трещин.

Существует много технологических проб, в которых имитируют жесткие узлы сварных конструкций. Пробы дают только качественный ответ: образуется или не образуется трещина.

Количественным критерием оценки сопротивляемости сварного соединения образованию холодных трещин являются минимальные внешние напряжения, при которых начинают возникать холодные трещины при выдержке образцов под нагрузкой, прикладываемой сразу же после свар-

ки. Внешние нагрузки воспроизводят воздействие на металл собственных сварочных и усадочных напряжений, которые постоянно действуют сразу после сварки при хранении и эксплуатации конструкции.

Методы борьбы с холодными трещинами основываются на уменьшении степени подкалки металла, снятии остаточных напряжений, ограничении содержания водорода. Наиболее эффективным средством для этого является подогрев металла перед сваркой и замедленное охлаждение после сварки.

Необходимость подогрева и замедленного охлаждения металла сварного шва можно оценить по эквивалентному содержанию углерода $C_{\text{экв}}$, учитывающему химический состав свариваемого металла:

$$C_{\text{экв}} = C + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Ni}}{15} + \frac{\text{Cr} + \text{Mo} + \text{V}}{10},$$

где C — содержание углерода в сотых долях %;
Mn, Ni, Cr, Mo, V — в %.

По величине $C_{\text{экв}}$ все стали можно разделить условно на четыре группы:

1. $C_{\text{экв}} \leq 0,25$. Хорошо сваривающиеся стали, которые не дают трещин при сварке обычным способом без термообработки.
2. $C_{\text{экв}} = 0,25—0,35$. Удовлетворительно сваривающиеся стали, которые допускают сварку без появления трещин в нормальных производственных условиях, т. е. при окружающей температуре выше 0°С, отсутствии ветра и пр.
3. $C_{\text{экв}} = 0,35—0,45$. Ограниченно сваривающиеся стали, которые склонны к образованию трещин при сварке в обычных условиях. При сварке таких сталей необходим предварительный подогрев до 100—200°С. Большин-

ство сталей этой группы подвергают термообработке и после сварки.

4. $C_{\text{экв}} > 0,45$. Такие стали склонны к образованию холодных трещин при сварке. Их можно сваривать только с предварительным подогревом, подогревом в процессе сварки и последующей термообработкой.

Температуру предварительного подогрева можно рассчитать по формуле

$$T = 350 \sqrt{C_{\text{об}} - 0,25},$$

где $C_{\text{об}}$ — общий эквивалент углерода.

$$C_{\text{об}} = C_{\text{экв}}(1 + 0,005S),$$

S — толщина свариваемого металла, мм.

Поры в сварных швах возникают при первичной кристаллизации металла сварочной ванны в результате выделения газов. Поры представляют собой заполненные газом полости в швах, имеющие округлую, вытянутую или более сложные формы. Поры могут располагаться по оси шва, его сечению или вблизи границы сплавления. Они могут выходить или не выходить на поверхность, располагаться цепочкой, отдельными группами или одиночно, могут быть микроскопическими и крупными (до 4—6 мм в поперечнике). Причины возникновения пор следующие:

- выделение водорода, азота и окиси углерода в результате химических реакций;
- различная растворимость газов в расплавленном и твердом металле;
- захват пузырьков газа при кристаллизации сварочной ванны.

Для уменьшения пористости необходима тщательная подготовка основного и присадочного материалов под сварку (очистка от ржавчины, масла, влаги, прокатка и т. д.), на-

дежная защита зоны сварки от воздуха, введение в сварочную ванну раскислителей (из основного металла, сварочной проволоки, покрытия, флюса), соблюдение режимов сварки.

Наряду с порами однородность металла шва нарушают шлаковые включения. Шлаковые включения связаны с тугоплавкостью, повышенной вязкостью и высокой плотностью шлаков, плохой зачисткой поверхности кромок и отдельных слоев при многослойной сварке, затеканием шлака в зазоры между свариваемыми кромками и в места подрезов. Помимо шлаковых включений в шве могут быть микроскопические оксидные, сульфидные, нитридные, фосфорсодержащие включения, которые ухудшают свойства сварного шва.

Технология сварки (вид сварки, сварочные материалы, техника сварки) выбирается в зависимости от основного показателя свариваемости (или сочетаний нескольких показателей) для каждого конкретного материала.

§ 4. Подготовка металла под сварку

Перед сваркой после подбора металла по размерам и маркам стали необходимо выполнить следующие операции: правку, резку, обработку кромок и очистку под сварку.

Наиболее частыми видами деформаций листовой стали являются волнистость, местные выпучины и вогнутости, заломленные кромки, серповидность в плоскости листа.

Для правки листов и полос толщиной от 0,5 до 50 мм широко используют многовалковые машины. Исправление достигается многократным изгибом при пропускании листов между верхним и нижним рядами валков, расположенных в шахматном порядке. Листы толщиной менее 0,5 мм правят растяжением с помощью приспособлений на прес-

сах или на специальных растяжных машинах. Мелко- и среднесортовой, а также профильный прокат правят на роликовых машинах, работающих по схеме листопрямляющих. Двутавры и швеллеры исправляют изгибом на правильно-гибочных прессах кулачкового типа. В случае более значительных деформаций правка и гибка производятся в горячем состоянии.

Механическую резку металла производят ножницами, на отрезных станках и в штампах на прессах. Для резки используют ножницы листовые с наклонным ножом, высечные, дисковые, комбинированные, пресс-ножницы, сортовые для резки уголка, швеллеров и двутавров, ручные пневматические и электрические. Листовые детали с прямолинейными кромками из металла толщиной до 40 мм, как правило, режут на гильотинных ножницах и пресс-ножницах. Дисковые ножницы, резка которыми осуществляется за счет круглых вращающихся ножей, позволяют вырезать листовые детали с непрямолинейными кромками толщиной до 20—25 мм. Для получения листовой детали заданной ширины с параллельными кромками дисковые ножи располагают попарно на заданном расстоянии друг от друга. При поперечной резке фасонного проката применяют пресс-ножницы и комбинированные ножницы с фасонными ножами.

Отрезные станки применяют для резки труб, фасонного и сортового материала. На отрезных станках можно резать металл больших сечений, чем на ножницах, при этом обеспечивается более высокое качество разрезания. Однако трудоемкость резки на отрезных станках значительно выше, чем при резке на ножницах. Поэтому отрезные станки используют для профилей, которые невозможно резать на ножницах, например, для резки труб, профилей большого сечения, профилей под углом или в случаях, когда необходимо обеспечить высокую точность реза. Детали сварных

конструкций вырезают на отрезных станках с дисковыми и ленточными пилами, трубоотрезных станках, на станках с абразивными кругами, в некоторых случаях гладким диском за счет силы трения. Наиболее производительным является процесс вырубki в штампах заготовок под сварку в массовом производстве.

Термическая разделительная резка менее производительна, чем резка на ножницах, но более универсальна и применяется для получения свариваемых заготовок разных толщин как прямолинейного, так и криволинейного профиля.

В зависимости от источника теплоты, применяемой для резки, различают газовую резку, основанную на использовании теплоты газового пламени; дуговую резку расплавлением с использованием теплоты электрической дуги, обычно горящей между разрезаемым металлом и электродом; плазменно-дуговую резку (резку сжатой дугой) — особый вид дуговой резки, основанный на выплавлении металла из полости реза направленным потоком плазмы.

Металл из полости реза в процессе термической резки удаляется так: термическим способом за счет расплавления и вытекания металла из полости реза; химическим способом за счет окисления металла, его превращения в окислы и шлаки, которые также удаляются из полости реза; механическим способом за счет механического действия струи газа, способствующей выталкиванию жидких и размягченных продуктов из полости реза.

Газовая резка основана на способности металла стгорать в струе технически чистого кислорода и удалении продуктов сгорания из полости реза. При газовой резке одновременно действуют все три способа, при дуговой и плазменно-дуговой — преимущественно термический и механический.

Наряду с газовой резкой все шире применяют плазменно-дуговую резку, позволяющую обрабатывать практически любые металлы и сплавы. Использование в качестве плазмообразующего газа сжатого воздуха обеспечивает не только экономические, но и технические преимущества, так как наряду с высоким качеством обеспечивается значительное повышение скорости резки, особенно металла малой и средней толщины (до 60 мм).

Термическая резка разделяется на ручную, механизированную и автоматическую. Ручная и механизированная резка выполняются по разметке, автоматическая — с помощью копирных устройств, по масштабному чертежу и на машинах с программным управлением. Масштабные чертежи представляют собой чертежи контура вырезаемых деталей, уменьшенных в определенном масштабе. Масштабные чертежи содержат информацию только о траектории, поэтому начало каждого отдельного реза приходится осуществлять вручную. Использование машин с цифровым программным управлением позволяет автоматизировать процесс в пределах всего листа без участия оператора при одновременном повышении точности реза. Для серийного производства в ряде случаев эффективно использовать резку листов пакетом суммарной толщиной около 100 мм. Начинают применять лазерную резку, ее преимущества — чрезвычайно малая ширина реза (доли миллиметра), точность реза, возможность резки металла малой толщины (от 0,05 мм).

Кромки подготавливают термическими и механическими способами. Кромки с односторонним или двусторонним скосом можно получить, используя одновременно два или три резака, располагаемых под соответствующими углами. Механическая обработка кромок на станках выполняется для обеспечения требуемой точности сборки, для образования фасок, имеющих заданное очертание и в слу-

чаях, если технические условия требуют удаления металла с поверхности кромок после резки (рис. 8).

	Ручная дуговая	Автоматическая под флюсом	Электронно-лучевая	Контактная точечная	
				стыковая	шовная
Стыковые	S=1-3 2-6 3-26 S=20±60	S=2-20 45°/125 S=20±60	S=1-100	S=20 2-100 5-20 2-100 5-20 2-100	S=2-4
Тавровые	S=1-12 55°	S=2-20 45° S=20±60	S=5-20	S=2-8 3-8 S=0,5-5	S=0,3-3
Накладные	3S S=2-20		S=1-100	S=0,5 0,5-5 S=0,5-5	S=0,3 0,3-3 S=0,3-3
Угловые	S=5-60 S=5-60			2-80	S=0,3-3

Рис. 8. Сварные соединения, применяемые при основных видах сварки

Очистку поверхности металла под сварку применяют для удаления с поверхности металла средств консервации, загрязнений, смазочно-охлаждающих жидкостей, ржавчины, окалины, заусенцев, графа и шлака.

При сварке металла с неочищенной поверхностью возникают различные дефекты шва: поры и трещины, а также ухудшается формирование шва. Для очистки проката, деталей и сварных узлов используют механические и химические методы. К механическим методам относятся дробеструйная и дробеметная обработка, зачистка металлическими щетками, иглофрезами, шлифовальными кругами и лентами.

Дробеструйную и дробеметную очистку применяют для

листового и профильного проката и сварных узлов с целью очистки от окалины, ржавчины и загрязнений при толщине металла 3 мм и более. В дробеструйных аппаратах дробь выбрасывается на очищаемую поверхность через сопло с помощью сжатого воздуха, в дробеметных аппаратах — лопатками вращающегося ротора за счет центробежной силы. Для очистки применяют дробь чугунную литую и колотую, стальную литую, колотую, рубленую размером 0,7—0,9 мм при толщине металла до 4 мм; 0,9—1,6 мм — при толщине металла до 30 мм; 1,6—2,5 мм — при толщине металла свыше 30 мм.

Дробеструйную и дробеметную очистку осуществляют в камерах, оборудованных для размещения и транспортировки очищаемых изделий, устройствами для сбора, очистки и возврата дроби в дробеструйный аппарат и для вытяжки загрязненного воздуха. Заготовки и прокат перед сваркой очищают обычно дробеметным методом, сварные узлы (в труднодоступных местах) — дробеструйным.

Химическими методами очистки обезжиривают и травят поверхности свариваемых деталей. Различают ванный и струйный методы. В первом случае детали последовательно опускают в ванны с различными растворами и выдерживают в каждом из них определенное время. Во втором случае поверхность деталей обрабатывается последовательно струями раствора различного состава, что позволяет осуществлять непрерывный процесс очистки. Химический способ очистки эффективен, однако в производстве сварных конструкций он используется главным образом для очистки цветных металлов.

Для предохранения металла от коррозии, кроме очистки, обычно пассивируют или грунтуют поверхности, что позволяет сваривать металл без удаления защитного покрытия.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как классифицируются виды сварки?
2. Что называется сварным соединением?
3. Что понимают под свариваемостью металлов?
4. Назовите основные типы сварных соединений.
5. Как классифицируются сварочные швы?
6. Какие процессы включает в себя подготовка металла к сварке?

Глава 2

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СВАРКА ПЛАВЛЕНИЕМ

§ 5. Дуговая сварка

Тип сварки определяется видом используемого для плавления источника теплоты.

Дуговой сваркой называется сварка плавлением, при которой нагрев свариваемых кромок осуществляется теплотой электрической дуги. Дуговая сварка классифицируется по следующим признакам:

- виду электрода (плавящийся и неплавящийся);
- виду дуги (свободной или сжатой дугой);
- характеру воздействия дуги на основной металл (дугой прямого или косвенного действия, трехфазной дугой).

Плавящиеся электроды подразделяются на штучные, проволоочные и ленточные. Они бывают как сплошного сечения, так и порошковые. Неплавящиеся электроды подразделяются на вольфрамовые, угольные и графитовые. Дуговую сварку производят постоянным током прямой и обратной полярности, переменным током как промышлен-

ной, так и повышенной частоты и пульсирующим током. При этом сварка может быть как одно-, двух- и многодуговая (с отдельным питанием каждой дуги), так и одно-, двух- и многоэлектродная (с общим подводом сварочного тока).

Ручная дуговая сварка может производиться неплавящимся и плавящимся электродами. Первый способ осуществляют следующим образом. Свариваемые кромки изделия приводят в соприкосновение. Между неплавящимся (угольным, графитовым) электродом и изделием возбуждают дугу. Кромки изделия и вводимый в зону дуги присадочный материал нагреваются до плавления и образуется ванночка расплавленного металла. После затвердения металл ванночки образует сварной шов. Этот способ используется при сварке цветных металлов и их сплавов, а также при наплавке твердых сплавов. Второй способ (рис. 9), выполняемый плавящимся электродом, является основным при ручной дуговой сварке. Электрическая дуга возбуждается между металлическим электродом и свариваемыми кромками изделия. Теплота дуги расплавляет электрод и кромки изделия. Получается общая ванна расплавленного металла, которая, охлаждаясь, образует сварной шов.

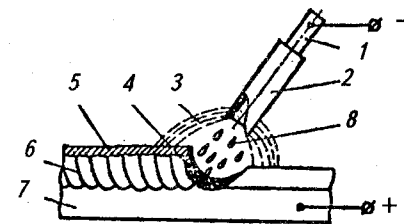


Рис. 9. Ручная дуговая сварка металлическим электродом с покрытием (стрелка указывает направление сварки): 1 — электрод; 2 — покрытие электрода; 3 — газовая защита вокруг дуги; 4 — сварочная ванна; 5 — шлаковая корка; 6 — шов; 7 — основной металл; 8 — капли жидкого металла

Автоматическая и полуавтоматическая сварка под флюсом выполняется путем механизации основных движений, выполняемых сварщиком при ручной сварке, — подачи электрода вдоль ее оси в зону дуги и перемещения его вдоль свариваемых кромок изделия. При полуавтоматической сварке механизирована подача электрода в зону дуги, а перемещение электрода вдоль свариваемых кромок сварщик производит вручную. При автоматической сварке механизированы все операции, необходимые для процесса сварки. Жидкий металл сварочной ванны защищают от воздействия кислорода и азота воздуха расплавленным шлаком, образованным от плавления флюса, подаваемого в зону дуги. После затвердевания металла сварочной ванны образуется сварной шов.

Дуговая сварка в защитном газе выполняется неплавящимся (вольфрамовым) или плавящимся электродом (рис. 10). В первом случае сварной шов формируется за счет металла расплавленных кромок изделия. При необходимости в зону дуги подается присадочный металл. В этом случае подава-

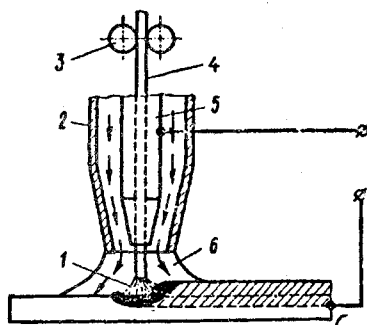


Рис. 10. Дуговая сварка в защитных газах плавящимся электродом:
1 — электрическая дуга; 2 — газовое сопло; 3 — подающие ролики; 4 — электродная проволока; 5 — токоподводящий мундштук; 6 — защитный газ

емая в зону дуги электродная проволока расплавляется и участвует в образовании сварного шва. Защиту расплавленного металла от окисления и азотирования осуществляют струей защитного газа, оттесняющего атмосферный воздух из зоны дуги.

Электрошлаковая сварка осуществляется путем сплавления металла свариваемых кромок изделия и электрода теплотой, выделяемой током при прохождении через расплавленный шлак. Кроме того, шлак защищает расплавленный металл от воздействия воздуха. Формирование сварного шва осуществляется с помощью движущихся вдоль кромок медных ползунов с водяным охлаждением.

§ 6. Особые виды сварки

Наиболее часто применяются следующие виды сварки.

Электронно-лучевая сварка (рис. 11) осуществляется путем использования кинетической энергии концентрированного потока электронов, движущихся с большой скоростью в вакууме. Высокий вакуум в сварочной камере значительно снижает потери кинетической энергии электронов и обеспечивает химическую и тепловую защиту катода и свариваемого изделия. Раскаленный вольфрамовый катод, размещенный в фокусирующей головке, излучает поток электронов. Под действием высокого напряжения (30—100 кВ) между катодом и ускоряющим электродом (анодом) поток электронов приобретает значительную кинетическую энергию. Магнитной линзой поток электронов фокусируется в узкий луч, который с помощью магнитной отклоняющей системы направляется точно на свариваемые кромки изделия. Питание установки осуществляется высоковольтным источником постоянного тока.

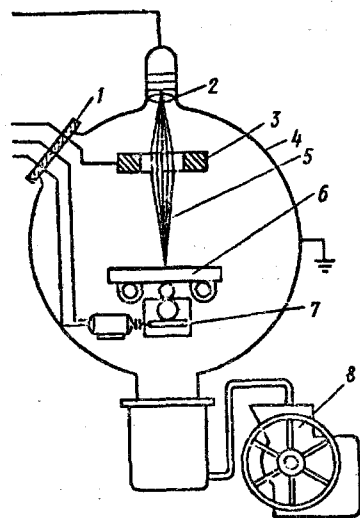


Рис. 11. Электронно-лучевая сварка: 1 — электрический вакуумный ввод; 2 — электронная пушка; 3 — электромагнитная фокусирующая линза; 4 — вакуумная камера; 5 — электронный луч; 6 — свариваемое изделие; 7 — механизм перемещения изделия; 8 — вакуумный насос

Плазменная сварка (рис. 12) — сварка плавлением, при которой нагрев производится сжатой дугой. Основана на ис-

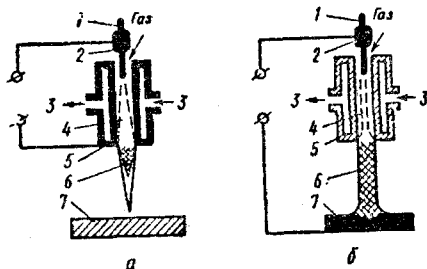


Рис. 12. Плазменная сварка: а — плазмой, выделенной из столба дуги; б — плазмой, совпадающей со столбом дуги; 1 — вольфрамовый электрод; 2 — токоподводящий мундштук; 3 — охлаждающая вода; 4 — столб дуги; 5 — медное сопло; 6 — плазма; 7 — основной металл

пользовании струи ионизированного газа — плазмы, содержащей электрически заряженные частицы и способной проводить ток. Различают плазменную струю прямого и косвенного действия. Плазмообразующий газ (аргон, азот, водород), подаваемый в сопло плазмотрона, сжимает столб дуги, горящей между вольфрамовым электродом и свариваемым изделием. Происходит значительное повышение температуры столба дуги и ионизация плазмообразующего газа.

Струей нагретого до 10 000—20 000 К и ионизированного газа — плазмы — сваривают самые различные тугоплавкие сплавы, металлы и неметаллические материалы, в том числе и неэлектропроводные. Энергия дуговой плазменной струи зависит от сварочного тока, напряжения, расхода газа, скорости сварки и других параметров. Источники питания дуги должны иметь рабочее напряжение более 120 В. Плазмообразующий газ служит также защитой расплавленного металла от атмосферного воздуха. Иногда для защиты расплавленного металла подают отдельную струю более дешевого газа, который, имея более низкую температуру, одновременно охлаждает сопло плазмотрона. В некоторых типах плазмотронов применяют водяное охлаждение.

Лазерная сварка (рис. 13) основана на том, что при большом усилении световой луч способен плавить металл. Для получения такого луча применяют устройства, называемые лазерами. Схема действия рубинового лазера такова. Искусственный рубиновый кристалл расположен в кварцевой трубке, которая представляет собой спиральную газоразрядную лампу, наполненную газом ксеноном. При замыкании выключателя происходит разряд высоковольтного конденсатора и в кварцевой лампе появляется вспышка света, в результате чего рубиновый кристалл испускает импульс мощного светового луча. Импульсы светового луча фокусируются и направляются в зону сварки. Сварка ведется как бы отдельными точками, перекрывающимися друг друга.

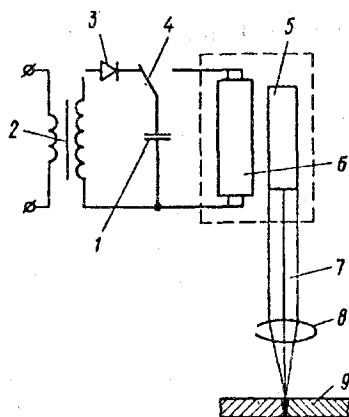


Рис. 13. Лазерная сварка: 1 — высоковольтный конденсатор; 2 — повышающий трансформатор; 3 — выпрямитель; 4 — переключатель; 5 — рубиновый кристалл; 6 — импульсная лампа; 7 — луч лазера; 8 — оптическая система; 9 — свариваемое изделие

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется дуговой сваркой?
2. По каким признакам классифицируют дуговую сварку?
3. В каких случаях применяют сварку неплавящимся электродом?
4. В чем суть дуговой сварки в защитном газе?
5. В чем состоит принцип действия электронно-лучевой сварки?
6. Как осуществляется плазменная сварка?
7. На чем основана лазерная сварка?

Глава 3

СВАРОЧНАЯ ДУГА

§ 7. Определение и строение дуги. Условия зажигания и горения дуги

Электрическая сварочная дуга — устойчивый электрический разряд в сильно ионизированной смеси газов и паров материалов, используемых при сварке, и характеризующийся высокой плотностью тока и высокой температурой.

В зависимости от числа электродов и способов включения электродов и свариваемой детали в электрическую цепь различают следующие виды сварочных дуг (рис. 14):

- прямого действия, когда дуга горит между электродом и изделием;
- косвенного действия, когда дуга горит между двумя электродами, а свариваемое изделие не включено в электрическую цепь;
- трехфазную дугу, возбуждаемую между двумя электродами, а также между каждым электродом и основным металлом.

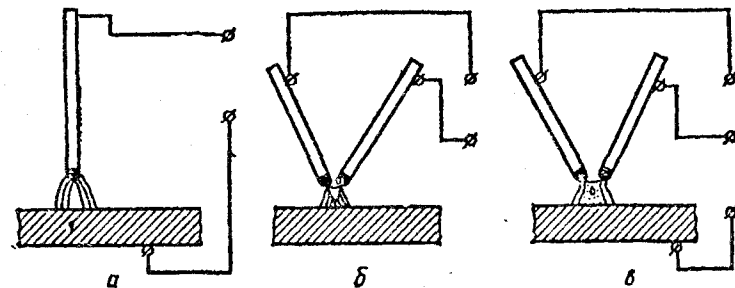


Рис. 14. Виды сварочных дуг: а — прямого; б — косвенного; в — комбинированного действия (трехфазная)

По роду тока различают дуги, питаемые переменным и постоянным током. При использовании постоянного тока различают сварку прямой и обратной полярности. В первом случае электрод подключается к отрицательному полюсу и служит катодом, а изделие — к положительному полюсу (анод); во втором случае электрод подключается к положительному полюсу и служит анодом, а изделие — к отрицательному и служит катодом.

В зависимости от материала электрода различают дуги между неплавящимися электродами (угольными, вольфрамовыми) и плавящимися металлическими электродами.

Сварочная дуга обладает рядом физических и технологических свойств, от которых зависит эффективность использования дуги при сварке. К физическим относятся электрические, электромагнитные, кинетические, температурные, световые. К технологическим свойствам относятся: мощность дуги, пространственная устойчивость, саморегулирование.

Электрический разряд в газе — это электрический ток, проходящий через газовую среду благодаря наличию в ней свободных электронов, а также отрицательных и положительных ионов, способных перемещаться между электро-

дами под действием приложенного электрического поля (разности потенциалов между электродами).

Процесс, при котором из нейтральных атомов и молекул образуются положительные и отрицательные ионы, называется ионизацией. При обычных температурах ионизацию можно вызвать, если уже имеющимся в газе электронам и ионам сообщить при помощи электрического поля большие скорости. Обладая большой энергией, эти частицы могут разбивать нейтральные атомы и молекулы на ионы. Кроме того, ионизацию можно вызвать световыми, ультрафиолетовыми, рентгеновскими лучами, а также излучением радиоактивных веществ.

В обычных условиях воздух, как и все газы, обладает весьма слабой электропроводностью. Это объясняется малой концентрацией свободных электронов и ионов в газах. Поэтому, чтобы вызвать в газе мощный электрический ток, т. е. образовать электрическую дугу, необходимо ионизировать воздушный промежуток (или другую газообразную среду) между электродами. Ионизацию можно произвести, если приложить к электродам достаточно высокое напряжение, тогда имеющиеся в газе свободные электроны и ионы будут разгоняться электрическим полем и, получив большие энергии, смогут разбить нейтральные молекулы на ионы. Однако при сварке, исходя из правил техники безопасности, нельзя пользоваться высокими напряжениями. Поэтому применяют другой способ. Так как в металлах имеется большая концентрация свободных электронов, то надо извлечь эти электроны из объема металла в газовую среду и затем использовать для ионизации молекул газа.

Существует несколько способов извлечения электронов из металлов. Из них для процесса сварки имеют значение два: термоэлектронная и автоэлектронная эмиссии.

При термоэлектронной эмиссии происходит «испарение» свободных электронов с поверхности металла благодаря

высокой температуре. Чем выше температура металла, тем большее число свободных электронов приобретают энергии, достаточные для преодоления «потенциального барьера» в поверхностном слое и для выхода из металла.

При автоэлектронной эмиссии извлечение электронов из металла производится при помощи внешнего электрического поля, которое несколько изменяет потенциальный барьер у поверхности металла и облегчает выход тех электронов, которые внутри металла имеют достаточно большую энергию и могут преодолеть этот барьер.

Ионизацию, вызванную в некотором объеме газовой среды, принято называть объемной. Объемная ионизация, полученная благодаря нагреванию газа до очень высоких температур, называется термической. При высоких температурах значительная часть молекул газа обладает достаточной энергией для того, чтобы при столкновениях могло произойти разбиение нейтральных молекул на ионы. Кроме того, с повышением температуры увеличивается общее число столкновений между молекулами газа. При очень высоких температурах в процессе ионизации начинает также играть заметную роль излучение газа и раскаленных электродов.

Ионизация газовой среды характеризуется степенью ионизации, т. е. отношением числа заряженных частиц в данном объеме к первоначальному числу частиц (до начала ионизации). При полной ионизации степень ионизации будет равна единице.

При температуре 6000—8000 К такие вещества, как калий, натрий, кальций, обладают достаточно высокой степенью ионизации. Пары этих элементов, находясь в дуговом промежутке, обеспечивают легкость возбуждения и устойчивое горение дуги. Это свойство щелочных металлов объясняется тем, что атомы этих металлов обладают малым потенциалом ионизации. Поэтому для повышения

устойчивости горения электрической дуги эти вещества вводят в зону дуги в виде электродных покрытий или флюсов.

Электрическая дуга постоянного тока возбуждается при соприкосновении торца электрода и кромок свариваемой детали. Контакт в начальный момент осуществляется между микровыступами поверхностей электрода и свариваемой детали. Высокая плотность тока способствует мгновенному расплавлению этих выступов и образованию пленки жидкого металла, которая замыкает сварочную цепь на участке «электрод — свариваемая деталь». При последующем отводе электрода от поверхности детали на 2—4 мм пленка жидкого металла растягивается, а сечение уменьшается, вследствие чего возрастает плотность тока и повышается температура металла. Эти явления приводят к разрыву пленки и испарению вскипевшего металла. Возникшие при высокой температуре интенсивные термоэлектронная и автоэлектронная эмиссии обеспечивают ионизацию паров металла и газов межэлектродного промежутка.

В образовавшейся ионизированной среде возникает электрическая сварочная дуга (рис. 15). Процесс возбуждения дуги кратковремен и осуществляется в течение долей секунды. В установившейся сварочной дуге различают три зоны: катодную, анодную и столба дуги. Катодная зона начинается с раскаленного торца катода, на котором расположено так называемое катодное пятно. Отсюда вылетает поток свободных электронов, осуществляющих ионизацию дугового промежутка. Плотность тока на катодном пятне достигает 60—70 А/мм². К катоду устремляются потоки положительных ионов, которые бомбардируют и отдают ему свою энергию, вызывая нагрев до температуры 2500—3000°С.

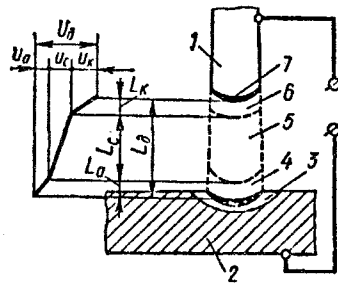


Рис. 15. Схема сварочной дуги и падения напряжений в ней: 1 — электрод; 2 — изделие; 3 — анодное пятно; 4 — анодная область дуги; 5 — столб дуги; 6 — катодная область дуги; 7 — катодное пятно

Анодная зона расположена у торца положительного электрода, в котором выделяется небольшой участок, называемый анодным пятном. К анодному пятну устремляются и отдают свою энергию потоки электронов, накаляя его до температуры 2500—4000°С. Столб дуги, расположенный между катодной и анодной зонами, состоит из раскаленных и ионизированных частиц. Температура в этой зоне достигает 6000—7000°С в зависимости от плотности сварочного тока.

Для возбуждения дуги в начальный момент необходимо несколько большее напряжение, чем при ее последующем горении. Это объясняется тем, что при возбуждении дуги воздушный зазор недостаточно нагрет, степень ионизации недостаточно высокая и необходимо большее напряжение, способное сообщить свободным электронам достаточно большую энергию, чтобы при их столкновении с атомами газового промежутка могла произойти ионизация. Увеличение концентрации свободных электронов в объеме дуги приводит к интенсивной ионизации дугового промежутка, а отсюда — к повышению его электропроводности. Вследствие этого напряжение тока пада-

ет до значения, которое необходимо для устойчивого горения дуги.

Зависимость напряжения дуги от тока в сварочной цепи называют статической вольт-амперной характеристикой дуги.

Вольт-амперная характеристика дуги имеет три области — падающую, жесткую и возрастающую (рис. 16). В первой (до 100 А) с увеличением тока напряжение значительно уменьшается. Это происходит в связи с тем, что при повышении тока увеличивается поперечное сечение, а следовательно, и проводимость столба дуги. Во второй области (100—1000 А) при увеличении тока напряжение сохраняется постоянным, так как сечение столба дуги и площади анодного и катодного пятен увеличиваются пропорционально току. Область характеризуется постоянством плотности тока. В третьей области увеличение тока вызывает возрастание напряжения вследствие того, что увеличение плотности тока выше определенного значения не сопровождается увеличением катодного пятна ввиду ограниченности сечения электрода. Дуга первой области горит неустойчиво и поэтому имеет ограниченное применение. Дуга второй области горит устойчиво и обеспечивает нормальный процесс сварки.

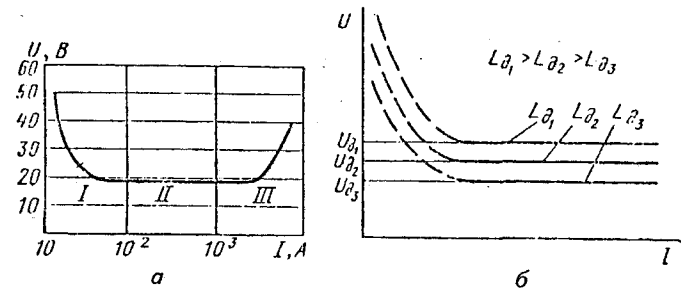


Рис. 16. Статическая вольт-амперная характеристика дуги — а и зависимость напряжения дуги U_0 от ее длины L_0 — б

Напряжение, необходимое для возбуждения дуги, зависит от рода тока (постоянный или переменный), дугового промежутка, материала электрода и свариваемых кромок, покрытия электродов и ряда других факторов. Значения напряжений, обеспечивающих возникновение дуги в дуговых промежутках, равных 2—4 мм, находятся в пределах 40—70 В. Напряжение для установившейся сварочной дуги определяют по формуле $U = a + bl$, где a — коэффициент, по своей физической сущности составляющий сумму падений напряжений в зонах катода и анода, В; b — коэффициент, выражающий среднее падение напряжения на единицу длины дуги, В/мм; l — длина дуги, мм. Для стальных электродов в среднем можно принять $a = 10$ В, $b = 2$ В/мм. При $l = 4$ мм $U_0 = 10 + 2 \cdot 4 = 18$ В.

Длиной дуги называется расстояние между торцом электрода и поверхностью сварочной ванны. Короткой дугой считают дугу длиной 2—4 мм. Длина нормальной дуги составляет 4—6 мм. Дугу длиной более 6 мм называют длинной.

Оптимальный режим сварки обеспечивается при короткой дуге. При длинной дуге процесс протекает неравномерно, дуга горит неустойчиво — металл, проходя через дуговой промежуток, больше окисляется и азотируется, увеличиваются угар и разбрызгивание металла.

Электрическая сварочная дуга может быть отклонена от своего нормального положения при помощи магнитных полей, создаваемых вокруг дуги и в свариваемой детали. Эти поля действуют на движущиеся заряженные частицы и тем самым оказывают воздействие на всю дугу. Такое явление называют магнитным дутьем. Воздействие магнитных полей на дугу прямо пропорционально квадрату силы тока и достигает заметного значения при сварочных токах более 300 А.

Магнитные поля оказывают отклоняющее действие на

дугу при неравномерном и несимметричном расположении поля относительно дуги. Наличие вблизи сварочной дуги значительных ферромагнитных масс нарушает симметричность магнитного поля дуги и вызывает отклонение дуги в сторону этих масс.

Магнитное дутье в некоторых случаях затрудняет процесс сварки, и поэтому принимаются меры по снижению его действия на дугу. К таким мерам относятся: сварка короткой дугой; подвод сварочного тока в точке, максимально близкой к дуге; наклон электрода в сторону действия магнитного дутья; размещение у места сварки ферромагнитных масс.

При использовании переменного тока анодное и катодное пятна меняются местами с частотой, равной частоте тока. С течением времени напряжение и ток периодически изменяются от нулевого значения до наибольшего. При переходе значения тока через нуль и перемене полярности в начале и в конце каждого полупериода дуга гаснет, температура активных пятен и дугового промежутка снижается. Вследствие этого происходит деионизация газов и уменьшение электропроводности столба дуги. Интенсивнее падает температура активного пятна, расположенного на поверхности сварочной ванны в связи с отводом теплоты в массу основного металла. Повторное зажигание дуги в начале каждого полупериода возможно только при повышенном напряжении, называемом пиком зажигания. При этом установлено, что пик зажигания несколько выше, когда катодное пятно находится на основном металле. Для снижения пика зажигания, облегчения повторного зажигания дуги и повышения устойчивости ее горения применяют меры, снижающие эффективный потенциал ионизации газов в дуге. При этом электропроводность дуги после угасания дуги сохраняется дольше, пик зажигания снижается, дуга легче возбуждается и горит устойчивее. К этим мерам

относится применение различных стабилизирующих элементов (калий, натрий, кальций и др.), вводимых в зону дуги в виде электродных покрытий или в виде флюсов.

§ 8. Тепловая мощность дуги

Энергия мощных потоков заряженных частиц, бомбардирующих катод и анод, превращается в тепловую энергию электрической дуги. Суммарное количество теплоты Q (Дж), выделяемое дугой на катоде, аноде и столбе дуги, определяется по формуле $Q = IUt$, где I — сварочный ток, А; U — напряжение дуги, В; t — время горения дуги, с.

При питании дуги постоянным током наибольшее количество теплоты выделяется в зоне анода (42—43%). Это объясняется тем, что анод подвергается более мощной бомбардировке заряженными частицами, чем катод, а при столкновении частиц в столбе дуги выделяется меньшая доля общего количества теплоты.

При сварке угольным электродом температура в катодной зоне достигает 3200°C , в анодной — 3900°C , а в столбе дуги среднее значение температуры составляет 6000°C . При сварке металлическим электродом температура катодной зоны составляет около 2400°C , а анодной — 2600°C .

Разная температура катодной и анодной зон, а также и разное количество теплоты, выделяющееся в этих зонах, используются при решении технологических задач. При сварке деталей, требующих большого подвода теплоты для прогрева кромок, применяют прямую полярность, при которой анод (плюсовая клемма источника тока) подсоединяют к детали, а катод (минусовая клемма источника тока) — к электроду. При сварке тонкостенных изделий, тонколистовых конструкций, а также сталей, не допускающих перегрева (нержавеющие, жаропрочные, высокоуглеродистые

и др.), применяют сварку постоянным током обратной полярности. В этом случае катод подсоединяют к свариваемой детали, а анод — к электроду. При этом не только обеспечивается относительно меньший нагрев свариваемой детали, но и ускоряется процесс расплавления электродного материала за счет более высокой температуры анодной зоны и большего подвода теплоты. Полярность клемм источника постоянного тока может быть определена с помощью раствора поваренной соли (половина чайной ложки соли на стакан воды). Если в такой раствор опустить провода от клемм источника тока, то у отрицательного провода будет происходить бурное выделение пузырьков водорода.

При питании дуги переменным током различие температур катодной и анодной зон и распределение теплоты сглаживаются вследствие периодической смены катодного и анодного пятен с частотой, равной частоте тока.

Практика показывает, что в среднем при ручной сварке только 60—70% теплоты дуги используется на нагревание и плавление металла. Остальная часть теплоты рассеивается в окружающую среду через излучение и конвекцию.

Количество теплоты, используемое на нагрев и плавку свариваемого металла в единицу времени, называется эффективной тепловой мощностью дуги q . Она равна полной тепловой мощности дуги, умноженной на эффективный коэффициент полезного действия нагрева металла дугой η :

$$q = 0,24 I \cdot U_0 \cdot \eta,$$

где I — величина сварочного тока, А;

U_0 — напряжение дуги, В.

Коэффициент полезного действия зависит от способа сварки, материала электрода, состава электродного покрытия и других факторов. При ручной дуговой сварке электродом с тонким покрытием или угольным электродом он составляет 0,5—0,6; а при качественных электродах — 0,7—0,85. При

аргонодуговой сварке потери теплоты значительны и составляют 0,5—0,6. Наиболее полно используется теплота при сварке под флюсом.

Для характеристики теплового режима процесса сварки принято определять погонную энергию дуги, т. е. количество теплоты, вводимое в металл на единицу длины однопроходного шва, измеряемое в Дж/м. Погонная энергия равна отношению эффективной тепловой мощности к скорости сварки

$$\frac{q}{V} = \frac{0,24 \cdot I \cdot U_4 \cdot \eta}{V},$$

где V — скорость сварки, см/с.

Величина погонной энергии необходима для определения рационального режима легированных термообработываемых сталей.

Потери теплоты при ручной дуговой сварке составляют примерно 25%, из которых 20% уходят в окружающую среду дуги через излучение и конвекцию паров и газов, а остальные 5% — на угар и разбрызгивание свариваемого металла. Потери теплоты при автоматической сварке под флюсом составляют только 17%, из которых 16% расходуются на плавление флюса, а на угар и разбрызгивание затрачивается около 1% теплоты.

§ 9. Перенос электродного металла

Металл электрода в виде капель переходит в сварочную ванну. Схематично перенос металла электрода можно представить в следующем виде.

В начальный момент металл на конце электрода подплавляется и образуется слой расплавленного металла. За-

тем под действием сил поверхностного натяжения и силы тяжести этот слой металла принимает форму капли с образованием у основания тонкой шейки. Поперечное сечение шейки капли с течением времени уменьшается, что приводит к значительному увеличению плотности тока у шейки капли. Удлинение шейки продолжается до момента касания капли поверхности сварочной ванны. В этот момент происходит короткое замыкание сварочной цепи. Резкое возрастание тока приводит к разрыву шейки и в следующее мгновение вновь возникает, но уже между торцом электрода и каплей. Под давлением паров и газов зоны дуги капля с ускорением внедряется в жидкий металл сварочной ванны. При этом часть металла в виде брызг выбрасывается из зоны сварки. Затем процесс каплеобразования повторяется.

Время горения дуги и короткого замыкания составляет примерно 0,02—0,05 секунды. Частота и продолжительность короткого замыкания в значительной степени зависят от длины сварочной дуги. Чем меньше длина дуги, тем больше коротких замыканий и тем они продолжительнее. Форма и размеры капель металла зависят от сварочного тока, состава и толщины электродного покрытия, положения шва. Перенос электродного металла крупными каплями происходит при сварке на малых токах электродами с тонким покрытием. При больших плотностях сварочного тока и при использовании электродов с толстым покрытием перенос металла происходит в виде потока мельчайших капель. Электродное покрытие снижает поверхностное натяжение металла. Кроме того, газообразующие компоненты, выделяя большое количество газов, создают в зоне дуги повышенное давление, которое способствует размельчению капель жидкого металла.

На процесс переноса капель металла в дуге действует газовое дутье, представляющее собой поток газов, направ-

ленный вдоль дуги в сторону сварочной ванны. При сварке электродом с толстым покрытием стержень электрода плавится быстрее, и торец его оказывается немного покрытым «чехольчиком» покрытия. Интенсивное газообразование в небольшом объеме «чехольчика» приводит к явлению газового дутья, ускоряющего переход капель металла в сварочную ванну.

Влияние силы тяжести особенно сказывается при сварке нижних швов (способствует отрыву капель) и потолочных швов (препятствует переносу металла в шов).

Важным фактором, влияющим на перенос металла в дуге, являются электромагнитные силы. Плотность тока, проходящего через жидкую каплю, велика, поэтому сжимающее действие магнитного поля оказывается заметным. Магнитное поле ускоряет образование и сужение шейки капли, а следовательно, и отрыв ее от торца электрода. Электрическое поле, напряженность которого направлена вдоль дуги в сторону сварочной ванны, действует на жидкую каплю, ускоряя процесс отрыва капель от торца электрода и переход ее в сварочную ванну металла. Перенос капель электродного металла на свариваемый шов при потолочной сварке обеспечивается в основном действием магнитного и электрического полей, а также явлением газового дутья в дуге.

Капли металла, проходящие через дугу, имеют шлаковую оболочку, которая образуется от плавления веществ, входящих в покрытие электрода. Эта оболочка защищает металл капли от окисления и азотирования, обеспечивая хорошее качество металла шва.

Доля электродного металла в составе металла шва различна и зависит от способа и режима сварки, а также от вида сварного шва. При ручной сварке доля электродного металла колеблется в широких пределах (30—80%), при автоматической сварке она составляет 30—40%.

Производительность сварки в значительной степени зависит от скорости расплавления электродного металла, которая оценивается коэффициентом расплавления. Коэффициент расплавления численно равен массе электродного металла (σ), расплавленного в течение одного часа, приходящегося на один ампер сварочного тока.

Коэффициент расплавления зависит от ряда факторов, влияющих на процесс плавки электродного металла. При обратной полярности коэффициент расплавления больше, чем при прямой полярности, так как на аноде выделяется больше теплоты и температура анода выше, чем у катода. Состав покрытия и его толщина влияют на коэффициент расплавления. Это объясняется, во-первых, значением эффективного потенциала ионизации газов; во-вторых, изменением баланса теплоты дугового промежутка. Коэффициент расплавления при ручной дуговой сварке составляет 6,5—14,5 г/(А·ч). Меньшие значения имеют электроды с тонким покрытием, а большие — электроды с толстым покрытием.

Для оценки скорости сварки шва пользуются коэффициентом наплавки. Этим коэффициентом оценивают количество электродного металла, введенного в свариваемый шов.

Коэффициент наплавки меньше коэффициента расплавления на величину потерь электродного металла из-за угля и разбрызгивания. Эти потери при ручной сварке достигают 25—30%; при автоматической сварке под флюсом потери составляют только 2—5% от количества расплавленного электродного металла. Знание этих коэффициентов позволяет произвести расчет необходимого количества электродного металла для сварки шва установленного сечения и определить скорость сварки шва.

Величина коэффициента наплавки указывается в паспортных данных на каждой пачке электродов, что позволя-

ет оценивать производительность процесса сварки при выборе той или иной марки электрода.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется сварочной дугой?
2. Какие основные виды сварочных дуг вы знаете?
3. Объясните строение сварочной дуги.
4. Что называют ионизацией?
5. Как возникает электрическая сварочная дуга?
6. Что такое вольт-амперная характеристика дуги?
7. Как происходит перенос металла электрода в сварочную ванну?
8. Что характеризуют коэффициенты расплавления и наплавки металла?

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ДУГИ

.....

§ 10. Требования к источникам питания

Важным условием получения сварного шва высокого качества является *устойчивость процесса сварки*. Для этого источники питания дуги должны обеспечить возбуждение и стабильное горение дуги.

Возбуждение сварочной дуги начинается с короткого замыкания сварочной цепи — контакта между электродом и деталью. При этом происходит выделение теплоты и быстрое разогревание места контакта. Эта начальная стадия требует повышенного напряжения сварочного тока. В дальнейшем происходит некоторое уменьшение сопротивления дугового промежутка (вследствие эмиссии электронов с катода и появления объемной ионизации газов в дуге), что вызывает снижение напряжения до предела, необходимого для поддержания устойчивого горения дуги.

В процессе сварки при переходе капель электродного металла в сварочную ванну происходят очень частые короткие замыкания сварочной цепи. Вместе с этим изменяется длина сварочной дуги. При каждом коротком замыкании напряжение падает до нулевого значения. Для последующего восста-

новления дуги необходимо напряжение порядка 25—30 В. Такое напряжение должно быть обеспечено за время не более 0,05 секунды, чтобы поддержать горение дуги в период между короткими замыканиями. Следует учесть, что при коротких замыканиях сварочной цепи развиваются большие токи (токи короткого замыкания), которые могут вызвать перегрев в проводке и обмотках источника тока.

Эти условия процесса сварки и определили требования, предъявляемые к источникам питания сварочной дуги. Для обеспечения устойчивого процесса сварки источники питания дуги должны удовлетворять следующим требованиям:

- напряжение холостого хода должно быть достаточным для легкого возбуждения дуги и в то же время не должно превышать норм безопасности. Максимально допустимое напряжение холостого хода установлено для источников постоянного тока 90 В; для источников переменного тока — 80 В;
- напряжение устойчивого горения дуги (рабочее напряжение) должно быстро устанавливаться и изменяться в зависимости от длины дуги. С увеличением длины дуги напряжение должно быстро возрастать, а с уменьшением — быстро падать. Время восстановления рабочего напряжения от 0 до 30 В после каждого короткого замыкания (при капельном переносе металла от электрода к свариваемой детали) должно быть менее 0,05 секунды;
- ток короткого замыкания не должен превышать сварочный ток более чем на 40—50%. При этом источник тока должен выдерживать продолжительные короткие замыкания сварочной цепи. Это условие необходимо для предохранения обмоток источника тока от перегрева и повреждения;
- мощность источника тока должна быть достаточной для выполнения сварочных работ.

Источники тока для питания сварочной дуги должны иметь специальную внешнюю характеристику. Внешней характеристикой источника называется зависимость напряжения на его выходных клеммах от тока в электрической цепи. Внешние характеристики (рис. 17) могут быть следующих основных видов: падающая — 1, пологопадающая — 2, жесткая — 3 и возрастающая — 4. Источник тока выбирают в зависимости от вольт-амперной характеристики дуги, соответствующей принятому способу сварки.

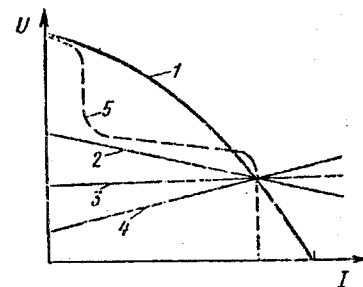


Рис. 17. Внешние характеристики источников сварочного тока

Источники сварочного тока с падающей характеристикой (1, 2) необходимы для облегчения зажигания дуги за счет повышенного напряжения холостого хода и обеспечения устойчивого горения дуги при колебаниях ее длины. Они используются для ручной дуговой сварки и сварки под флюсом.

Оптимальным для этих условий горения сварочной дуги является источник тока с идеализированной внешней характеристикой — 5. Такую характеристику имеют источники тока на основе применения полупроводниковых тиристорных схем.

Источники тока с жесткой и возрастающей внешними характеристиками применяют для сварки плавящимся электродом в атмосфере защитных газов и электрошлаковой сварки. Дуга в этом случае имеет жесткую или возрастающую

щую характеристики, поэтому для обеспечения устойчивого ее горения необходимы источники тока с такими характеристиками.

Для питания сварочной дуги применяют источники переменного или постоянного тока. Источники переменного тока более распространены, так как они проще в эксплуатации, более долговечные и обладают более высоким КПД.

Однако сварочная дуга на переменном токе горит менее устойчиво, что не обеспечивает необходимого качества сварного шва, особенно при сварке ответственных конструкций, легированных сталей. Для этих условий предпочтительней является сварка на постоянном токе, поскольку повышается устойчивость горения дуги, улучшаются условия сварки и т. д.

Промышленностью выпускаются следующие типы источников питания сварочной дуги: сварочные преобразователи, сварочные аппараты переменного тока, сварочные выпрямители.

§ II. Сварочные преобразователи

Сварочные преобразователи подразделяют на группы:

- по количеству одновременно подключенных постов — однопостовые, предназначенные для питания одной сварочной дуги, и многопостовые, питающие одновременно несколько сварочных дуг;
- по способу установки — стационарные, устанавливаемые неподвижно на фундаментах, и передвижные, монтируемые на тележках;
- по роду двигателей, приводящих генератор во вращение, — машины с электрическим приводом и машины с двигателем внутреннего сгорания (бензиновым или дизельным);

- по способу выполнения — однокорпусные, в которых генератор и двигатель вмонтированы в единый корпус, и отдельные, в которых генератор и двигатель установлены в единой рамке, а привод осуществляется через специальную соединительную муфту.

Однопостовые сварочные преобразователи состоят из генератора и электродвигателя или двигателя внутреннего сгорания. Сварочные генераторы изготавливают по электромагнитным схемам, которые обеспечивают падающую внешнюю характеристику (рис. 18) и ограничение тока короткого замыкания. Внешняя вольт-амперная характеристика I показывает зависимость между напряжением и током на клеммах сварочной цепи генератора. Для устойчивости горения сварочной дуги характеристика генератора I должна пересекать характеристику дуги III. Возбуждение дуги осуществляется при соприкосновении электрода и изделия. При этом напряжение изменяется от точки 1 к точке 2. При возникновении и устойчивом горении сварочной дуги ее характеристика смещается с положения II и занимает положение III, а напряжение возрастает до значения, указанного точкой 3. Эта точка соответствует режиму устойчивого горения сварочной дуги. Ток короткого замыкания (точка 4) не должен превышать сварочный ток (точка 5) более чем в 1,5 раза.

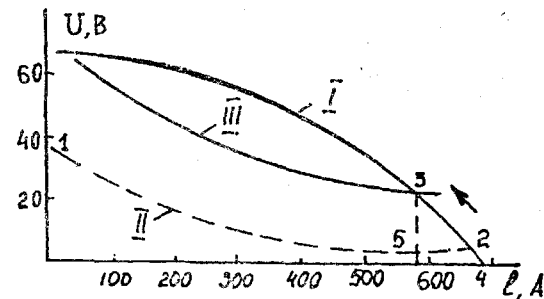


Рис. 18. Вольт-амперная характеристика дуги

Наибольшее распространение получили однопостовые генераторы с расщепленными полюсами и генераторы с размагничивающей последовательной обмоткой. Генераторы с расщепленными полюсами работают по принципу использования магнитного потока якоря для получения падающей внешней характеристики.

Генератор имеет четыре основных и два дополнительных полюса. При этом одноименные основные полюсы расположены рядом, составляя как бы один раздвоенный полюс. Обмотки возбуждения имеют две секции — регулируемую и нерегулируемую. Нерегулируемая обмотка расположена на всех четырех основных полюсах, а регулируемая помещена только на поперечных полюсах генератора. В цепь регулируемой обмотки возбуждения включен реостат. По нейтральной линии симметрии $O - O$ между разноименными полюсами на коллекторе генератора расположены основные щетки, к которым подключается сварочная цепь. Дополнительная щетка служит для питания обмоток возбуждения.

Сварочный ток регулируют в два приема — грубо и точно. Грубое регулирование производят смещением щеточной траверсы, на которой расположены все три щетки генератора. Если сдвигать щетки по направлению вращения якоря, то размагничивающее действие потока якоря увеличивается и сварочный ток уменьшается. При обратном сдвиге размагничивающее действие уменьшается и сварочный ток увеличивается. Таким образом, устанавливают интервалы больших и малых токов. Плавное и точное регулирование тока производят реостатом, включенным в цепь обмотки возбуждения. Увеличивая или уменьшая реостатом ток возбуждения в обмотке поперечных полюсов, изменяют магнитный поток и тем самым изменяют напряжение генератора и сварочный ток.

В генераторах с расщепленными полюсами поздних выпусков регулирование сварочного тока производится измене-

нием числа витков секционированных обмоток полюсов генератора и реостатом, включенным в цепь обмотки возбуждения. Реостат устанавливается на корпусе генератора и имеет шкалу с делениями. По такой схеме работают генераторы СГ-300М-1, используемые в преобразователях ПС-300М-1.

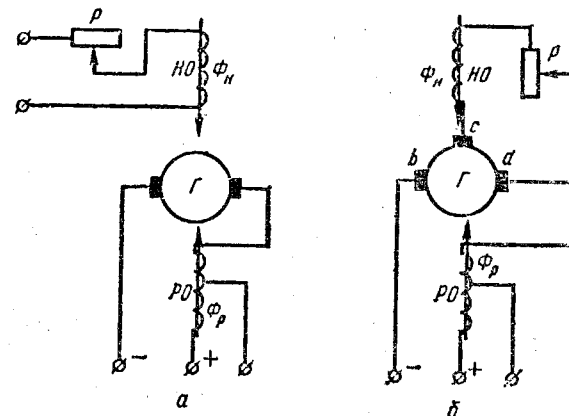


Рис. 19. Принципиальная схема сварочного генератора: *a* — с независимым возбуждением и размагничивающей последовательной обмоткой; *b* — с самовозбуждением и размагничивающей последовательной обмоткой; Г — генератор; Р — реостат; НО — намагничивающая обмотка; РО — размагничивающая обмотка

Генератор с размагничивающим действием (рис. 19) последовательной обмотки возбуждения, включенной в сварочную цепь, имеет две обмотки: обмотку возбуждения и размагничивающую последовательную обмотку. Обмотка возбуждения питается либо от основной и дополнительной щеток, либо от специального источника постоянного тока (от сети переменного тока через селеновый выпрямитель). Магнитный поток Φ_n , создаваемый этой обмоткой, постоянен и не зависит от нагрузки генератора. Размагничивающая обмотка включена последовательно с обмоткой якоря так,

что при горении дуги сварочный ток, проходя через обмотку, создает магнитный поток Φ_p , направленный против потока Φ_n . Следовательно, э.д.с. генератора будет индуцироваться результирующим магнитным потоком $\Phi_n - \Phi_p$. С увеличением сварочного тока магнитный поток Φ_p возрастает, а результирующий магнитный поток $\Phi_n - \Phi_p$ уменьшается. Как следствие, уменьшается индуцируемая э.д.с. генератора. Таким образом, размагничивающее действие обмотки обеспечивает получение падающей внешней характеристики генератора.

Сварочный ток регулируют переключением витков последовательной обмотки (грубая регулировка — два диапазона) и реостатом обмотки возбуждения (плавная и точная регулировка в пределах каждого диапазона). По такой схеме выпускаются генераторы ГСО-120, ГСО-300, ГСО-500, ГС-500 и др. Технические характеристики генераторов, преобразователей и сварочных агрегатов приведены в табл. 5, 6, 7.

Таблица 5

Технические характеристики генераторов постоянного тока

Тип	Сварочный ток, А		Напряжение, В		ПН, %	Мощность, кВт
	номинальный	пределы регулирования	номинальное	холостого хода		
1	2	3	4	5	6	7
Генераторы однополюсные с падающей характеристикой, независимым возбуждением и последовательной размагничивающей обмоткой						
ГСО-120	120	30—120	25	48—65	65	3
ГСО-300А	300	75—300	30	65	65	9
ГС-300-З	315	115—315	32	90	60	9,6
ГСО-500	500	120—600	40	62—80	65	20
ГС-1000-П	1000	300—1200	45	90	65	45
ГС-1000-П	1000	300—1200	45	90	65	45
ГС-1000-П	1000	300—1000	45	90	100	45
ПГС-300*	300	75—340	30	65	65	9

Окончание табл. 5

1	2	3	4	5	6	7
Генератор однополюсной с жесткой характеристикой, независимым возбуждением и последовательной подмагничивающей обмоткой						
ГСГ-500-1	500	60—500	$\frac{40}{16-40}$	18—42	60	20
Генераторы однополюсные с универсальной характеристикой и независимым возбуждением**						
ГД-304	300	$\frac{15-350}{80-300}$	$\frac{32}{16-45}$	75—80	$\frac{65}{60}$	9,6
ГД-502	500	$\frac{15-500}{-}$	$\frac{40}{15-50}$	90	$\frac{65}{60}$	20
ГСУ-300	300	$\frac{75-300}{-}$	$\frac{30}{10-35}$	$\frac{48}{16-36}$	$\frac{65}{60}$	9
ГСУ-500-2	500	$\frac{120-500}{60-500}$	$\frac{40}{16-40}$	$\frac{65}{60}$	$\frac{65}{60}$	20
ГСУМ-400	400	$\frac{100-400}{-}$	70	$\frac{100}{25-70}$	65	28
Генераторы многополюсные						
ГСГМ-500*	500	Два поста до 250 А	30	16-35	60	15
ГСМ-500	500	Два поста до 300 А	50	55	100	27,5
ГСМ-1000-4	1000	До 6 постов до 300 А	60	60	100	60
СГ-1000	1000	То же	60	60	100	60

* Генератор имеет независимое возбуждение от дополнительного источника питания.

** Значения параметров в числителе при падающих в знаменателе при жестких характеристиках.

Таблица 6

Технические характеристики сварочных преобразователей и агрегатов с электродвигателями

преобразователя или агрегата	Тип генератора	Приводной электродвигатель на напряжение сети 220/380 В			Коэффициент		Габарит, мм	Масса, кг	Исполнение
		тип	мощность, кВт	частота вращения, об/мин	полезного действия	мощности			
ПСО-120	ГСО-120	АВ-42-2	7,2	2900	0,55	0,83	1055×550×730	155	Однокорпусный, передвижной, на колесах
ПСО-300	ГСО-300	АВ2-62-4	14	1450	0,7	0,88	1015×590×980	400	
ПСО-300-2	—	4АВ-160А4	—	1450	—	—	1069×620×822	435	
ПСО-300-3	ГСО-300/3	АВ2-61-4	13	1450	—	—	1069×590×800	400	
ПСО-300А	ГСО-300А	А-62/4	12,5	2890	0,6	—	1020×608×996	305	
ПСО-300М	ГСО-300М	—	14	2920	0,7	—	550×645×1150	300	Однокорпусный, передвижной, на колесах
ПСО-500	ГСО-500	АВ2-71-2	30	2930	0,54	0,89	1075×650×1085	540	
ПСГ-500	ПСГ-500	АВ-71-2	28	2900	0,65	0,89	1055×580×920	500	
ПСГ-500/1	ПСГ-500-1	АВ2-71-2	30	2930	—	—	1050×590×870	460	
ПСМ-100-П	СГ-100	АД-91/4	75	1450	0,74	0,89	1520×820×910	1600	Однокорпусный, стационарный, на лапах
ПСМ-1000-4	СМ-1000-4	А2-82/2	75	2925	0,73	0,9	1430×620×820	950	
ПСУ-300	ГСУ-300	АВ2-52-2	10	2890	0,63	0,83	1160×490×740	300	Однокорпусный, передвижной, на колесах
ПСУ-500-2	ГСУ-500-2	АВ2-71-2	30	2930	0,63	0,9	1075×1085×650	545	

Таблица 7

Технические характеристики агрегатов с бензиновыми и дизельными двигателями

агрегата	Тип генератора	Приводной двигатель			Габарит, мм	Масса, кг	Исполнение
		тип	мощность, кВт	частота вращения, об/мин			
АСБ-120	ГСО-120-2	УД-2	6,6	2900	1290×645×935	300	Общая рама с крышей
АСБ-300М	ГСО-300М	408	14,7	3000	1660×1095×935	565	Общая рама с крышей. Стенки съемные
АСБ-300-7	ГСО-300-5	ГАЗ-320	29,4	2000	1955×895×1250	640	
АСБ-300-8	ГСО-300-8	ГАЗ-320	29,4	2000	1915×895×1250	640	
АСБГ-300	ГСО-300-5	ГАЗ-320Ж	18,4	2000	1915×895×1655	860	
АСД-3-1	СГП-3-VIII	ЯАЗ-М69-20	44	1500	2820×1100×2115	2500	Общая рама с крышей. Стенки откидные
АСД-300	ГСО-300	5П4-44-8,5/1	17,7	1500	1885×875×1470	980	Общая рама с крышей. Стенки съемные
АСД-300М	ГСО-300	5П4-44-8,5/1	17,7	1500	1885×875×1470	980	
АСДП-500	СГП-3-VIII	ЯАЗ-М20-4Г	44	1500	5380×1930×2600	4400	Общая рама с крышей на 4-колесном прицепе. Стенки съемные
ПАС-400-VI	СГП-3-VI	ЗИЛ-164А	48	1600	2950×1920×880	1900	Общая рама с крышей. Стенки откидные
ПАС-400-VIII	СГП-3-VI	ЗИЛ-164А	48	1600	2950×1920×880	1900	

Сварочный преобразователь (рис. 20) типа ПСО-500 состоит из генератора ГСО-500 и трехфазного асинхронного электродвигателя АВ-72—4, смонтированных в едином корпусе на колесах для перемещения по строительной площадке. Преобразователь предназначен для ручной дуговой сварки, полуавтоматической шланговой и автоматической сварки под флюсом. Грубое регулирование сварочного тока производят переключением секционированной последовательной обмотки генератора. Для этого на клеммовую доску генератора выведены один отрицательный и два положительных контакта. Если необходим сварочный ток в пределах 120—350 А, то сварочные провода присоединяют к отрицательному и среднему положительному контактам. При работе на токах 350—600 А сварочные провода присоединяют к отрицательному и крайнему положительному контак-

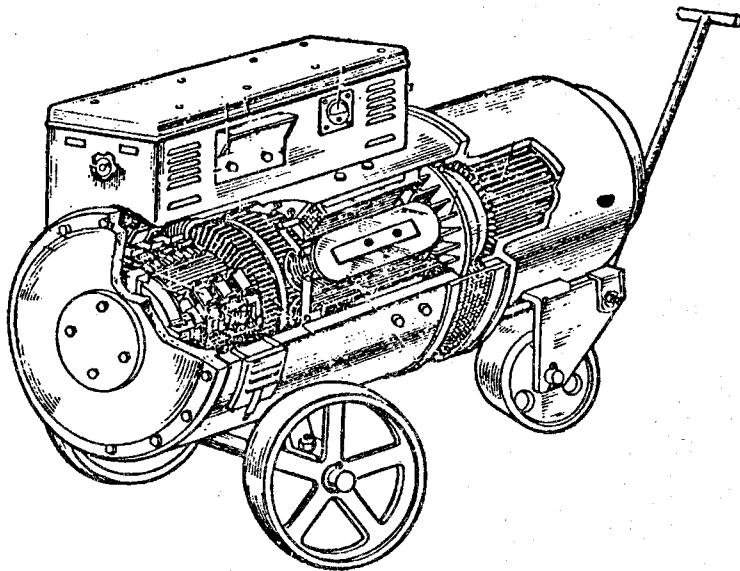


Рис. 20. Сварочный преобразователь

там. Плавно регулируют сварочный ток реостатом, включенным в цепь обмотки независимого возбуждения. Реостат расположен на корпусе машины и имеет маховик с токоуказателем. Шкала имеет два ряда цифр, соответствующих подключаемым контактам: внутренний ряд — до 350 А и наружный ряд — до 600 А.

Для выполнения сварочных работ при отсутствии электроэнергии применяют подвижные сварочные агрегаты, состоящие из сварочного генератора и двигателя внутреннего сгорания.

Сварочный агрегат типа ПАС-400-VIII состоит из генератора СГП-3-VI и двигателя внутреннего сгорания ЗИЛ-120 или ЗИЛ-164. Генератор работает по схеме с размагничивающей последовательной обмоткой. Регулирование тока производят реостатом цепи основной обмотки возбуждения. Двигатель сварочного агрегата специально переоборудован для режима длительной стационарной работы. Он имеет автоматический центробежный регулятор скорости вращения, ручное регулирование для работы при малых скоростях, автоматическое выключение зажигания при внезапном увеличении скорости. Сварочный агрегат смонтирован на жесткой металлической раме с катками для перемещения. Наличие крыши и боковых металлических щитов, защищающих от атмосферных осадков, позволяет работать на открытом воздухе.

Для сварки в защитных газах, а также для полуавтоматической и автоматической сварки применяют генераторы с жесткой или возрастающей внешней характеристикой. Такие генераторы имеют обмотки независимого возбуждения и подмагничивающую последовательную обмотку. При холостом ходе э. д. с. генератора наводится магнитным потоком, который создается обмоткой независимого возбуждения. При рабочем режиме сварочный ток, проходя через последовательную обмотку, создает магнитный по-

ток, совпадающий по направлению с магнитным потоком обмотки независимого возбуждения. Тем самым обеспечивается жесткая или возрастающая вольт-амперная характеристика.

Преобразователь такого типа ПСГ-350 состоит из сварочного генератора постоянного тока ГСГ-350 и трехфазного асинхронного электродвигателя АВ-61—2 мощностью 14 кВт. Генератор имеет обмотку независимого возбуждения и подмагничивающую последовательную обмотку. Обмотка независимого возбуждения питается от внешней сети через селеновые выпрямители и стабилизатор, который исключает влияние колебания напряжения в сети на ток возбуждения. Последовательная обмотка разделена на две секции: при включении в сварочную цепь части витков генератор работает в режиме жесткой характеристики, а при использовании всех витков обмотки генератор дает возрастающую внешнюю характеристику. Генератор и двигатель размещены в общем корпусе и смонтированы на тележке.

При работе на строительной площадке или заводе нескольких сварочных постов, расположенных недалеко друг от друга, применяют многопостовые сварочные преобразователи. Внешняя характеристика многопостового генератора должна быть жесткой, т. е. независимо от количества работающих постов напряжение генератора должно быть постоянным. Для получения постоянного напряжения многопостовой генератор имеет параллельную обмотку возбуждения и последовательную обмотку, создающую магнитный поток того же направления.

Применение многопостовых сварочных преобразователей позволяет значительно уменьшить площади под сварочным оборудованием, сократить расходы на ремонт, уход и обслуживание. Однако КПД сварочного поста значительно ниже, чем при однопостовом преобразователе, вследствие больших потерь мощности в балластных реостатах.

Если мощность одного генератора недостаточна для работы сварочного поста, то включают параллельно два сварочных агрегата. При параллельном включении генераторов необходимо соблюдать следующие условия. Генераторы должны быть одинаковыми по типу и внешним характеристикам. До включения необходимо отрегулировать генераторы на одинаковое напряжение холостого хода. После включения в работу следует с помощью регулирующих устройств установить по амперметру одинаковую нагрузку генераторов. При неодинаковой нагрузке напряжение одного генератора будет выше, чем у другого, и генератор с низким напряжением, питаемый током второго генератора, будет работать как двигатель. Это приведет к размагничиванию полюсов генератора и выходу его из строя. Поэтому следует постоянно следить за показаниями амперметров и при необходимости отрегулировать равномерность нагрузок генераторов.

Для уравнивания напряжения параллельно работающих генераторов с падающими внешними характеристиками применяют перекрестное питание их цепей возбуждения: обмотки возбуждения одного генератора питаются от щеток якоря другого генератора. Для этой цели генераторы имеют уравнительные контакты, которые надо при параллельной работе соединить между собой.

При параллельном включении многопостовых генераторов типа ПСМ-1000 необходимо клеммы на щитках генераторов ГС-1000, обозначенные буквой У (уравнительный), соединить между собой уравнительным проводом. Этим проводом последовательные обмотки генераторов соединяются параллельно и таким образом исключаются колебания в распределении нагрузки между генераторами.

§ 12. Сварочные аппараты переменного тока

Сварочные аппараты переменного тока состоят из понижающего трансформатора и специального устройства, создающего падающую внешнюю характеристику и регулирующего сварочный ток. Они подразделяются на две группы: аппараты, состоящие из трансформатора с жесткой внешней характеристикой и дросселя, и аппараты, имеющие трансформатор с падающей внешней характеристикой, создаваемой усиленными полями рассеяния в самом трансформаторе. Сварочные аппараты первой группы могут быть с отдельным дросселем и со встроенным дросселем.

Сварочные аппараты с отдельным дросселем состоят из понижающего трансформатора и дросселя регулятора тока. Трансформатор имеет сердечник (магнитопровод) из отштампованных пластин, изготовленных из тонкой трансформаторной стали толщиной 0,5 мм. На сердечнике расположены первичная и вторичная обмотки. Первичная обмотка из изолированной проволоки подключается к сети переменного тока напряжением 220 или 380 В. Во вторичной обмотке, изготовленной из медной шины, индуцируется ток напряжением 60—70 В. Небольшое магнитное рассеивание и малое омическое сопротивление обмоток обеспечивают незначительное внутреннее падение напряжения и высокий КПД трансформатора. В сварочную цепь включают обмотку (из голы медной шины) дросселя (регулятора тока). Сердечник дросселя набран из пластин тонкой трансформаторной стали и состоит из двух частей: неподвижной, на которой расположена обмотка дросселя, и подвижной, перемещаемой с помощью винтовой пары. При вращении рукоятки по часовой стрелке воздушный зазор увеличивается, а против часовой стрелки — уменьшается.

При возбуждении дуги (при коротком замыкании) боль-

шой ток, проходя через обмотку дросселя, создает мощный магнитный поток, наводящий э.д.с. дросселя, направленную против напряжения трансформатора. Вторичное напряжение, развиваемое трансформатором, полностью поглощается падением напряжения в дросселе. Напряжение в сварочной цепи почти достигает нулевого значения. При возникновении дуги сварочный ток уменьшается, вслед за ним уменьшается э.д.с. самоиндукции дросселя, направленная против напряжения трансформатора, и в сварочной цепи устанавливается рабочее напряжение, необходимое для устойчивого горения дуги, меньшее, чем напряжение холостого хода. Изменяя зазор между неподвижным и подвижным магнитопроводом, изменяют индуктивное сопротивление дросселя и тем самым ток в сварочной цепи. При увеличении зазора магнитное сопротивление магнитопровода дросселя увеличивается, магнитный поток ослабляется, уменьшается э.д.с. самоиндукции катушки и ее индуктивное сопротивление. Это приводит к возрастанию сварочного тока. При уменьшении зазора сварочный ток уменьшается. По этой схеме изготовлены и эксплуатируются сварочные трансформаторы типа СТЭ. Они просты и безопасны в работе.

Сварочные аппараты со встроенным дросселем устроены следующим образом. Сердечник трансформатора состоит из основного магнитопровода, на котором расположены первичная и вторичная обмотки собственно трансформатора, и добавочного магнитопровода с обмоткой дросселя (регулятор тока). Добавочный магнитопровод расположен над основным и состоит из неподвижной и подвижной частей, между которыми при помощи винтового механизма устанавливается необходимый воздушный зазор.

Магнитный поток, создаваемый обмоткой дросселя, может иметь попутное или встречное направление с потоком, создаваемым вторичной обмоткой трансформатора, в

зависимости от того, как включены эти обмотки. При встречном соединении магнитные потоки, возникающие при прохождении тока во вторичной обмотке трансформатора и обмотке регулятора тока, будут направлены навстречу друг другу.

Регулирование сварочного тока производится изменением воздушного зазора — чем больше зазор, тем больше сварочный ток.

Сварочные аппараты с увеличенным магнитным рассеянием делятся на две группы: с подвижными обмотками и с магнитным шунтом. У обычных силовых трансформаторов первичная и вторичная обмотки максимально сближены, потоки рассеяния минимальные и поэтому внешняя характеристика жесткая. У трансформаторов сварочных аппаратов с увеличенным магнитным рассеянием первичная и вторичная обмотки разведены, потоки рассеяния большие, а внешняя характеристика падающая. Сварочный трансформатор с подвижными обмотками имеет магнитопровод, на обоих стержнях которого расположены по две катушки, одна с первичной обмоткой, а вторая — со вторичной. Катушки первичной обмотки закреплены неподвижно в нижней части сердечника, катушки вторичной обмотки перемещаются по стержням с помощью винтовой пары. Сварочный ток регулируют изменением расстояния между первичными и вторичными обмотками. При увеличении этого расстояния магнитный поток рассеяния возрастает, а сварочный ток уменьшается. По этому принципу изготовлены сварочные аппараты типа ТС, ТСК, ТД с алюминиевыми обмотками. Технические характеристики некоторых из них приведены в табл. 8.

Сварочные аппараты типа ТСК имеют конденсаторы, которые включены параллельно первичным обмоткам. Они способствуют повышению коэффициента мощности. Трансформатор типа ТД имеет два диапазона сварочных токов:

Таблица 8

Технические характеристики сварочных трансформаторов

Тип	Напряжение, В		Сварочный ток, А	Коэффициент		Мощность, кВт · А	ПН, %	Габарит, мм	Масса, кг	
	номинальное	холодного хода		пределы регулирования	мощности					полезного действия
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Трансформаторы с увеличенным магнитным рассеянием и подвижными катушками										
ТС-300	30	63	300	30—395	0,51	0,84	20	60	765×524×1010	180
ТС-500	30	60	500	40—650	0,53	0,85	32	60	845×600×1100	250
ТСК-500	30	60	500	165—650	0,65	0,83	27	60	872×566×1090	280
ТД-300	30	61—79	300	60—380	0,51	0,86	19,4	50	640×490×715	137
ТД-304	35	61—79	300	60—350	0,6	0,87	19,4	60	640×490×885	157
ТД-500	30	60—76	500	90—650	0,53	0,87	32	60	720×580×850	210
ТДМ-317*	33	62—80	315	60—360	—	—	—	60	555×585×818	130
ТДМ-401*	36	63—75	400	80—460	—	—	—	60	555×585×848	145
ТДМ-503*	—	65—80	500	90—560	—	—	35	60	555×585×888	170
ТДП-1	26	68	160	55—175	0,5	0,72	11,4	20	435×290×555	38
ТСП-2	30	62	300	90—300	0,6	0,78	19,4	20	510×370×590	65
ТД-102	26,4	80	160	60—175	—	—	11,4	20	570×325×530	38
ТД-305	30	70	250	100—300	—	—	17,5	2,5	630×365×590	65
ТД-500-4	40	80	500	100—560	—	—	32	60	880×580×850	191

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Трансформаторы с увеличенным магнитным рассеянием и полмагнитным магнитным шунтом										
ТФД-1001	44	68—71	1000	400—1200	—	0,87	82	100	1200×830×1200	740
ТФД-1601*	60	95—105	1600	600—1800	—	0,88	182	100	1200×830×1200	1000
Трансформаторы с тиристорным управлением										
ТДЭ-402*	25—44	80	400	80—400	—	—	13,6	60	590×595×820	180
ТДФЖ-2002	32—76	—	2000	600—2200	—	—	260	—	764×1204×1295	490

* Эти трансформаторы рассчитаны на подключение к питающей сети напряжением 380 В, остальные — на подключение к сети 200 и 380 В.

большие токи — при параллельных соединениях катушек первичной и вторичной обмоток, и малые токи — при последовательных соединениях обмоток. При этом небольшая часть первичной обмотки отключается и этим повышают напряжение холостого хода, что обеспечивает устойчивое зажигание и горение дуги при малых токах. Переключение обмоток производится одновременно пакетным переключателем. В каждом диапазоне сварочный ток плавно регулируют, изменяя расстояние между катушками первичной и вторичной обмоток.

Для сварочных работ в монтажных условиях выпускаются облегченные переносные сварочные аппараты с подвижными катушками обмоток ТД-102 и ТД-306. Трансформатор ТД-102 номинальной мощностью 11,4 кВ·А имеет пределы регулирования сварочного тока 55—175 А. С помощью барабанного переключателя производят ступенчатое регулирование сварочного тока (два диапазона). Плавное регулирование в пределах каждого диапазона обеспечивается перемещением первичной обмотки с помощью ходового винта и рукоятки регулятора тока. При вращении рукоятки по часовой стрелке катушки обмоток сближаются и сварочный ток увеличивается. Масса аппарата ТД-102 — 38 кг. Аппарат ТД-306 имеет номинальную мощность 19,4 кВ·А, пределы регулирования сварочного тока 90—300 А и массу 71 кг.

В условиях строительной-монтажной площадки особенно удобны трансформаторы ТД-304, имеющие устройство для дистанционного регулирования сварочного тока.

Для автоматической дуговой сварки под флюсом используются трансформаторы с управляемым магнитным шунтом. Принцип действия основан на создании повышенных магнитных полей рассеяния при изменении магнитного насыщения управляемого шунта. Шунт имеет обмотку управления, которую подключают к источнику

постоянного напряжения. Сварочные трансформаторы с управляемым шунтом типа ТДФ состоят из трансформатора, регулятора тока и блока защитной и вспомогательной аппаратуры. Трансформатор имеет магнитопровод стержневого типа, первичная обмотка — две секции и расположена на стержнях в нижней части магнитопровода. Вторичная обмотка — многосекционная. Основные ее части расположены на стержнях в верхней части магнитопровода, а дополнительные секции, с меньшим числом витков, размещены совместно с первичной обмоткой на стержнях в нижней части магнитопровода. Такое расположение вторичной обмотки обеспечивает хорошее качество при переключении ступеней сварочного тока и получение крутопадающей внешней характеристики. Переход от ступени малых токов на ступень больших токов выполняется пакетным выключателем. Магнитный шунт с четырьмя обмотками управления расположен в центре между первичной и вторичной обмотками.

Трехфазные сварочные аппараты применяют при сварке трехфазной дугой спаренными электродами. Процесс сварки осуществляется сварочными дугами, которые возбуждаются между каждым электродом и свариваемой деталью и между электродами. Сварочный аппарат состоит из трехфазного трансформатора, регулятора сварочного тока и магнитного контактора. Первичная обмотка включается в силовую сеть напряжением 220 В (соединение обмоток в треугольник) или 380 В (соединение обмоток в звезду). Вторичная обмотка имеет по две катушки на каждом стержне и выполнена из голой медной шины. Регулятор сварочного тока состоит из двух магнитопроводов с изменяющимися воздушными зазорами и трех обмоток. Две обмотки расположены на одном магнитопроводе и подключены к спаренным в едином электрододержателе электродам, изолированным друг от друга. Третья обмотка расположена

на втором магнитопроводе и подключена к свариваемой детали. Регулятор вмонтирован в общий корпус и снабжен двумя рукоятками, с помощью которых производится регулирование сварочного тока (изменением воздушных зазоров в магнитопроводах). Одной рукояткой регулируют ток одновременно в обеих фазах, подключенных к электродам, а второй рукояткой — в фазе свариваемого изделия.

Магнитный контактор служит для включения и размыкания цепи спаренных электродов. В начальный момент при возбуждении дуги сварочная цепь замыкается через свариваемую деталь и один из электродов. Ток проходит по обмотке регулятора и обмотке контактора. Контактник включает обмотку регулятора. Возникает вторая дуга. При отводе электродов от детали ток в обмотках прекращается, и контактор гасит дугу между электродами.

Для получения токов высокой частоты и высокого напряжения применяют осцилляторы параллельного и последовательного включений.

Осциллятор включают непосредственно в питающую сеть напряжением 220 В. Он состоит из повышающего трансформатора и колебательного контура. Трансформатор повышает напряжение с 220 В до 6000 В. Колебательный контур, состоящий из высокочастотного трансформатора (ВЧТ), конденсатора и разрядника, вырабатывает высокочастотный ток. Контур связан со сварочной цепью индуктивно через трансформатор ВЧТ, выводы вторичной обмотки которой присоединяют один к клемме «земля» выводной панели, а другой ко второй клемме через конденсатор и предохранитель.

Осцилляторы последовательного включения (М-3, ОС-1) применяют в установках для дуговой сварки в защитных газах. Они обеспечивают более надежную защиту генератора (или силового выпрямительного блока) от пробоя высокочастотным напряжением осциллятора.

При применении осциллятора дуга загорается даже без прикосновения электрода к изделию (при зазоре 1—2 мм), что объясняется предварительной ионизацией воздушного промежутка между электродом и свариваемой деталью.

§ 13. Сварочные выпрямители

Сварочные выпрямители — это статические преобразователи энергии трехфазной сети переменного тока в энергию выпрямленного (пульсирующего) тока.

Разработаны и выпускаются сварочные выпрямители для ручной или механизированной дуговой сварки под флюсом, сварки в защитной среде и др. Они получили широкое применение благодаря их технологическим преимуществам: высокий КПД и относительно небольшие потери холостого хода, высокие динамические свойства при меньшей электромагнитной индукции, отсутствие вращающихся частей и бесшумность в работе, равномерность нагрузки фаз, небольшая масса, возможность замены медных проводов алюминиевыми. Но следует иметь в виду, что для выпрямителей продолжительные короткие замыкания представляют большую опасность, так как могут вывести из строя диоды. Кроме того, они чувствительны к колебаниям напряжения в сети.

Сварочные выпрямители состоят из двух блоков: понижающего трехфазного трансформатора с устройствами для регулирования напряжения или тока и выпрямительного блока. Кроме того, выпрямитель имеет пускорегулирующее и защитное устройства, обеспечивающие нормальную эксплуатацию.

Выпрямление тока осуществляется по трехфазной мостовой схеме (рис. 21), состоящей из шести плеч. В каждом плече моста установлены вентили, выпрямляющие оба по-

лупериода переменного тока в трех фазах. В каждый момент времени ток проходит через два вентили, и, таким образом, в течение одного периода происходит шесть пульсаций выпрямленного тока, что соответствует частоте пульсации 300 Гц.

Сварочные выпрямители подразделяются на однопостовые с падающими, жесткими, пологопадающими и универсальными характеристиками и многопостовые с жесткими характеристиками.

Падающая характеристика в выпрямителе создается включением в сварочную цепь реактивной катушки или применением трансформатора с усиленным магнитным рассеянием. У многопостовых сварочных выпрямителей для создания падающей внешней характеристики и регулиро-

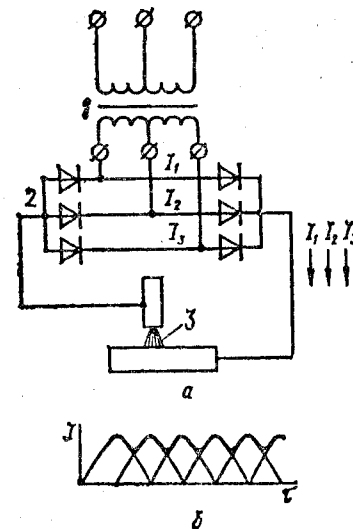


Рис. 21. Схема трехфазного выпрямителя: а — схема включения; б — выпрямленный ток внешней цепи; 1 — понижающий трансформатор; 2 — блок селеновых или кремниевых выпрямителей; 3 — сварочная дуга

вания сварочного тока в сварочную цепь каждого поста включают балластный реостат.

Выпрямители типа ВД, предназначенные для ручной и механизированной сварки и наплавки, имеют крутопадающую внешнюю характеристику. Регулирование сварочного тока производят ступенчато (два диапазона) и плавно (в пределах каждого диапазона). Переключатель диапазонов сварочного тока расположен на лицевой панели выпрямителя и производит одновременное переключение первичной и вторичной обмоток со «звезды» (диапазон малых токов) на «треугольник» (диапазон больших токов). Переключение производят только после отключения выпрямителя от силовой сети. При переключении пределы изменения тока увеличиваются примерно в три раза. Плавное регулирование тока в пределах каждого диапазона производится изменением расстояния между катушками первичной и вторичной обмоток. Катушки вторичной обмотки закреплены неподвижно у верхнего ярма, а катушки первичной обмотки с помощью ходового винта перемещаются по стержню сердечника трансформатора. Вращая рукоятку ходового винта по часовой стрелке, сближают катушки обмоток, уменьшают индуктивность рассеяния обмоток и, как следствие, увеличивают сварочный ток. Технические характеристики некоторых из них даны в табл. 9, 10.

Сварочные выпрямители с жесткими и пологопадающими внешними характеристиками применяются при сварке плавящимся электродом в углекислом газе, под флюсом, порошковой проволокой. Они различны как конструктивно, так и по электрической схеме. Например, выпрямитель типа ВС состоит из силового трехфазного понижающего трансформатора и выпрямительного блока из селеновых вентилей. В сварочную цепь после выпрямительного блока включен дроссель, позволяющий регулировать нарастание

Таблица 9

Технические характеристики однопостовых сварочных выпрямителей с падающими характеристиками

Тип	Напряжение, В		Сварочный ток		Мощность, кВт	Коэффициент		Габарит, мм	Масса, кг
	номинальное	холодного хода	номинальный, ПЦ — 60%	пределы регулирования		мощности	полезного действия		
ВД-101	25	65—68	125	20—125	9	0,53	0,62	1200×756×830	170
ВД-201*	21—28	64—71	200	30—200	15	—	0,57	716×622×715	120
ВД-301	32	65—68	300	45—300	21	0,58	0,72	1200×756×830	230
ВД-302	32	50—60	300	40—320	21	0,67	0,67	1200×756×830	220
ВД-306*	22—32	61—70	315	45—315	24	—	—	770×760×820	165
ВД-401	36	80	400	50—450	14,4	—	0,69	772×770×785	200
ВД-502-1	40	65—80	500	50—500	40	—	—	810×550×1077	348
ВД-502-2	—	80	500	40—500	42	—	0,78	810×560×950	330

* Выпрямители рассчитаны на напряжение питающей сети 380 В; остальные типы выпрямителей могут быть отключены к сети с напряжением 220/380 В.

Таблица 10

Технические характеристики однофазных сварочных выпрямителей с универсальными характеристиками

Тип	Сварочный ток, А		Напряжение, В		Коэффициент		Габарит, мм	Масса, кг
	номинальный ПН — 60%	пределы регулирования	номинальное	холодного хода	полезного действия	мощности		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ВДГ-503	500	60—500 50—500	18—50 22—50	—	—	—	920×800×700	До 300
ВДУ-504	500	70—500 100—500	45 18—50	72—76 18—50	0,82	—	1275×816×940	400
ВДУ-504-1	500							
ВДУ-505	500	50—500 60—500	22—46 18—50	85 18—50	0,83 0,84	—	800×700×920	300
ВДУ-506	500	50—500 60—500	22—46 18—50	85 18—50	—	—	820×620×1100	310
ВДУ-1001	1000**	300—1000	24—56	56—66	—	—	—	900

Окончание табл. 10

Тип	Сварочный ток, А		Напряжение, В		Коэффициент		Габарит, мм	Масса, кг
	номинальный ПН — 60%	пределы регулирования	номинальное	холодного хода	полезного действия	мощности		
ВДУ-1201*	1250	—	26—80 24—66	100 24—66	0,83	—	1350×800×1250	850
ВДУ-1601	1600**	500—1600	26—66	26—66	—	—	—	950
ВДУ-1602*	1600**	—	50	25—90	—	—	—	1550
ВСУ-300	240 300	40—260 50—330	30 18—35	60 40—60	0,63 0,68	0,62 0,72	910×612×960	300
ВСУ-500	350 500	50—360 100—550	30 20—40	67 49—68	0,6 0,67	0,63 0,75	1186×953×1017	440

* Выпрямитель рассчитан на подключение к питающей сети напряжением 380 В; Остальные выпрямители — на подключение к сети 220/380 В.

** ПН — 100 %.

тока короткого замыкания и снижающий потери металла на разбрызгивание. Выпрямитель имеет два переключателя числа витков первичной обмотки трансформатора, которыми путем изменения коэффициента трансформации регулируется выходное напряжение. Один переключатель, для ступенчатого регулирования, имеет три положения, второй, для плавного регулирования, — восемь положений. Таким образом, выпрямитель имеет 24 значения сварочного тока. Регулирование сварочного тока можно производить только при холостом ходе, что является серьезным недостатком выпрямителя. В промышленности и строительстве они применяются, но с производства сняты.

Выпрямители типа ВДГ состоят из трансформатора с нормальным магнитным рассеянием и трехфазного дросселя насыщения. Рабочие обмотки дросселя включены в плечи выпрямительного блока. Регулирование выходного напряжения ступенчато-плавное. Ступенчатое регулирование задает три диапазона, получаемые изменением коэффициента трансформации силового трансформатора изменением числа витков первичной обмотки. Плавное регулирование в пределах каждого диапазона осуществляется дросселем насыщения. Выпрямитель имеет дистанционное управление.

Многоступенчатые сварочные выпрямители типа ВДМ выпускают серийно на номинальные токи 1000, 1600, 3000 А. Выпрямители имеют жесткую внешнюю характеристику и состоят из силового трехфазного понижающего трансформатора, выпрямительного блока из кремниевых вентилях с вентилятором, пускорегулирующей и защитной аппаратуры. Получение падающей внешней характеристики и регулирование сварочного тока каждого поста производится подключением балластных реостатов типа РБ-РБГ (табл. 11).

Таблица 11

Технические характеристики балластных реостатов

Тип	Сварочный ток, А		Габарит, мм	Масса, кг
	номинальный при (ПН — 60 %)	пределы регулирования		
РБ-201	200	10—200	550 × 355 × 635	30
РБ-300	300	10—300	550 × 370 × 700	38
РБ-301	300	10—300	580 × 410 × 635	35
РБ-501	500	10—500	580 × 465 × 635	40
РБГ-301	300	До 315	600 × 410 × 390	32
РБГ-502	500	До 500	580 × 465 × 648	40

Сварочные выпрямители типов ВСУ и ВДУ являются универсальными источниками питания дуги. Они предназначены для питания дуги при автоматической и полуавтоматической сварке под флюсом, в защитных газах, порошковой проволокой, а также при ручной сварке. Выпрямители ВСУ кроме блока трехфазного понижающего трансформатора и выпрямительного блока имеют дроссель насыщения с четырьмя обмотками. Переключением этих обмоток можно получать жесткую, пологопадающую и крутопадающую внешние характеристики. Выпрямители ВДУ основаны на использовании в выпрямляющих силовых обмотках управляемых вентилях — тиристоров. Схема управления тиристорами позволяет получать необходимый для сварки вид внешней характеристики, обеспечивает широкий диапазон регулирования сварочного тока и стабилизацию режима сварки при колебаниях напряжения питающей сети.

§ 14. Обслуживание сварочного оборудования

Сварочные посты располагаются в специальных кабинках площадью не менее 2 × 2,5 м² каждая. Кабину отгораживают перегородками, а вход закрывают занавесками,

пропитанными огнестойким составом. При сварке громоздких деталей и крупногабаритных сварных конструкций сварочные посты развертывают открыто в цехе, на строительной площадке, на магистральной трассе. При этом рабочее место по возможности огораживают защитными щитами или ширмами.

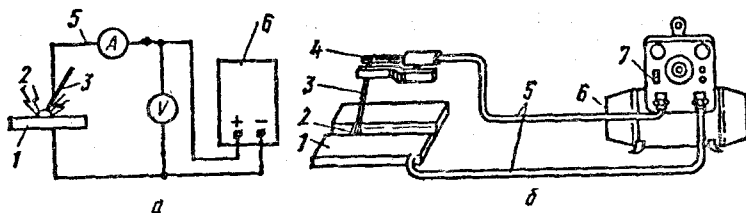


Рис. 22. Компоновка сварочного поста и схема питания дуги (на постоянном токе): *a* — электрическая схема; *б* — общая компоновка поста для сварки; 1 — изделие; 2 — сварочная дуга; 3 — электрод; 4 — электрододержатель; 5 — сварочные провода; 6 — источник питания; 7 — щит с приборами контроля и регулирования параметров режима сварки

Основное оборудование сварочного поста (рис. 22) состоит из источника питания дуги, сварочных проводов, электрододержателя и приспособлений для закрепления свариваемых деталей. При размещении поста в кабине устанавливают металлический стол с массивной чугунной или стальной крышкой площадью в 1 м², на которой производят сварочные работы, и винтовой стул с откидной спинкой. Кабина должна иметь местную вытяжную вентиляцию и заземляющий провод.

Инструмент сварщика:

- электрододержатель (рис. 23) — служит для зажима электрода и подвода к нему сварочного тока. Он должен прочно удерживать электрод, обеспечивать удобное и прочное закрепление сварочного кабеля, а так-

же быстрое удаление огарков и закладку нового электрода. Электрододержатели изготовляют трех типов: для тока 125 А и провода сечением 25 мм²; для тока 315 А и провода сечением 50 мм²; для тока 500 А и провода сечением 70 мм². Они должны выдерживать 8000 зажимов электродов, затрачивая на каждую замену электрода не более 4 секунд. Электрододержатели для тока 500 А должны иметь щиток для защиты руки сварщика от воздействия электрической дуги;

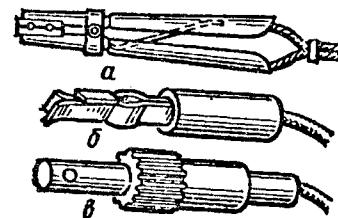


Рис. 23. Электрододержатели для ручной дуговой сварки: *a* — пружинный; *б* — пластинчатый; *в* — винтовой

- щитки, маски или шлемы служат для защиты глаз и лица сварщика от воздействия излучений сварочной дуги и брызг металла. В них имеется смотровое отверстие, в которое вставляют специальное стекло-светофильтр, задерживающее инфракрасные и ультрафиолетовые лучи и снижающее яркость световых лучей дуги. Снаружи светофильтр защищен от брызг металла простым прозрачным стеклом;
- металлические щетки (ручные и с электроприводом) для зачистки (разделки) швов и очистки сваренных швов от шлака;
- молоток, зубило, крепежный инструмент;
- набор шаблонов для промера размеров швов;
- стальные клейма для клеймения сваренных швов.

Для защиты тела от ожогов сварщик пользуется брезентовым костюмом, брезентовыми рукавицами и кожаной или валяной обувью. Брюки должны быть гладкими, без отворотов с напуском поверх ботинок или валенок. Рукавицы должны надеваться с напуском на рукава и завязываться тесьмой. Прямая одежда и отсутствие открытых частей тела исключают возможность попадания брызг металла на тело и в складки спецодежды. При сварке внутри резервуаров, баков, цистерн необходимо пользоваться резиновыми сапогами и резиновым шлемом. При сварке металлических конструкций, если сварщик работает лежа, сидя или стоя на элементах свариваемой конструкции, кроме резиновых сапог (или галош) и шлема, необходимы резиновые коврики, а также наколенники, подлокотники, подшитые войлоком. Кроме спецодежды к средствам индивидуальной защиты сварщика относятся: пояс предохранительный с лямками (при работе на высоте), перчатки резиновые диэлектрические, галоши резиновые диэлектрические, коврики резиновые диэлектрические.

Источники питания дуги размещают непосредственно на каждом месте или группируют в машинном отделении сварочного цеха. В последнем случае в цехе на определенном расстоянии друг от друга располагают постоянные щитки с клеммами для подключения сварочных проводов. К щиткам ток подводится от источника питания постоянной проводкой. При наличии нескольких сварочных постов следует применять многопостовые сварочные агрегаты.

Сварочные многопостовые преобразователи типа ПСМ-1000 устанавливают на фундаменте. Допускается установка на временном фундаменте в виде жестко связанной деревянной рамы из брусьев (или бревен), к которой болтами крепится корпус сварочного преобразователя.

При наличии на строительном-монтажной площадке электросилового сети для выполнения сварочных работ приме-

няют передвижные сварочные преобразователи постоянного тока, выпрямители или аппараты переменного тока в зависимости от вида работ. Например, некоторые сорта легированных сталей лучше сваривать постоянным током. Ответственные сварочные работы, выполняемые особыми электродами, как правило, требуют постоянного тока. В этих случаях применяют сварочные преобразователи или выпрямители. Однако они требуют более трудоемкого ухода и обслуживания, чем аппараты переменного тока.

При отсутствии электросилового сети применяют сварочные агрегаты с двигателем внутреннего сгорания типа АСБ, АСД, ПАС, СДУ.

В процессе эксплуатации источники сварочного тока требуют ухода и обслуживания. Перед включением источника тока необходимо выполнить следующие работы: очистить его от пыли и грязи, осмотреть и при наличии мелких дефектов устранить их. У сварочных преобразователей особое внимание следует обратить на подшипники, коллектор и щеточный механизм генератора. Щетки должны плотно прилегать к чистой поверхности коллектора. У аппаратов переменного тока следует проверить состояние контактов, изоляции и крепежных деталей сердечника и кожуха. Необходимо чаще смазывать регулировочный механизм. У сварочных выпрямителей особого внимания требует система охлаждения (вентилятор, жалюзи, реле). Следует проверить подтяжку крепежных деталей, наличие и надежность крепления заземляющего провода.

Сварочные провода выбирают в зависимости от наибольшего допустимого значения сварочного тока. Рекомендуются следующие нормы:

Наибольшее значение сварочного тока, А		200	300	400	600
Площадь сечения проводов, мм ²	одинарного	25	50	70	95
	двойного	—	2x16	2x25	2x35

Эти нормы установлены при длине проводов не более 30 м. При работах на строительных площадках длина сварочных проводов может достигать 150 м. При этом падение напряжения достигает значительных размеров. Если длина провода значительная, необходимо проверить падение напряжения и соответственно скорректировать сечение провода.

Некоторые узлы источников сварочного тока требуют особого внимания.

В сварочных преобразователях постоянного тока особого ухода требуют коллектор, щеточный механизм и подшипники.

Коллектор должен быть чистым, без следов нагара. Слюдяные прокладки не должны выступать между пластинами. Перед пуском в ход коллектор необходимо протирать полотняной тряпкой, смоченной в бензине. При обнаружении нагара прежде всего следует выяснить и устранить причину нагара, а затем шлифовать коллектор на ходу при поднятых щетках равномерно по всей рабочей поверхности. Для шлифования применяют мелкозернистую прессованную пемзу или мелкую стеклянную бумагу, натянутую на деревянную колодку. Выступающие слюдяные прокладки необходимо осторожно выбрать специальной пилкой на глубину 1 мм и затем зачистить поверхность коллектора от заусенцев и протереть коллектор. После шлифования надо аккуратно протереть коллектор, не допуская попадания пыли в машину.

Изношенные или поврежденные щетки щеточного механизма подлежат замене. При этом новую щетку до эксплуатации необходимо притереть к коллектору. Для этого щетку устанавливают на место и под нее на коллектор вводят полоску стеклянной бумаги (стеклом к щетке) в направ-

лении вращения коллектора. Притирку производят при нормальном нажатии пружины щеткодержателя до полного прилегания рабочей поверхности щетки к коллектору. Образующуюся пыль удаляют продувкой воздухом, а для окончательной шлифовки щеток генератор включают на холостом режиме.

Подшипники генератора и электродвигателя требуют не реже двух раз в год тщательной промывки и смазки. Ежедневно в процессе эксплуатации следует внимательно следить за состоянием смазки и при необходимости производить замену или долив. Нарушение работы подшипника обнаруживается по нагреву и ненормальному шуму.

Аппараты переменного тока требуют регулярной проверки состояния контактов сварочной и заземляющей цепи, изоляции, подтяжки крепежных деталей сердечника и кожуха. Особенно опасны нарушения изоляции проводов и неаккуратное подключение сварочного кабеля. Необходимо чаще смазывать регулировочный механизм. При перемещении аппарата необходимо пользоваться ручками или подъемными кольцами кожуха трансформатора.

Сварочные выпрямители требуют особого внимания к системе охлаждения, состоящей из вентилятора, жалюзи и реле. Неисправности системы могут привести к перегреву полупроводниковых элементов и выходу из строя выпрямителя. Следует постоянно проверять состояние и надежность всех контактов в сварочной и заземляющей цепях, подтяжку всех крепежных деталей. Через каждые 1—3 месяца (в зависимости от условий работы) необходимо очищать выпрямитель от грязи и пыли протиркой чистой ветошью и продувкой сухим сжатым воздухом. Все трущиеся части механизмов выпрямителя

необходимо смазывать два раза в год. Важно также в процессе эксплуатации не допускать перегрузки выпрямителя. При работе на открытом воздухе следует принять меры защиты сварочного оборудования от атмосферных осадков.

На каждом предприятии (заводе, монтажном участке или площадке, ремонтной организации) должны быть составлены графики осмотров, проверок, профилактических (текущих) и капитальных ремонтов оборудования, утвержденных главным инженером. В графиках, помимо сроков (дат) контроля, указываются фамилии лиц, ответственных за проведение этих операций.

Для сварочного оборудования может быть принята периодичность осмотра и ремонта, указанная в табл. 12.

Таблица 12

Периодичность осмотров и ремонтов сварочного оборудования

Вид оборудования	Вид обслуживания и межремонтные сроки		
	Осмотр	Текущий ремонт	Капитальный ремонт
Сварочные трансформаторы и выпрямители	2 раза в месяц	4 раза в год	1 раз в 3 года
Сварочные преобразователи	Еженедельно	6 раз в год	1 раз в 2 года
Сварочные автоматы и полуавтоматы	Ежедневно	4 раза в год	1 раз в 2 года

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каким требованиям должны отвечать источники питания электрической дуги?
2. Объясните принцип работы генератора.

3. Какой должна быть характеристика генератора для устойчивого горения электрической дуги?
4. Как регулируют ток в генераторах?
5. Как устроены аппараты переменного тока?
6. Каков принцип работы сварочного выпрямителя?
7. Как оборудуется сварочный пост?
8. Что входит в комплект инструмента электросварщика?
9. Какими индивидуальными средствами защиты должен располагать сварщик?
10. Как обслуживают источники питания сварочной дуги?

..... ГЛАВА 5

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ СВАРКЕ

.....

§ 15. Взаимодействие металла с газами

Под воздействием теплоты электрической дуги происходит расплавление кромок свариваемого изделия, электродного (или присадочного) металла, покрытия или флюса. При этом образуется сварочная ванна расплавленного металла, покрытая слоем расплавленного шлака. При сварке происходит взаимодействие расплавленного металла со шлаком, а также с выделяющимися газами и воздухом. Это взаимодействие начинается с момента образования капли металла электрода и продолжается до полного охлаждения наплавленного металла шва.

Металлургические процессы, протекающие при сварке, определяются высокой температурой, небольшим объемом ванны расплавляемого металла, большими скоростями нагрева и охлаждения металла, отводом теплоты в окружающую ванну основной металл, интенсивным взаимодействием расплавляемого металла с газами и шлаками в зоне дуги.

Высокая температура сварочной дуги вызывает также диссоциацию (распад) молекул кислорода и азота в атомарное состояние. Обладая большой химической активностью, эти газы интенсивнее взаимодействуют с расплавленным металлом шва. В зоне дуги происходит распад молекул паров воды с диссоциацией молекул водорода, атомарный водород активно насыщает металл шва. Высокая температура способствует выгоранию примесей и тем самым изменяет химический состав свариваемого металла. Небольшой объем ванны расплавленного металла (при ручной сварке он составляет 0,5—1,5 см³, при автоматической — 24—300 см³) и интенсивный отвод теплоты в металл, окружающий ванну, не дает возможности полностью завершиться всем реакциям взаимодействия между жидким металлом, газами и расплавленным шлаком. Большие скорости нагрева и охлаждения значительно ускоряют процесс кристаллизации, приводят к образованию закалочных структур, трещин и других дефектов. Под действием теплоты происходят структурные изменения в металле околошовной зоны, которые также приводят к ослаблению сварного шва.

На расплавленный металл существенное воздействие оказывают газовая среда и расплавленный шлак.

Кислород поступает в зону сварки из воздуха и электродного покрытия. Взаимодействуя с расплавленным металлом, кислород в первую очередь окисляет железо, так как его концентрация в стали наибольшая. Находясь в зоне дуги как в молекулярном, так и в атомарном состоянии, кислород образует с железом три оксида: FeO, Fe₂O₃ и Fe₃O₄. В процессе окисления железа участвуют также находящиеся в зоне дуги углекислый газ и пары воды.

Из соединений железа с кислородом наибольшее влияние на свойства стали оказывает оксид железа FeO, так как только он растворяется в железе. Растворимость оксида железа в стали зависит главным образом от содержания углерода и температуры металла. С увеличением содержа-

ния углерода в стали растворимость оксида железа снижается. При высокой температуре стали растворимость оксида железа выше, чем при низкой. Поэтому при охлаждении стали происходит выпадение из раствора оксида железа FeO. При высоких скоростях охлаждения часть оксида железа остается в растворе, образуя шлаковые прослойки между зернами металла.

Окисление примесей, содержащихся в стали, происходит либо непосредственно в дуге, либо при взаимодействии с оксидом железа, растворенным в сварочной ванне металла. Значительное сродство углерода, марганца и кремния с кислородом приводит к сильному уменьшению содержания этих примесей в расплавленном металле шва. Таким образом, кислород находится в стали преимущественно в виде оксидных включений железа, марганца и кремния.

В кипящей низкоуглеродистой стали Ст3 кислорода 0,001—0,002%, в спокойной стали — 0,03—0,08%. В металле шва при сварке незащищенной дугой содержание кислорода достигает 0,3%, при сварке защищенной дугой — до 0,05%.

Азот в зону сварки проникает из окружающего воздуха. В зоне дуги азот находится как в молекулярном, так и в атомарном состоянии. Диссоциированный азот более активно растворяется в расплавленном металле сварочной ванны, чем молекулярный. Растворимость азота зависит от температуры металла шва. При охлаждении металла азот, выделяясь из раствора, взаимодействует с металлом шва и образует нитриды железа (Fe_2N , Fe_4N), марганца (MnN) и кремния (SiN). При больших скоростях охлаждения азот не успевает полностью выделиться и составляет с металлом перенасыщенный твердый раствор. Со временем такой азот является причиной процесса старения металла.

В низкоуглеродистой стали азота содержится до 0,006%, в металле шва при сварке незащищенной дугой содержание азота достигает 0,2%, а при сварке защищенной дугой — до 0,03%.

Азот является вредной примесью стали, так как, повышая прочность и твердость, он вместе с этим значительно снижает пластичность и вязкость металла. Устраняют влияние азота на качество сварного шва хорошей защитой зоны дуги от атмосферного воздуха. Кроме того, применяют сварочные материалы, содержащие алюминий, титан и другие элементы, которые образуют нитриды, выходящие в шлак или менее снижающие качество шва.

Водород в зоне сварки образуется во время диссоциации водяных паров при высоких температурах дуги. Пары воды попадают в зону дуги из влаги электродного покрытия или флюса, ржавчины и окружающего воздуха. Молекулярный водород распадается на атомарный, который хорошо растворяется в расплавленном металле. Растворимость водорода в железе в значительной степени зависит от температуры металла. При температуре 2400°C насыщение достигает максимального значения (43 см³ водорода на 100 г металла). При высоких скоростях охлаждения металла водород переходит из атомарного состояния в молекулярное, но полностью выделиться из металла не успевает. Это вызывает пористость и мелкие трещины. Снижение влияния водорода на качество сварного шва достигается сушкой и прокалкой материалов сварки, очисткой от ржавчины и защитой зоны дуги.

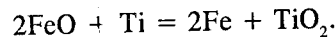
Для получения сварного шва высокого качества необходимо принять меры по защите расплавленного металла сварочной ванны главным образом от воздействия кислорода, азота и водорода. Защита сварочной ванны осуществляется созданием вокруг дуги газовой оболочки и шлакового слоя над ванной расплавленного металла. Однако эти меры полностью не предохраняют от насыщения металла кислородом, поэтому необходимо производить как раскисление металла, так и удаление образовавшихся оксидов из сварочной ванны.

Раскисление жидкого металла сварочной ванны произ-

водят, вводя в него элементы, имеющие большое сродство с кислородом: алюминий, титан, кремний, углерод, марганец. Эти элементы вводят в сварочную ванну либо через электродную проволоку (присадочный металл), либо через электродное покрытие или флюсы.

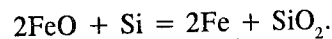
Алюминий в качестве раскислителя применяется редко, так как он образует тугоплавкие оксиды и придает стали склонность к образованию трещин.

Титан является активным раскислителем и поэтому широко применяется в различных электродных покрытиях. Раскисление протекает по реакции

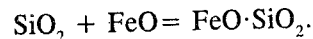


Кроме того, титан образует нитриды, снижая содержание азота в металле.

Кремний — очень хороший раскислитель и применяется в электродных покрытиях и флюсах в виде ферросилиция или кварцевого песка. Раскисление кремнием происходит по реакции

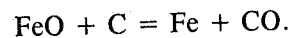


Одновременно протекает реакция образования силикатов



Полученные оксиды и силикат оксида железа выходят в шлак.

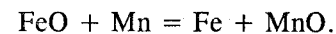
Углерод образует с кислородом газообразный оксид углерода, который в стали не растворяется, а выделяется в виде пузырьков. При больших скоростях охлаждения оксид углерода не успевает выделиться из металла шва, образуя в нем газовые поры. Раскисление протекает по реакции



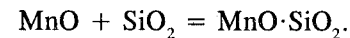
Для предупреждения пористости металла шва рекомен-

дуется вводить в сварочную ванну кремний в таком количестве, чтобы подавить раскисляющее действие углерода.

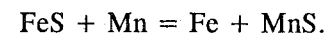
Марганец является наиболее распространенным активным раскислителем. Он входит во многие электродные покрытия и флюсы. Раскисление происходит по реакции



Оксид марганца, взаимодействуя с оксидом кремния, образует не растворяющийся в стали силикат оксида марганца



Марганец также способствует удалению серы из стали



Сернистый марганец не растворяется в стали и выходит в шлак.

Для восстановления первичного химического состава металла, а в некоторых случаях и для улучшения механических свойств шва производят легирование наплавляемого металла. Цель легирования — восполнить выгорание основных примесей стали и ввести в металл шва элементы, придающие стали специальные качества. Легирующие элементы — кремний, марганец, хром, молибден, вольфрам, титан и др. — используют через электродное покрытие, в виде ферросплавов и электродного металла.

§ 16. Кристаллизация металла сварочной ванны

Кристаллизация металла (рис. 24, 25) сварочной ванны начинается у границы с нерасплавившимся основным металлом в зоне сплавления. Различают кристаллизацию первичную и вторичную. Первичной кристаллизацией называют процесс перехода металлов и сплавов из жидкого состо-

яния в твердое. У металлов, не имеющих аллотропических превращений, процесс затвердевания и охлаждения исчерпывается только первичной кристаллизацией. У металлов и сплавов, имеющих аллотропические формы или модификации, после первичной кристаллизации при дальнейшем охлаждении происходит вторичная кристаллизация металла в твердом состоянии при переходе из одной аллотропической формы в другую.

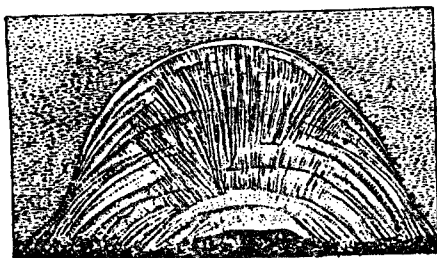


Рис. 24. Кристаллизационные слои в металле однопроходного варного шва

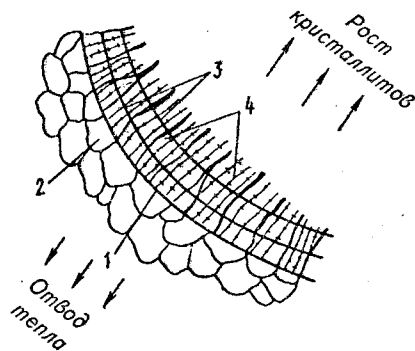


Рис. 25. Схема роста кристаллитов: 1 — граница сплавления, 2 — зерна основного металла; 3 — кристаллизационные слои; 4 — растущие кристаллиты

Первичная кристаллизация металла сварочной ванны протекает периодически, что обусловлено периодичностью снижения теплообмена и выделения скрытой теплоты кристаллизации. Это приводит к слоистому строению металла шва, к появлению зональной и дендритной ликвации. Толщина закристаллизовавшихся слоев зависит от объема сварочной ванны и скорости охлаждения металла и колеблется в пределах от десятых долей миллиметра до нескольких миллиметров. Зональная (слоистая) ликвация выражается неоднородностью химического состава металла шва в периферийной и центральной зонах. Это является следствием того, что металл периферийных зон затвердевает раньше и поэтому содержит меньше примесей. Металл центральной зоны шва оказывается более обогащенным примесями. Дендритная ликвация характеризуется химической неоднородностью кристаллитов. Первые кристаллиты (центральные и начальные части дендритов) содержат меньше примесей, а междендритное пространство оказывается более загрязненным примесями.

Улучшая условия диффузии ликвидирующих примесей в твердом металле, можно значительно снизить как слоистую, так и дендритную ликвацию. Например, увеличивая скорость охлаждения металла, сокращают длительность двухфазного состояния металла сварочной ванны и этим снижают степень неоднородности состава жидкой и твердой фаз металла шва.

Большое значение имеет температурный интервал начала и конца кристаллизации (рис. 26, а). Чем меньше температурный интервал кристаллизации, тем ниже уровень ликвации. Например, в сталях низкоуглеродистых, имеющих температурный интервал кристаллизации 25—35°C, ликвация незначительна. С увеличением содержания углерода в стали температурный интервал кристаллизации возрастает, а степень ликвации повышается.

Вторичная кристаллизация металла происходит при дальнейшем охлаждении твердого металла в виде изменений форм зерен при аллотропических изменениях в металле шва. Она в значительной степени зависит от химического состава металла, скорости охлаждения и других факторов.

Теплота, выделяемая дугой при сварке, распространяется на основной металл. При этом по мере удаления от границы сплавления скорость и максимальная температура нагрева металла снижаются. Вследствие этого в зоне основного металла в зависимости от температуры нагрева происходят фазовые и структурные изменения, которые влияют на прочность сварного соединения. Зону основного металла, прилегающую к сварочной ванне, называют зоной термического влияния (рис. 26, б).

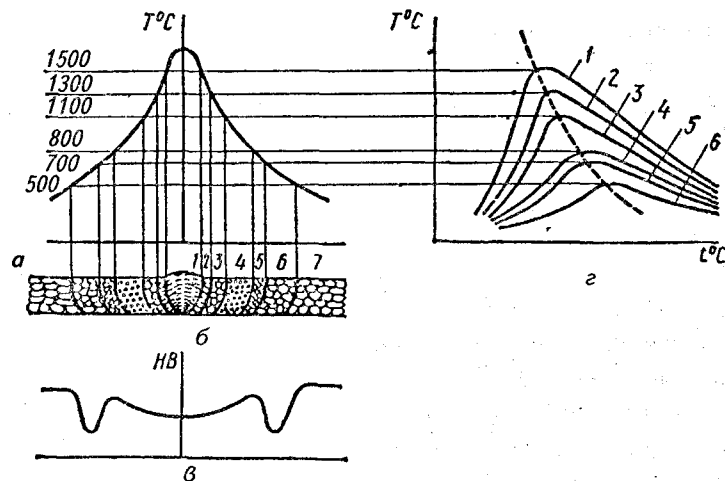


Рис. 26. Термический цикл и схема изменения структуры и свойств сварного соединения низкоуглеродистой стали при однопроходной сварке: а — распределение максимальных температур; б — схема изменения структуры; в — изменение твердости; г — термические циклы в характерных точках соединения

Участок неполного расплавления 1 является важным участком зоны, так как здесь происходит сращивание основного и наплавленного металлов и образование общих кристаллов. Участок представляет собой узкую полосу, измеряемую десятками, а иногда и сотыми долями миллиметра в зависимости от способа сварки.

Участок перегрева 2 включает в себя металл, нагреваемый до температуры, близкой к температуре плавления. Этот участок характеризуется крупнозернистой структурой. Перегрев, как правило, снижает механические качества металла (пластичность, вязкость). Перегрев стали может вызвать образование крупнозернистой игольчатой структуры с низкими механическими показателями. Это явление характерно для сталей с большим содержанием углерода. Участок перегрева особенно опасен для сталей, склонных к образованию закалочных структур.

Участок нормализации 3 включает металл, нагреваемый до температуры более 900°C. При нагреве и охлаждении металла на этом участке происходят перекристаллизация и значительное измельчение зерна. Металл участка приобретает высокие механические качества.

Участок неполной перекристаллизации 4 включает металл, нагреваемый до температуры выше 725°C. Металл участка состоит из крупных зерен, не прошедших перекристаллизацию, и скопления мелких зерен, прошедших перекристаллизацию. Это объясняется тем, что теплоты, полученной металлом, недостаточно для его полной перекристаллизации. Механические качества металла участка в связи с такой смешанной структурой невысокие.

Участок рекристаллизации 5 включает металл, нагреваемый выше температуры 500°C. На этом участке структурные изменения в металле не происходят, если только он перед сваркой не подвергался обработке давлением. Если же металл перед сваркой подвергался пластическим дефор-

мациям, то на этом участке наблюдается восстановление прежней формы и размеров зерен металла, разрушенных при обработке давлением.

Участок синеломкости б по структуре металла не отличается от основного. Однако металл участка имеет несколько пониженные пластичность и вязкость, а также большую склонность к образованию трещин.

Ширина зоны термического влияния зависит от вида, способа и режима сварки — при ручной дуговой сварке она равна 2,5—6 мм, при механизированной сварке под флюсом — 2,5—4 мм, при сварке в защитных газах — 1—2,5 мм.

На механические свойства низкоуглеродистой стали сварка оказывает незначительное влияние. При сварке же конструкционных сталей в зоне термического влияния могут происходить структурные изменения, снижающие механические показатели сварного соединения. При этом в металле шва образуются закалочные структуры и даже трещины.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключаются особенности металлургии сварки?
2. Какие вещества растворяются в жидком железе?
3. Какие способы применяют для борьбы с загрязнениями и в чем их сущность?
4. В чем сущность процесса кристаллизации шва?
5. Назовите участки зоны термического влияния в сварном соединении.
6. Как влияет скорость охлаждения на качество металла шва?

..... Глава 6

СВАРОЧНАЯ ПРОВОЛОКА И ЭЛЕКТРОДЫ

.....

§ 17. Сварочная проволока

Для заполнения разделки шва в зону дуги вводят пускочный металл в виде прутка или проволоки. При ручной дуговой сварке применяют плавящиеся электроды в виде прутков или стержней с покрытием. При механизированной сварке используют электрод в виде проволоки, намотанной на катушку.

Изготавливают стальную холодноотянутую проволоку круглого сечения диаметрами 0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0 и 12,0 мм и поставляют в мотках (бухтах) из одного отреза. Проволока первых семи диаметров предназначена в основном для полуавтоматической и автоматической сварки в защитном газе. Для автоматической и полуавтоматической сварки под флюсом применяют проволоку диаметром 2—6 мм. Проволока диаметром 1,6—12,0 мм идет на изготовление стержней электродов.

тродов. Поверхность проволоки должна быть гладкой чистой, без окалины, ржавчины, грязи и масла.

По химическому составу стальная проволока делится на три основные группы (ГОСТ 2246-70):

- углеродистая (6 марок) с содержанием углерода не более 0,12%, которая предназначена для сварки низкоуглеродистых, среднеуглеродистых и некоторых низколегированных сталей;
- легированная (30 марок) для сварки низколегированных, конструкционных, теплостойких сталей;
- высоколегированная (41 марка) для сварки хромистых, хромоникелевых, нержавеющей и других специальных легированных сталей.

Проволока маркируется индексом Св (сварочная), буквами и цифрами. Обозначения легирующих примесей следующие: Г — марганец, С — кремний, Х — хром, Н — никель, М — молибден, В — вольфрам, Ф — ванадий и др. Первые две цифры указывают содержание углерода в сотых долях процента, а цифры после буквы, указывающей легирующие примеси, — количество данного элемента в процентах. Отсутствие цифры после буквенного обозначения легирующего элемента означает, что этого элемента в материале проволоки менее одного процента. Буква А в конце марки указывает на пониженное содержание вредных примесей (серы и фосфора). Например, сварочная проволока марки Св-08ХГ2С содержит 0,08% углерода, до 1% хрома, до 2% марганца и до 1% кремния.

Содержание углерода в сварочной проволоке не превышает 0,12—0,15%, что снижает склонность металла шва к газовой пористости и образованию твердых закалочных структур. Содержание кремния в углеродистой проволоке составляет менее 0,03%, так как наличие кремния способствует образованию при сварке пор в металле шва.

Допустимое содержание серы и фосфора также ограничено (0,04% каждого элемента), так как они даже при малой концентрации способствуют образованию трещин в сварном шве.

Медь и ее сплавы сваривают проволокой и прутками из меди и сплавов на медной основе. Алюминий и алюминийевые сплавы сваривают сварочной проволокой из алюминия и его сплавов. Для сварки других металлов и сплавов применяют сварочную проволоку или стержни, изготовленные либо по ГОСТ на свариваемый металл, либо по техническим условиям.

Вместо дорогостоящей легированной сварочной проволоки применяется порошковая электродная проволока (рис. 27, 28). Она состоит из металлической оболочки и сердечника. Металлическая оболочка служит для подвода сварочного тока и удержания порошкового сердечника. Сердечник представляет собой смесь порошков минералов, руд, ферросплавов и металлических порошков. Участвуя в металлургическом процессе при сварке, смесь обеспечивает защиту металла сварочной ванны от кислорода и азота воздуха, раскисление и легирование металла шва, образование лег-

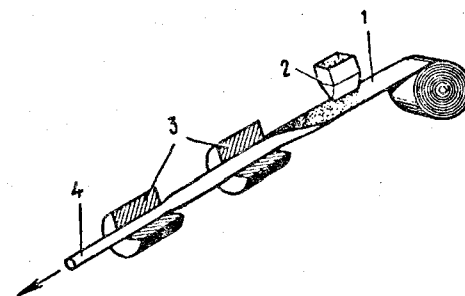


Рис. 27. Схема изготовления порошковой проволоки: 1 — стальная лента; 2 — бункер с шихтой; 3 — фильеры; 4 — порошковая проволока

коудаемого шлака и получение высококачественного шва. Сварку порошковой проволокой производят открытой дугой, под флюсом или в защитных газах.

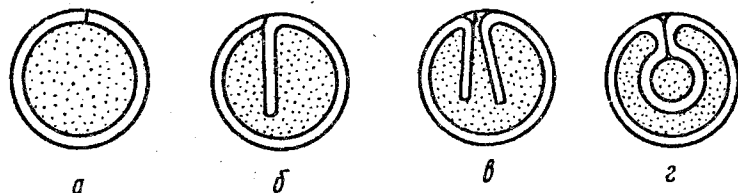


Рис. 28. Поперечное сечение порошковых проволок: а — кольцевой; б — с одной загнутой кромкой; в — с двумя загнутыми кромками; г — двухслойной

Для получения более широкого слоя наплавленного металла и увеличения производительности наплавки вместо порошковой проволоки применяется порошковая лента (рис. 29). Она сворачивается в рулоны, применяется для наплавки автоматами, снабженными специальными устройствами для подачи ленточных электродов.

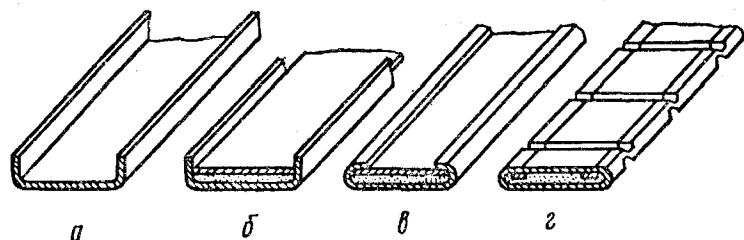


Рис. 29. Схема изготовления порошковой ленты: а — отбортовка нижней ленты; б — заполнение порошком и укладка верхней ленты; в — завальцовка кромок нижней ленты; г — выдавливание углублений для уплотнения порошка и придания гибкости порошковой ленте

Широкое применение получили проволоки, не требующие при сварке дополнительной защиты (самозащитные), и проволоки, используемые с газовой защитой зоны сварки (газозащитные). Благодаря высокой производительности и низкой чувствительности к внешним условиям сварка порошковой проволокой получает большое применение при изготовлении и монтаже строительных конструкций на строительномонтажной площадке. Наибольшее применение получили проволоки малого диаметра (1,6—2,4 мм) марок ПП-АН1, ПП-АН3, ПП-АН7, ПН-АНН, ПП-1, ДСК, ПП-2ДСК и др. Они позволяют получить сварные швы с высокими механическими свойствами.

Разработан и успешно применяется способ сварки самозащитной проволокой, т. е. сплошной легированной проволокой без защитной среды (открытой дугой). Металл специальных электродных проволок, применяемых для этого способа, содержит раскисляющие и стабилизирующие элементы. При сварке происходит компенсация выгорания марганца и кремния за счет повышенного содержания их в металле проволоки. Имеющиеся в электродной проволоке алюминий, титан, цирконий и церий обеспечивают хорошее раскисление сварочной ванны, образуя соединение, переходящее в шлак. Кроме того, эти элементы связывают азот, нейтрализуя его вредное действие на пластичность и вязкость металла. Введение церия и циркония повышает ударную вязкость и пластичность металла шва. Они также способствуют устойчивости процесса сварки и уменьшению разбрызгивания металла. Этим способом можно производить сварку в углекислом газе постоянным током прямой полярности, что позволяет значительно повысить коэффициент наплавки и производительности сварки. Для этого способа применяют проволоки марок Св-20ГСТЮА и Св-15ГСТЮА.

§ 18. Металлические электроды

Металлические электроды для дуговой сварки изготавливают следующих размеров:

Диаметр		1,6	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10	12
Дли- на	Электроды из углеродистой и легированной проволоки	200	250	250	300	350				450	
		250		300	350	450					
	Электроды из высоколегированной проволоки	150	200		300					350	
		200	250	250	350	350				450	

По качеству электроды подразделяются на три группы.

Покрытие электрода должно быть однородным, плотным, прочным, без трещин, наплывов, вздутий и эксцентриситеты относительно оси стержня. Допускаются шероховатость и отдельные риски глубиной менее четверти толщины покрытия, вмятины глубиной до половины толщины покрытия на длине не более 12,0 мм, оголенность только с конца электрода на длине не более половины диаметра и другие мелкие дефекты. Прочность покрытия испытывают следующим образом: при падении плашмя на стальную плиту с высоты 1 м электродов диаметром менее 4 мм и с высоты 0,5 м электродов диаметром 4 мм и более покрытие не должно разрушаться. Влагостойкость покрытия проверяют погружением электрода в воду и выдержкой в течение 24 часов при температуре 15—25°С.

Электроды упаковывают в водонепроницаемую бумагу или полиэтиленовую пленку и пачками массой 3—8 кг укладывают в деревянные ящики. Масса ящика — от 30 до 50 кг.

На каждой пачке имеется этикетка, содержащая наименование завода-изготовителя, условное обозначение элект-

рода, область применения, режимы сварки, обработки и механические показатели сварного шва, свойства наплавленного металла и коэффициент наплавки.

Электроды, изготовленные по ГОСТ, обеспечивают устойчивое горение дуги и спокойное равномерное плавление покрытия. Шлак ровным слоем покрывает наплавляемый металл и легко удаляется после остывания. Трещины, газовые поры и шлаковые включения в сварном шве не образуются. Химический состав металла шва и допустимое содержание серы и фосфора указываются в паспорте электрода. Содержание серы и фосфора в металле сварного шва при сварке низкоуглеродистых и низколегированных сталей должно быть не более 0,05%, при сварке легированных сталей повышенной прочности — не более 0,04%.

* Сварные швы высоколегированных сталей должны содержать не более 0,025% серы и 0,03% фосфора.

Для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей предусмотрены девять типов электродов: Э38, Э42, Э42А, Э46, Э46А, Э50, Э50А, Э55, Э60; для сварки легированных конструкционных сталей повышенной и высокой прочности пять типов: Э70, Э85, Э100, Э125, Э150. Кроме того, предусмотрены девять типов электродов для сварки теплоустойчивых сталей.

Тип электрода обозначается буквой Э и цифрой, указывающей гарантируемый предел прочности металла шва в кгс/мм². Буква А в обозначении указывает, что металл шва, наплавленный этим электродом, имеет повышенные пластические свойства. Такие электроды применяют при сварке наиболее ответственных швов. Для изготовления стержней большинства электродов, предназначенных для сварки углеродистых и легированных конструкционных сталей, применяют проволоку марок Св-08 и Св-08А.

Выбор типа электрода производится исходя из усло-

вия обеспечения равнопрочности сварного шва и основного металла. Характеристика металла сварного шва, выполненного электродами различных типов, приводится в табл. 13, 14.

Таблица 13

Механические свойства металлов шва, наплавленного при дуговой сварке металлическими электродами для конструкционных сталей

Тип электрода	Временное сопротивление разрыву, МПа	Металл шва и наплавленный		Угол загиба для металла соединения, сваренного электродами диаметрами менее 3 мм, град.
		Относительное удлинение β_s , %	Ударная вязкость, Дж/см ²	
Э38	370	14	29	60
Э42	410	18	78	150
Э46	450	18	78	150
Э50	490	16	69	120
Э42А	410	22	147	180
Э46А	450	22	137	180
Э50А	490	20	127	150
Э55	540	20	117	150
Э60	590	18	98	120
Э70	690	14	59	—
Э85	840	12	49	—
Э100	980	10	49	—
Э125	1225	8	39	—
Э150	1470	6	39	—

Таблица 14

Механические свойства металлов шва и наплавленного при дуговой сварке металлическими электродами для легированных теплоустойчивых сталей

Тип электрода	Временное сопротивление разрыву, МПа	Относительное удлинение β_s , %	Ударная вязкость, Дж/см ²
Э09М	440	18	98
Э09МХ	450	18	88
Э09Х1М	470	18	88
Э05Х2М	470	18	88
Э09Х2М1	490	16	78
Э09Х1МФ	490	16	78
Э10Х1М1НФБ	490	15	69
Э10Х3М1БФ	540	14	59
Э10Х5МФ	540	14	59

Примечания: 1. В таблице даны механические свойства металла после термической обработки по режимам, регламентированным техническими условиями или паспортами на электроды конкретных марок. 2. Механические свойства соединений, сваренных электродами, диаметр которых меньше 3 мм, должны соответствовать техническим условиям и паспортам на электроды конкретных марок.

Каждому типу электрода соответствует несколько марок электродов. Например, типу Э42 соответствуют электроды ОМА-2, АНО-6, МЭЗ-04 и др. Марка электрода — это его промышленное обозначение, как правило, характеризующее стержень и покрытие.

Электродные покрытия делят на две группы: тонкие (стабилизирующие и ионизирующие) и толстые (качественные). Назначение тонкого покрытия — облегчить возбуждение дуги и стабилизировать ее горение. Для этого покрытие составляют из вещества, атомы и молекулы которого обладают низким потенциалом ионизации, т. е. легко ионизируются в воздушном промежутке дуги. Такими

веществами являются калий, натрий, кальций, барий, литий, стронций и др. Они применяются, как правило, в виде углекислых солей: мел (CaCO_3), поташ (KCO_3), углекислый барий (BaCO_3) и др. В качестве связующего вещества применяют жидкое стекло, представляющее собой силикат натрия. Покрытие наносят на стержень электрода слоем 0,1—0,25 мм, что составляет 1,5—2% от массы электрода. Тонкое покрытие не создает защиты для расплавленного металла шва, и поэтому при сварке происходит окисление и азотирование наплавленного металла. Шов получается хрупкий, пористый, с различными неметаллическими включениями. Поэтому электроды с тонким покрытием используют при выполнении неотвественных сварных швов.

Наиболее простым тонким покрытием является меловое. Оно состоит из мелкопросеянного чистого мела, разведенного на жидком стекле. На 100 массовых частей мела берется 25—30 массовых частей жидкого стекла и полученная смесь размешивается в воде до сметанообразного состояния. Электродные стержни окунают в этот раствор и сушат при комнатной температуре или в сушильных шкафах при температуре 30—40°C. Такие электроды дают при сварке швы очень низкого качества и поэтому применяются очень редко. Более качественные сварные швы дают электроды с тонким покрытием марок К-3 и А-1. Основной составляющей этих покрытий является титановый концентрат. Покрытие К-3 содержит 57,8% титанового концентрата и 42,2% марганцевой руды, а жидкое стекло составляет 25—35% к массе концентрата и руды. Покрытие А-1 содержит 86,6% титанового концентрата, 10,2% марганцевой руды и 3,2% калиевой селитры. Жидкое стекло берется в количестве 30—35% к массе остальных компонентов. При сварке тонкостенных изделий хорошие результаты дает покрытие МТ, состоящее из 62% титанового концентрата, 31% полевого шпата и 7% хромовокислого калия. Жидкое

стекло составляет 30% к массе остальных компонентов. Кроме этих покрытий применяют и ряд других, имеющих различные назначения.

Электроды с толстым покрытием применяют для получения сварных соединений высокого качества, поэтому эти покрытия называют качественными. Качественное покрытие выполняет следующие функции: обеспечивает устойчивое горение дуги, защищает расплавленный металл шва от воздействия кислорода и азота воздуха, раскисляет в металле шва оксиды и удаляет невосстанавливаемые оксиды в шлак, изменяет состав наплавленного металла введением в него легирующих примесей, удаляет серу и фосфор из расплавленного металла шва, образует шлаковую корку над металлом шва, замедляет его охлаждение и тем самым способствует выходу газов и неметаллических включений на поверхность металла шва.

Теория сварочных процессов дает возможность точно рассчитать состав электродных покрытий в зависимости от состава свариваемого металла и требований, предъявляемых к сварочному шву. Для выполнения перечисленных выше функций электродное качественное покрытие должно содержать следующие компоненты:

- ионизирующие вещества для снижения эффективного потенциала ионизации, что обеспечивает стабильное горение дуги. В качестве ионизирующих компонентов в покрытия вводят такие вещества, как мел, мрамор, поташ, полевой шпат и др.;
- газообразующие вещества, которые при сварке разлагаются или сгорают, выделяя большое количество газов, создающих в зоне дуги газовую оболочку. Благодаря этой оболочке металл шва предохраняется от воздействия атмосферного кислорода и азота. Таковыми газообразующими веществами являются крахмал, древесная мука, целлюлоза и др.;

- раскисляющие вещества, которые обладают большим сродством с кислородом и поэтому восстанавливают металл шва. Раскислителями служат ферросплавы, алюминий, графит и др.;
- шлакообразующие вещества, создающие шлаковую защиту расплавленного металла шва, а также капель электродного металла, проходящих через дуговой промежуток. Кроме того, шлаки активно участвуют в металлургических процессах при сварке и способствуют получению качественного шва. В качестве шлакообразующих веществ применяют полевой шпат, кварц, мрамор, рутил, марганцевую руду и др.;
- легирующие вещества, которые в процессе сварки переходят из покрытия в металл шва и легируют его для придания тех или иных физико-механических качеств. Хорошими легирующими веществами являются ферромарганец, ферросилиций, феррохром, ферротитан. Реже применяют различные оксиды металлов (меди, хрома и др.);
- связующие вещества, предназначенные для замеса всех компонентов покрытия в виде пасты, а также для связывания пасты на сердечнике электрода и придания определенной прочности после высыхания покрытия. Таким веществом является жидкое стекло. Реже применяется декстрин.

По видам покрытия электроды подразделяют: с кислым покрытием — условное обозначение А; с рутиловым — Р; с целлюлозным — Ц; с основным — Б; с покрытием смешанного типа — двойное обозначение (например, АЦ); с прочими видами покрытий — П.

Кислые покрытия (АНО-1, СМ-5) содержат руды в виде окислов железа и марганца. При плавлении они выделяют кислород, способный окислить металл ванны и легирую-

щие примеси. Для ослабления действия кислорода в покрытие вводят раскислители в виде ферросплавов. Однако наплавленный металл имеет относительно малую вязкость и пластичность и пониженное содержание легирующих примесей.

Рутиловые покрытия (АНО-3, АНО-4, МР-3, ОЗС-4) имеют основным компонентом рутил (TiO_2 — диоксид титана). Шлакообразующими служат рутил, а также полевой шпат, магнезит и др. В качестве раскислителя и легирующего компонента применяют ферромарганец.

Целлюлозные покрытия (ВСЦ-1, ВСЦ-2, ОМА-2) содержат главным образом органические компоненты в качестве газообразующих и связующих веществ. В качестве раскислителей введены ферромарганец, ферросилиций.

Основные покрытия (УОНИИ-13, ДСК-50) составлены на основе плавикового шпата (CaF_2) и мрамора (карбонат кальция $CaCO_3$). Отсутствие в составе этого покрытия оксидов железа и марганца позволяет широко легировать наплавляемый металл. При сварке можно получить металл шва заранее заданного химического состава с хорошими механическими свойствами. В качестве раскислителей покрытие содержит ферротитан, ферромарганец и ферросилиций.

Условное обозначение электродов включает марку электрода, диаметр стержня, группу по качеству и номер ГОСТ (рис. 30).

Электроды покрытые металлические для сварки и наплавки сталей систематизируют следующим образом.

По назначению:

- для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву до 600 МПа—У (условное обозначение);
- для сварки легированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву более 600 МПа—Л;

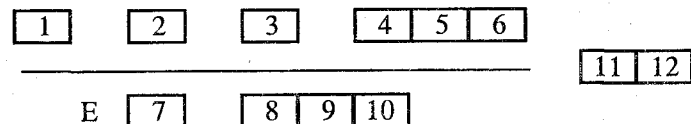


Рис. 30. Условное изображение электродов:

1 — тип; 2 — марка; 3 — диаметр, мм; 4 — обозначение назначения электродов; 5 — обозначение толщины покрытия; 6 — группа электродов; 7 — группа индексов, указывающих характеристики наплавленного металла и металла шва по действующим стандартам, 8 — обозначение вида покрытия; 9 — обозначение допустимых пространственных положений сварки и наплавки; 10 — обозначение рода тока, полярности постоянного тока и номинального напряжения холостого хода источника питания переменного тока частотой 50 Гц; 11 — ГОСТ ...; 12 — обозначение стандарта на типы электродов.

- для сварки легированных теплоустойчивых сталей — Т;
- для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами — В;
- для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами — Н.

По толщине покрытия в зависимости от отношения диаметра электрода к диаметру стержня D/d электроды делят:

- с тонким покрытием — М, $D/d \leq 1,2$;
- со средним покрытием — С, $D/d = 1,2 \dots 1,45$;
- с толстым покрытием — Д, $D/d 1,45 \dots 1,680$;
- с особо толстым — Г, $D/d > 1,8$.

По допустимым пространственным положениям сварки или наплавки:

- для всех положений — 1;
- для всех положений, кроме вертикального сверху вниз — 2;
- для нижнего, горизонтального на вертикальной плоскости и вертикального снизу вверх — 3;
- для нижнего и нижнего «в лодочку» — 4.

- По роду тока, полярности постоянного тока и номинального напряжения холостого хода источника питания сварочной дуги переменного тока частотой 50 Гц — в соответствии с табл. 15.

Таблица 15

Классификация электродов по роду и полярности тока

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

Условное обозначение должно быть указано на этикетках или в маркировке коробок, пачек и ящиков с электродами.

Например:

Э46А - УОНИ 13/45 4- 3,0 - УД2 ГОСТ 9466-75,
Е 432(5) - Б10

Э46А — тип электрода, 46 — минимальный гарантируемый предел прочности металла, шва, кгс/мм² (460 МПа); А — наплавленный металл имеет повышенные пластические свойства;

УОНИ 13/45 — марка электрода; 3,0 — диаметр электрода, мм; У — электроды для сварки углеродистых и низколегированных сталей;

Д2 — с толстым покрытием второй группы;

Е 432(5) — группа индексов, указывающих характери-

стики наплавленного металла и металла шва; 43 — временное сопротивление разрыву не менее 460 МПа; 2 — относительное удлинение не менее 22 %; 5 — ударная вязкость не менее 34,3 Дж/см² при температуре минус 40°С;

Б — основное покрытие; 1 — для сварки во всех пространственных положениях; О — на постоянном токе обратной полярности.

Широкое распространение получили следующие электроды, назначение которых приводится в табл. 16.

Электроды УОНИИ-13 дают высокое качество металла шва и применяются для сварки ответственных швов из конструкционных сталей. Такие электроды выпускаются нескольких марок: УОНИИ-13/45, УОНИИ-13/55, УОНИИ-13/65 и УОНИИ-13/85. Цифры после черты означают получаемый предел прочности металла шва (кгс/мм²). Сварку можно производить при любом положении шва, но только на постоянном токе обратной полярности. Эти электроды применяют в заводских и монтажных условиях. Коэффициент наплавки электродов типа УОНИИ-13 достигает 9,5 г/(А·ч).

Электрод СМ-11 (тип Э42А) получил широкое распространение в строительстве. Применяется при сварке ответственных конструкций во всех пространственных положениях. Наплавленный металл имеет высокие механические свойства. Коэффициент наплавки электрода СМ-11 достигает 10 г/(А·ч). Важным положительным качеством электрода СМ-11 является устойчивость сварки в условиях монтажа, когда необходимо поддерживать постоянство длины сварочной дуги. Таким же качеством обладают электроды марки МР-3, имеющие коэффициент наплавки 9 г/(А·ч). Они предназначены для сварки постоянным и переменным током.

Широкое применение получили электрод марки ОЗС-4 (тип Э46) (коэффициент наплавки 8,5 г/(А·ч)) для сварки ответственных металлоконструкций из низкоуглеродистой

стали и электрод ОЗС-5 (коэффициент наплавки 11 г/(А·ч)), содержащий в покрытии железный порошок. Сварка выполняется переменным и постоянным токами любой полярности во всех пространственных положениях.

Для сварки ответственных конструкций из низкоуглеродистых сталей переменным или постоянным током во всех пространственных положениях хорошие результаты дают электроды марки АНО-5 (тип Э42), имеющие коэффициент наплавки 11 г/(А·ч), и марки АНО-6 (с коэффициентом наплавки 8,5 г/(А·ч)). Для сварки деталей из низкоуглеродистой стали, работающих при динамических нагрузках, применяют электроды марок АНО-3 и АНО-4 (тип Э46) (с коэффициентом наплавки 8 г/(А·ч)). Электроды типа АНО характеризуются устойчивым горением дуги, незначительным разбрызгиванием металла, стойкостью против образования кристаллизационных трещин и легкостью отделения шлаковой корки.

Для сварки конструкций из низкоуглеродистых и низколегированных сталей с учетом их химического состава рекомендуются марки электродов, приведенные в табл. 16.

В табл. 17 даются марки некоторых зарубежных электродов и их соответствие ГОСТ 9467-75.

Хранение электродов на предприятиях осуществляется в специально оборудованных помещениях при температуре не ниже 15°С и относительной влажности не более 50%. Электроды следует хранить на стеллажах отдельно по маркам и партиям. Помещения должны иметь печь для прокалики электродов при температуре до 450°С и сушильный шкаф с температурой до 150°С и обеспечивать потребность в электродах.

Для каждой марки электродов устанавливается своя температура прокалики, значения которой приводятся в табл. 18.

Прокалика электродов может производиться не более трех раз. Если электроды после трех прокалок показали неудов-

летворительные сварочно-технологические свойства, то применение их для сварочных работ не допускается.

Импортные электроды прокаливают по тому же режиму, что и отечественные с аналогичным типом покрытия.

Электроды с основным покрытием, предназначенные для сварки перлитных сталей, следует использовать в течение 5 суток после прокалики, остальные электроды — в течение 15 суток, если их хранят на складе с соблюдением требований. По истечении указанного срока электроды перед применением необходимо вновь прокалить. В случае хранения электродов в сушильном шкафу при температуре 60—100°С срок их годности не ограничивается.

Таблица 16

Области применения электродов для сварки

Сталь	Марка электродов
Углеродистая 08, 10, 20, Ст2, Ст3, Ст3Г	АНО-4, АНО-6М, ВСЦ-4А, МР-3, ОЗС-4, АНО-18, АНО-24, УОНИ-13/45, УОНИ-13/55, ИТС-4С, ТМУ-21У, ЦУ-5, ЦУ-7, ЦУ-8, ЦУ-6, ТМУ-46, ТМУ-50
Ст4, 15Л, 20Л, 25Л	УОНИ-13/45, УОНИ-13/55, ИТС-4С, ВСЦ-4А, ЦУ-5, ТМУ-21У, ЦУ-7, ЦУ-8, ТМУ-46, ТМУ-50
Низколегированная конструкционная 15ГС, 16ГС, 17ГС, 14ГН, 16ГН, 09Г2С, 10Г2С1, 14ХГС, 20ГСЛ, 17Г1С, 17Г1СУ	ВСЦ-4А, ЦУ-5, УОНИ-13/55, ТМУ-21У, ЦУ-7, ЦУ-8, ИТС-4С

Таблица 17

Химический состав и механические свойства наплавленного металла зарубежных электродов (по данным каталогов)

Марка электрода*	Страна	Соответствие типу по ГОСТ 9107-75	Углерод	Кремний	Марганец	Хром	Молибден
В-17	Япония	Э42А	0,08	0,08	0,49	—	—
Н-В121	ЧСФР	Э42Л	0,1	0,4	0,7	—	—
Епопа	Югославия	Э40	0,1	0,12	0,45	—	—
ЛВ-26	Япония	Э50А	0,08	0,43	0,93	—	—
ЛВ-52У	Япония	Э50А	0,08	0,64	0,86	—	—
ОК48.30	Швеция	Э50А	0,08	0,5	1	—	—
Е-В125	ЧСФР	Э50А	0,1	0,5	1,3	—	—
Гарант	Германия	Э50А	0,1	0,5	1	—	—
Фох EV-50	Австрия	Э50А	0,05	0,6	0,9	—	—
ЛВ-52А	Япония	Э50Л	0,08	0,5	1,08	—	—
Фоссипх 120К	Германия	Э50А	0,08	0,5	1,1	—	—
СМВ-86	Япония	Э-09МХ	0,07	0,51	0,81	0,51	0,47
СМВ-95	Япония	Э-09Х1М	0,03	0,9	0,70	1,27	0,54
СМВ-96	Япония	Э-09Х1М	0,07	0,53	0,79	1,2	0,5
Е-В324**	ЧСФР	Э-09Х1МФ	0,08	0,4	1,4	0,5	1,2

* Содержание серы и фосфора у всех электродов не более 0,03 % каждого.

** Соответствие типу Э-09Х1МФ условное, так как содержание марганца, хрома и молибдена не удовлетворяет требованиям ГОСТ 9467—75; содержит 0,35 % ванадия.

Характеристика электродов общего назначения для сварки сталей

Тип элект- рода	Марка электрода	Марка свароч- ной проволоки	Род тока и полярность	Положение сварки	Коэффициент наплавки, г/А · ч	Режим прокалики									
						Темпера- тура, °С	Время, мин								
Э42	АНО-6М	Св-08, Св-08А	Углеродистые и низколегированные конструкционные стали	Все положения	8,5	180—200	60								
	АНО-1	То же						Нижнее	16	180—200	60				
	ВСЦ-2											Все положения	10,5	120—160	60—90
	ВСЦ-4														
	СМ-11											Постоянный и переменный	9,5—10,5	320—360	60—90
УП-1/45	Постоянный и переменный	10	350—370	60											
УП-2/45					Постоянный	10	300—350	60							
ОЗС-2	Постоянный	8,5	250—300	60											
АНО-4					Постоянный и переменный	7,5—8,3	180—200	60—90							
МР-3	Постоянный и переменный	8—8,5	150—180	60—90											
ОЗС-4					Постоянный и переменный	8,5—9,2	270—300	20—30							
АНО-18	Постоянный и переменный	8,7—9,5	180—200	60											
АНО-24					Постоянный и переменный	8,5—9,5	120—200	60							
Э46	Св-08, Св-08А	То же	Все положения	8,5					180	60					
Э46	То же				Постоянный	То же	7,5—9,5	350—400			60—120				
Э46А	УОНИ-13/45	Постоянный	То же	8,5					180	60					

Окончание табл. 18

Тип элект- рода	Марка электрода	Марка свароч- ной проволоки	Род тока и полярность	Положение сварки	Коэффициент наплавки, г/А · ч	Режим прокалики							
						Темпера- тура, °С	Время, мин						
Э50А	УОНИ-13/55	То же	Постоянный и переменный	*	8,5—9,5	350—400	60—120						
	СК2-50							*	350—400	60—90			
	ДСК-50										*	360—400	60—90
	АНО-11												
	КД-11										Постоянный и переменный	9—9,5	200—250
ОЗС-18	Постоянный и переменный	9—9,5	250—300	60—90									
УОНИ-13/55У					*	Горизонтальные и вертикальные стыки	9,5	350—400	60—120				
Э60	ВСФ-65У	Постоянный	Все положения	9—9,5						300—350	90—120		
Э60А	УОНИ-13/65				*	То же	9	350—400	60—120				
Э70	ЛКЗ-70	*	Нижнее	9,5						320—350	60		
	АНЦ-2				*	Все положения	9	420—450	90—120				
Э85	УОНИ-13/85	*	*	9,5						350—400	60—120		
	Теплоустойчивые стали												
Э09М	УОНИ-13/45М	Св-08А	Постоянный	Все положения	9—10	300—350	60						
Э09МХ	УОНИ-13/45МХ	То же	*	То же	10,5	300—350	60						
	ОЗС-11							Постоянный и переменный	8—9	300—350	60		
Э09Х1М	ЦЛ-30-63	Св-08ХМ	Постоянный	Нижнее и вертикальное	10,4	350	60						
	Э09Х1МФ	ЦЛ-20-63	Св-08ХМФА	*	Все положения	10,3	330—350	60					
ЦЛ-26М-63		То же							10,5	330—350	60		

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как маркируются сварочные проволоки?
2. Назовите свойства самозащитной проволоки.
3. В чем преимущества порошковой проволоки и в каких случаях она применяется?
4. Какие требования предъявляются к покрытию электродов?
5. Какие электродные покрытия называют качественными и почему?
6. Какие вещества должны входить в электродное покрытие и для чего?
7. Расшифровать маркировку электрода:

Э55 - УОНИ · 13/55 - 4.0 - ЛМ2 ГОСТ 9466-75.

Е513 - РБ26

..... Глава 7

**ТЕХНОЛОГИЯ РУЧНОЙ
ДУГОВОЙ СВАРКИ**

.....

Технологический процесс ручной дуговой сварки предполагает определенный порядок операций по выполнению сварного шва:

- подготовка кромок металла под сварку;
- сборка свариваемых торцов изделия;
- прихватка;
- выбор режимов сварки;
- контроль сварного соединения;
- термообработка сварного шва.

§ 19. Сборка сварного соединения

Сборка является ответственной операцией технологического процесса сварки, так как от точного шва зависит его прочность.

Применяются следующие способы сборки и сварки конструкций:

- Сборка узла или конструкции в целом с последующей сваркой; этим способом при нескольких свароч-

ных операциях изготавливаются простые узлы и конструкции, состоящие из 2—3 заготовок.

- Последовательная сборка и сварка путем наращивания отдельных элементов. Применяется в тех случаях, когда невозможно полностью сварить собранную конструкцию. Этот способ малопроизводителен.
- Поузловая сборка и сварка с последующей сборкой и сваркой конструкций из этих узлов. Данный способ наиболее прогрессивный и сейчас широко распространен. В этом случае ускоряется процесс изготовления конструкций и улучшается качество выполнения сварочных работ, так как сварку узлов осуществляют в заводских условиях или на специализированных участках стройплощадок с использованием приспособлений. Применяется при изготовлении, например, судов, вагонов, цистерн, резервуаров, мостов, каркасов зданий и других изделий.

В процессе сборки сварного соединения контролируются основные параметры, значения которых устанавливаются ГОСТ 5264—80 (табл. 20).

- Угол разделки для РДС должен иметь оптимальное значение. Контроль осуществляется шаблоном (рис. 31) или угломером. Меньшая величина угла раскрытия кромок не обеспечивает нормального формирования корневого шва и вызывает появление дефектов сварного шва в виде непровара и шлаковых включений. Большая величина угла разделки вызывает повышенный расход электродов.
- Величина зазора влияет на глубину провара в зависимости от его толщины и измеряется с помощью специальных щупов (рис. 31, г, д).

Малая величина зазора может вызвать непровар основного металла, большая — прожог.

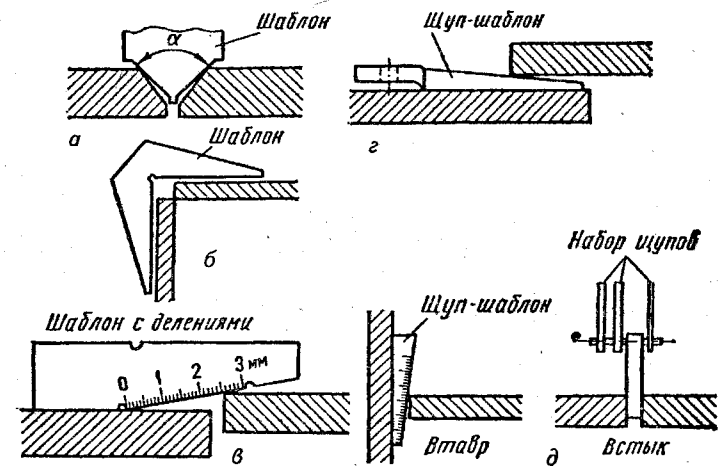


Рис. 31. Проверка качества сборки: а — угла раскрытия кромок; б — прямого угла; в — превышения кромок; г — зазора между листами при сварке внахлестку; д — зазора при сварке втавр и встык

- Величина притупления для V- и X-образных соединений устанавливается в зависимости от толщины свариваемого металла, измеряется с помощью стандартных измерительных средств. Малая величина притупления может вызвать прожог корневого шва, большая — непровар корня шва.

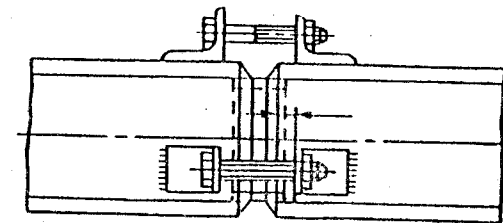


Рис. 32. Сборка на стяжных уголках стыков труб диаметром более 100 мм

- Смещение кромок влияет на потерю прочности сварного шва, регулируется с помощью специальных приспособлений (рис. 32), измеряется специальным шаблоном (рис. 31, в).

Сборка сварных соединений производится на специальных стендах или площадках с применением приспособлений по шаблонам или по разметке в соответствии с ГОСТ 5264—80 (табл. 20).

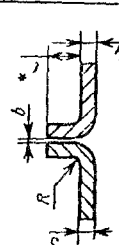
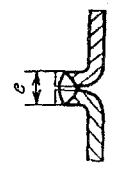
Стыковая сварка соединений деталей неодинаковой толщины при разнице, не превышающей значений, указанных в табл. 19, производится так же, как для деталей одинаковой толщины. Конструктивные элементы подготовленных кромок и размеры шва следует выбирать по большей толщине.

Таблица 19

Допустимая наибольшая разность толщин стыкуемых деталей, свариваемых без скоса кромок

ГОСТ	Толщина тонкой детали, мм	Разность толщин деталей, мм
5264—80	1—4	1
	5—20	2
	21—30	3
	Св.30	4
8713—79	2—4	1
	5—30	2
	31—40	4
	Св.40	6
14771—76	2—3	1
	4—30	2
	31—40 Св.40	4 6

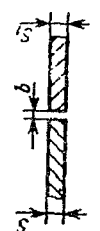
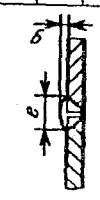
Таблица 20

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей		s	b		R	i	e, не более
	сварного шва	сварного шва		Номин.	Пред. откл.			
C1			От 1 до 2	0	+0,5	От s до 2s	От s до 3s	2s + 3
			Св. 2 до 4					

Размеры, мм

* Размер для справок.

Таблица 20а

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей		s = s1	b		e, не более	Пред. откл.
	сварного шва	сварного шва		Но-мин.	Пред. откл.		
C2			От 1,0 до 1,5	0	+0,5	6	±0,5
			Св. 1,5 до 3,0	1	±1,0	7	±1,0
			Св. 3,0 до 4,0	2	+1,0—0,5	8	±1,0

Размеры, мм

Размеры, мм

Продолжение табл. 20а

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы		$s = s_1$	e		Пред. откл.	Номинал.	Пред. откл.
	подготовленных кромок свариваемых деталей	сварного шва		Номинал.	Пред. откл.			
С17			От 3 до 5	8	±2	0,5	+1,5 -0,5	
			Св. 5 до 8	12				
			Св. 8 до 11	16				
			Св. 11 до 14	19	±3	0,5	+2,0 -0,5	
			Св. 14 до 17	22				
			Св. 17 до 20	20				
			Св. 20 до 24	30	±4	0,5	+2,0 -0,5	
			Св. 24 до 28	34				
			Св. 28 до 32	38				
			Св. 32 до 36	42				
			Св. 36 до 40	47				
			Св. 40 до 44	52				
			Св. 44 до 48	54	±4	0,5	+2,0 -0,5	
Св. 48 до 52	56							
Св. 52 до 56	60							
Св. 56 до 60	65							

Размеры, мм

Окончание табл. 20а

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы		$s = s_1$	e		Пред. откл.	Номинал.	Пред. откл.
	подготовленных кромок свариваемых деталей	сварного шва		Номинал.	Пред. откл.			
С21			От 3 до 5	8	±2	0,5	+1,5 -0,5	
			Св. 5 до 8	12				
			Св. 8 до 11	16				
			Св. 11 до 14	19	±3	0,5	+2,0 -0,5	
			Св. 14 до 17	22				
			Св. 17 до 20	26				
			Св. 20 до 24	30	±4	0,5	+2,0 -0,5	
			Св. 24 до 28	34				
			Св. 28 до 32	38				
			Св. 32 до 36	42				
			Св. 36 до 40	47				
			Св. 40 до 44	52				
			Св. 44 до 48	54	±4	0,5	+2,0 -0,5	
Св. 48 до 52	56							
Св. 52 до 56	60							
Св. 56 до 60	65							

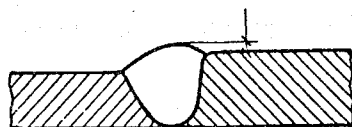


Рис. 33. Допускаемое расположение поверхности шва при разной толщине свариваемых деталей

Для плавного перехода от одной детали к другой допускается располагать поверхность шва (рис. 33) наклонно.

При разности в толщинах свариваемых деталей свыше значений, указанных в табл. 20, на детали, имеющую большую толщину s_1 , должен быть сделан скос с одной стороны или с двух сторон до толщины тонкой детали s , как показано в табл. 21. При этом конструктивные элементы подготовленных кромок и размеры сварного шва следует выбирать по меньшей толщине.

Таблица 21

Величина скоса детали, имеющей большую толщину, при стыковом соединении ее с тонкостенной деталью

ГОСТ	Односторонний скос	Двусторонний скос
5264—80, 8713—79,		
14771—76		
16098—80		

При сварке стыковых соединений деталей (за исключением труб) ГОСТ 5264—80, 8713—79, 14771—76 допуска-

ют перед сваркой следующие смещения свариваемых кромок относительно друг друга:

Толщина детали	Смещение, мм
До 4	0,5
4—10	1
10—100	0,1s, но не более 3 мм
Св. 100	0,01s + 2, но не более 4 мм

На сварке угловых швов ГОСТ регламентирует допустимые значения выпуклости и вогнутости швов (табл. 22).

По ГОСТ 5264—80 при сварке в положениях, отличных от нижнего, допускается увеличение выпуклости не более чем на 1 мм для деталей толщиной до 60 мм и не более чем на 2 мм для деталей толщиной более 60 мм.

Таблица 22

Допустимые значения выпуклости и вогнутости сварных угловых швов

ГОСТ	Выпуклость шва	Вогнутость шва
5264—80, 8713—79, 14771—76*	До 30 % размера катета, но не более 3 мм	До 30 % размера катета, но не более 3 мм. При этом вогнутость не должна приводить к уменьшению расчетного размера катета

Перед прихваткой свариваемых кромок производится зачистка до металлического блеска поверхностей, прилегающих к сварному шву, для предупреждения попадания в сварной шов различного рода загрязнений, ржавчины и др.

После сборки кромок сварного соединения их сваривают однослойным швом, называемым прихваткой.

Располагают прихватки по всей длине сварного шва. Длина прихваток колеблется в пределах 20—120 мм с шагом — 300—400 мм.

Прихваточные швы рекомендуется выполнять тем же способом сварки, что и корневой шов. Сечение шва прихватки не должно превышать половины сечения основного шва.

При прихватке применяются те же самые электроды, что и для корневого шва. Выполняются прихватки с полным проваром и обычно перевариваются при наложении основного шва.

Температура подогрева стыков перед прихваткой и сваркой регламентируется данными табл. 23.

Таблица 23

Температура подогрева стыков труб перед прихваткой и сваркой дугowymi способами при положительной температуре окружающего воздуха

Марка стали свариваемых деталей	Номинальная толщина свариваемых деталей, мм	Температура подогрева, °С
Ст2, Ст3, Ст3Г, Ст4, 08, 10, 15Л, 20, 20Л	До 100 вкл.	—
	Св. 100	100—150
25Л, 10Г2	До 60 вкл.	—
	Св. 60	100—150
15ГС, 16ГС, 17ГС, 14ГН, 16ГН, 09Г2С, 10Г2С1, 17Г1С, 17Г1СУ, 14ХГС	До 30 вкл.	—
	Св. 30	100—150
20ГСЛ	До 30 вкл.	—
	Св. 30	150—200
	До 10 вкл.	—
12МХ6, 15ХМ	Св. 10 до 30 вкл.	150—200
	Св. 30	200—250
12Х1МФ, 12Х2М1, 20ХМЛ	До 10 вкл.	—
	Св. 10 до 30 вкл.	200—250
	Св. 30	250—300

§ 20. Техника выполнения швов

Для выполнения сварного шва прежде всего определяют режим сварки, обеспечивающий хорошее качество сварного соединения, установленные размеры и форму при минимальных затратах материалов, электроэнергии и труда.

Режимом сварки называется совокупность параметров, определяющих процесс сварки: вид тока, диаметр электрода, напряжение и значение сварочного тока, скорость перемещения электрода вдоль шва и др.

Основными параметрами режима ручной дуговой сварки являются диаметр электрода и сварочный ток. Остальные параметры выбирают в зависимости от марки электрода, положения свариваемого шва в пространстве, вида оборудования и др.

Диаметр электрода устанавливают в зависимости от толщины свариваемых кромок, вида сварного соединения и размеров шва. Для стыковых соединений приняты практические рекомендации по выбору диаметра электрода в зависимости от толщины свариваемых кромок.

При выполнении угловых и тавровых соединений принимают во внимание размер катета шва. При катете шва 3—5 мм сварку производят электродом диаметром 3—4 мм, при катете 6—8 мм применяют электроды диаметром 4—5 мм. При многопроходной сварке швов стыковых соединений первый проход выполняют электродом диаметром не более 4 мм. Это необходимо для хорошего провара корня шва в глубине разделки.

По выбранному диаметру электрода устанавливают значение сварочного тока. Обычно для каждой марки электродов значение тока указано на заводской этикетке, но можно также определить по следующим формулам:

$$I = (40-50)d, \text{ при } d = 4-6 \text{ мм};$$

$I = (20+6d)d$, при d меньше 4 мм и больше 6 мм, где I — значение сварочного тока, А; d — диаметр электрода, мм.

Полученное значение сварочного тока корректируют, учитывая толщину металла и положение свариваемого шва. При толщине кромок менее (1,3—1,6) расчетное значение сварочного тока уменьшают на 10—15%, при толщине кромок больше трех диаметров электрода увеличивают на 10—15%. Сварку вертикальных и потолочных швов выполняют сварочным током на 10—15% уменьшенным против расчетного.

Сварочную дугу возбуждают двумя приемами. Можно коснуться свариваемого изделия торцом электрода (рис. 34,а) и затем отвести электрод от поверхности изделия на 3—4 мм, поддерживая горение образовавшейся дуги. Можно также быстрым боковым движением коснуться свариваемого изделия и затем отвести электрод от поверхности изделия на такое же расстояние (по методу зажигания спички) (рис. 34,б). Прикосновение электрода к изделию должно быть кратковременным, так как иначе он приваривается к изделию, т. е. «примерзает». Отрывать «примерзший» электрод следует резким поворачиванием его вправо и влево.

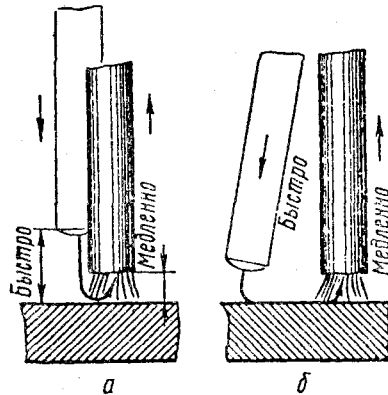


Рис. 34. Зажигание сварочной дуги: а — кратковременным прикосновением электрода к поверхности изделия; б — чирканьем конца электрода о поверхность изделия

В случаях отрыва сварочной дуги повторное ее зажигание производится согласно рис. 35.



Рис. 35. Зажигание дуги после ее обрыва: 1 — место повторного зажигания дуги; 2 — кратер

Длина дуги значительно влияет на качество сварки. Короткая дуга горит устойчиво и спокойно. Она обеспечивает получение шва высокого качества, так как расплавленный металл электрода быстро проходит дуговой промежуток и меньше подвергается окислению и азотированию. Но слишком короткая дуга вызывает «примерзание» электрода, дуга прерывается, нарушается процесс сварки. Длинная дуга горит неустойчиво с характерным шипением. Глубина проплавления недостаточная, расплавленный металл электрода разбрызгивается и больше окисляется и азотируется. Шов получается бесформенным, а металл шва содержит большое количество окислов. Для электродов с толстым покрытием длина дуги указывается в паспортах.

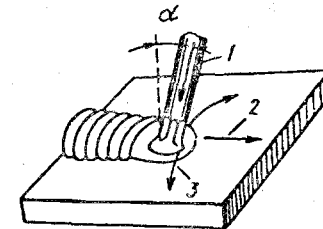


Рис. 36. Перемещение электрода в трех направлениях

В процессе сварки электроду сообщаются движения, показанные на рис. 36: 1 — по направлению оси электрода

в зону дуги; скорость движения должна соответствовать скорости плавления электрода, чтобы сохранить постоянство длины дуги; 2 — вдоль линии свариваемого шва. Скорость перемещения не должна быть большой, так как металл электрода не успевает сплавиться с основным металлом и получается непровар. При малой скорости перемещения возможны перегрев и пережог металла, шов получается широкий, толстый, производительность сварки низкая. Поперечные колебательные движения применяют для получения уширенного валика (рис. 36,3). Поперечные движения замедляют остывание наплавляемого металла, облегчают выход газов и шлаков и способствуют наилучшему сплавлению основного и электродного металла и получению высококачественного шва. Образующийся в конце наплавки валика кратер необходимо тщательно заварить.

Поперечные колебательные движения конца электрода (рис. 37) определяются формой разделки, размерами и положением шва, свойствами свариваемого материала, навыком сварщика.

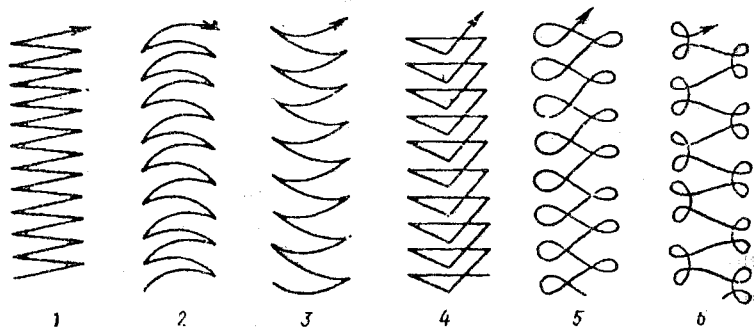


Рис. 37. Колебательные движения концом электрода поперек шва: 1, 2, 3 — для равномерного прогрева сварочной ванны; 4 — для усиленного прогрева корня шва; 5, 6 — для усиленного прогрева кромок

Техника выполнения зависит от вида и пространственного положения шва.

Нижние швы наиболее удобны для выполнения, так как расплавленный металл электрода под действием силы тяжести стекает в кратер и не вытекает из сварочной ванны, а газы и шлак выходят на поверхность металла. Поэтому по возможности следует вести сварку в нижнем положении. Стыковые швы (рис. 38) без скоса кромок выполняют наплавкой вдоль шва валика с небольшим уширением. Необходимо хорошее проплавление свариваемых кромок. Шов делают с усилением (выпуклость шва до 2 мм). После проверки шва с одной стороны изделие переворачивают и, тщательно очистив от подтеков и шлака, заваривают шов с другой стороны. Сварку стыковых швов с V-образной разделкой при толщине кромок до 8 мм производят в один слой, а при большей толщине — в два слоя и более.

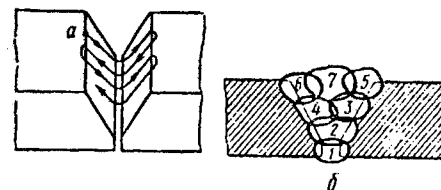


Рис. 38. Сварка стыковых швов. а — однослойного; б — многослойного; 1—7 — последовательность наложения швов

Первый слой наплавляют высотой 3—5 мм электродом, диаметр которого 3—4 мм. Последующие слои выполняют электродом диаметром 4—5 мм. Перед наплавкой очередного слоя необходимо тщательно очистить металлической щеткой разделку шва от шлака и брызг металла. После заполнения всей разделки шва изделие переворачивают и выбирают небольшую канавку в корне шва, которую затем аккуратно заваривают. При невозможности подварить шов с обратной стороны следует особенно аккуратно проварить первый слой.

Стыковые швы с Х-образной разделкой выполняют аналогично многослойным швам с обеих сторон разделки.

Угловые швы (рис. 39) в нижнем положении лучше выполнять в положении «лодочка». Если изделие не может быть так установлено, необходимо особенно тщательно обеспечить хороший провар корня шва и свариваемых кромок. Сварку следует начинать с поверхности нижней кромки и затем переходить через разделку шва на вертикальную кромку. При наложении многослойного шва первый валик выполняют ниточным швом электродом с диаметром 3—4 мм. При этом необходимо обеспечить хороший провар корня шва. Затем после зачистки разделки наплавливают последующие слои.

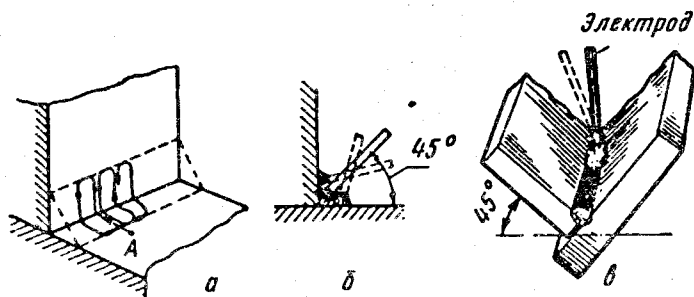


Рис. 39. Сварка угловых швов: а — траектория движения электрода; б — изменение угла наклона электрода; в — сварка в лодочку

Вертикальные швы (рис. 40) менее удобно сваривать, так как сила тяжести увлекает капли электродного металла вниз. Вертикальные швы следует выполнять короткой дугой снизу вверх. При этом капли металла легче переходят в шов, а образующийся кратер в виде полочки удерживает очередные капли металла от стекания вниз. Сварку можно вести и сверху вниз. При этом дугу следует зажигать при положении электрода, перпендикулярном плоскости изделия. После образования первых капель металла электрод наклоняют вниз, и

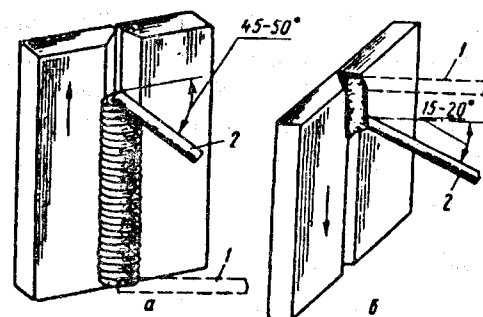


Рис. 40. Сварка вертикальных швов: а — снизу вверх; б — сверху вниз; 1 — положение электрода в начале сварки; 2 — положение электрода в процессе наложения шва

сварку выполняют возможно короткой дугой. Рекомендуется применять электроды диаметром 4—5 мм при несколько пониженном сварочном токе (150—170 А).

Горизонтальные швы выполняют при разделке кромок (рис. 41) со скосом у верхнего листа. Дугу возбуждают на нижней кромке и затем переводят на поверхность скоса и обратно. Сварку выполняют электродом диаметром 4—5 мм. Горизонтальные нахлесточные швы выполняются легче, так как нижняя кромка образует полочку, удерживающую капли расплавленного металла.

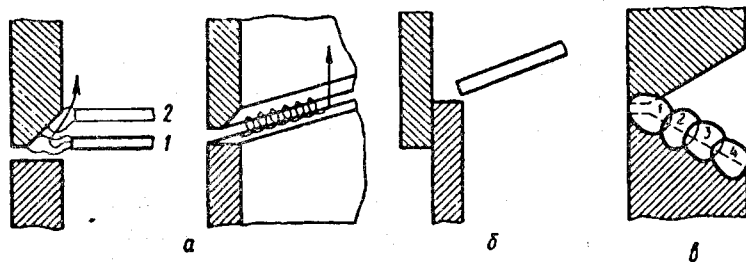


Рис. 41. Сварка горизонтальных швов: а — стыкового соединения со скосом одной кромки; б — нахлесточного соединения; в — стыкового соединения со скосом двух кромок

Потолочные швы (рис. 42) требуют высокой квалификации сварщика. Применяют электроды диаметром не более 5 мм при уменьшенном значении сварочного тока. Следует применять тугоплавкое покрытие электрода, образующее «чехольчик», в котором удерживается расплавленный металл электрода. Дуга должна быть как можно короче для облегчения перехода капель металла электрода в кратер шва.

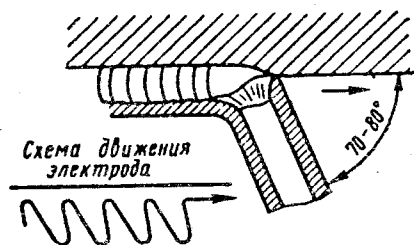


Рис. 42. Сварка потолочных швов

Выбор способа и порядка выполнения сварных швов зависит главным образом от толщины металла и протяженности шва. При сварке тонколистовой стали необходимо строгое соблюдение техники выполнения сварных швов. Особую опасность представляют сквозные прожоги и проплавление металла.

Сталь толщиной 0,5—1,0 мм следует сваривать внахлестку с проплавлением через верхний лист или встык с укладкой между свариваемыми кромками стальной полосы. Во втором случае расплавление кромок должно происходить при косвенном воздействии дуги. Питание дуги осуществляется от преобразователей ПС-100—1 или аппарата переменного тока ТС-120, так как они отличаются повышенным напряжением холостого хода и относительно малыми значениями сварочного тока. Рекомендуются следующие режимы сварки:

Толщина металла, мм	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Диаметр электрода, мм	1,0	1,8—2,0	2,0	2,5	3,0
Сварочный ток, А	10—20	25—35	40—50	50—70	60—90

Применяют электроды с покрытием марок МТ или ОМА-2. Сварку ведут на массивных теплоотводящих медных подкладках. Такой способ теплоотвода предохраняет металл от сквозного прожога и способствует хорошему формированию шва. Тонколистовую сталь можно сваривать с отбортовкой кромок. Сварку производят постоянным током неплавящимся электродом (угольным или графитовым) диаметром 6—10 мм при значении сварочного тока 120—160 А.

Металл большой толщины сваривают в несколько проходов. Разделка кромок может быть заполнена слоями или валиками (рис. 43). При толщине металла 15—20 мм сварку выполняют секциями способом двойного слоя. Шов разбивают на участки длиной 250—300 мм и каждый участок заваривают двойным слоем. Наложение второго слоя производят после удаления шлака по неостывшему первому слою. При толщине металла 20—25 мм и более применяют сварку каскадом или сварку горкой. Каскадный способ заключается в следующем. Весь шов разбивают на участки и сварку ведут непрерывно. Окончив сварку слоя на первом участке, продолжают выполнение следующего слоя второго участка по неостывшему предыдущему слою. Сварка горкой (рис. 43) является разновидностью сварки каскадом и обычно выполняется двумя сварщиками одновременно. Сварка горкой ведется от середины шва к краям. Такие способы сварки обеспечивают более равномерное распределение температуры и значительное снижение сварочных деформаций.

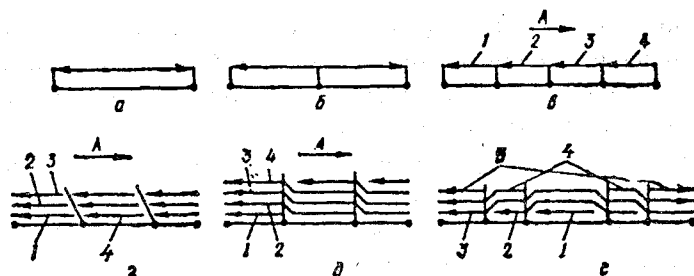


Рис. 43. Схемы сварки: а — на проход; б — от середины к краям; в — обратноступенчатым способом; г — блоками; д — каскадом; е — горкой; А — направление заполнения разделки; 1—5 — последовательность сварки в каждом слое

Способы выполнения сварных швов по длине зависят от их протяженности. Условно принято различать короткие швы длиной до 250 мм, средние швы длиной 250—1000 мм и длинные швы протяженностью более 1000 мм. Короткие швы выполняют сваркой на проход, швы средней длины сваривают либо от середины к краям, либо так называемым обратноступенчатым способом. Этот способ заключается в том, что весь шов разбивают на участки и сварку участка производят в направлении, обратном общему направлению сварки шва. Конец каждого участка совпадает с началом предыдущего участка. Длина участка выбирается в пределах 100—300 мм в зависимости от толщины металла и жесткости свариваемой конструкции. Длинные швы сваривают обратноступенчатым способом.

Сварка при низких температурах отличается следующими основными особенностями. Стали изменяют свои механические свойства: понижается ударная вязкость и уменьшается угол загиба, ухудшаются пластические свойства и несколько повышается хрупкость, а отсюда появляется склонность к образованию трещин. Это особенно заметно у сталей, содержащих более 0,3% углерода, а также у легированных сталей, склонных к закалке. Металл сварочной

ванны охлаждается значительно быстрее, а это приводит к повышенному содержанию газов и шлаковых включений и, как следствие, — к снижению механических свойств металла шва. В связи с этим установлены следующие ограничения сварочных работ при низкой температуре. Сварка металла толщиной более 40 мм при температуре 0°С допускается только с подогревом. Подогрев необходим для сталей толщиной 30—40 мм при температуре ниже -10°С, для сталей толщиной 16—30 мм — при температуре ниже -20°С и для сталей толщиной менее 16 мм — при температуре ниже -30°С.

Для подогрева металла применяют горелки, индукционные печи и другие нагревательные устройства. Сварку производят электродами типов Э42А, Э46А, Э50А, обеспечивающими высокую пластичность и вязкость металла шва. Значение тока — на 15—20% выше нормального.

§ 21. Эффективные методы сварки

Метод опирания, или сварка с глубоким проплавлением. Для получения глубокого проплавления используют электрод с утолщенным покрытием. Стержень электрода плавится быстрее покрытия, поэтому на конце электрода образуется «чехольчик». Опираясь этим чехольчиком на кромки свариваемого изделия, перемещают электрод вдоль шва без колебательных движений. Для получения узких швов рекомендуется усиливать нажим на электрод в направлении сварки, а для получения широких швов нажим необходимо ослаблять.

Такой метод обеспечивает повышение производительности сварки до 70% за счет уменьшения расхода наплавляемого металла на единицу длины шва. Короткая дуга и большая концентрация теплоты значительно увеличивают глубину проплавления основного металла. В закрытой че-

хольчиком зоне дуги потери металла на угар и разбрызгивание минимальные. Сварочный ток может быть повышен на 40—60% по сравнению с нормальным. Метод особенно эффективен при сварке угловых и тавровых соединений в нижнем положении или «в лодочку».

Для сварки с глубоким проплавлением применяют электроды типов ОЗС-2, ОЗС-6, СМ-17 и др. Сварка таким методом не требует высокой квалификации.

Сварка пучком электродов. Два или несколько электродов с качественным покрытием связывают в двух-трех местах по длине тонкой проволокой, а оголенные от покрытия концы прихватывают сваркой. Через электрододержатель ток подводится одновременно ко всем электродам. Дуга возбуждается на том электроде, который ближе к свариваемому изделию. По мере проплавления дуга переходит от одного электрода к другому. При таком методе электрод нагревается значительно меньше, что позволяет работать при больших токах. Например, при трех электродах диаметром 3 мм допустимый сварочный ток достигает 300 А. Потери металла на угар и разбрызгивание не возрастают, при этом производительность сварки повышается в 1,5—2 раза. Коэффициент наплавки электродов увеличивается, так как стержни электродов все время подогреваются теплотой дуги.

В применении этого метода есть одна особенность: пучком электродов невозможно обеспечить хороший провар корня разделки шва. Поэтому приходится предварительно одиночным электродом проваривать корень разделки, а затем уже производить сварку шва пучком электродов. Этот метод дает высокую производительность при наплавочных работах.

Сварка трехфазной дугой (рис. 44). Сварка осуществляется двумя электродами, изолированными друг от друга. К электрододержателю подводятся две фазы источника тока,

а третья фаза подводится к свариваемому изделию. Возбуждаются и одновременно горят три сварочные дуги: по одной между каждым электродом и изделием и третья между электродами. Такая схема значительно повышает устойчивость горения дуги, улучшает степень использования теплоты дуги и позволяет снизить напряжение холостого хода.

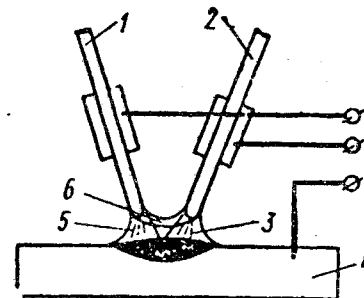


Рис. 44. Сварка трехфазной дугой: 1, 2 — плавящиеся электроды; 3, 5, 6 — сварочные дуги; 4 — основной металл

При сварке трехфазной дугой применяют также следующие схемы: сварку двумя одинарными электрододержателями; сварку одним одинарным электрододержателем и вторым электродом, уложенным в разделку шва, но изолированно от свариваемого изделия; сварку пучком электродов, из которых только два токоведущие, а остальные холостые (т. е. не включены в сварочную цепь и расплавляются от теплоты дуги). Сварка трехфазной дугой применима при любых соединениях в нижнем и наклонном положениях. Такой метод особенно рекомендуют для сварки в нижнем положении и «в лодочку» угловых и тавровых соединений.

Сварка ванным способом. Ванный способ применяют при сварке стыков арматуры железобетонных конструкций. Сущность способа заключается в следующем: к стержням

арматуры в месте стыка приваривают стальную форму, в которой теплотой дуги создают ванну расплавленного металла, непрерывно подогреваемую дугой. От теплоты металла ванны плавятся торцы свариваемых стержней, образуется общая ванна металла шва и затем при остывании — сварное соединение. При сварке вертикальных швов в качестве формующей детали применяют штампованную форму из листовой стали, которую приваривают к нижнему стержню. Затем прихватывают конец верхнего стержня к нижнему и переходят к заполнению формы наплавляемым металлом. Для выпуска шлака прожигают электродом отверстия в стенке формы, которые затем заваривают. Процесс сварки ведут при больших токах. Например, для электродов диаметром 5—6 мм значение сварочного тока достигает 400—450 А. Сварку при низких температурах выполняют током выше установленного на 10—12%. Зазор между торцами свариваемых стержней должен быть не менее удвоенного диаметра электрода. Сварку можно выполнять одним или несколькими электродами одновременно. Рекомендуется применять электроды марки УОНИИ-13/55 (типа Э50А). Ванный способ значительно уменьшает расход электродов и электроэнергии, снижает трудоемкость.

§ 22. Деформации и напряжения при сварке

Сварочные деформации и напряжения снижают механическую прочность сварных конструкций. Для получения сварных конструкций высокой прочности необходимо прежде всего выбрать наиболее рациональное размещение сварных швов, сочетая его с оптимальной технологией выполнения. Количество сварных швов, их протяженность и сечение должны быть минимальными в соответствии с прочностным расчетом конструкций. Не рекомендуются пере-

крещивающиеся швы. Симметричное расположение швов значительно снижает деформацию конструкции. Стыковые швы более желательны, чем угловые.

Основными причинами возникновения сварочных деформаций и напряжений являются неравномерное нагревание и охлаждение изделия, литейная усадка наплавленного металла и структурные превращения в металле шва.

Неравномерное нагревание и охлаждение вызывают тепловые напряжения и деформации. При сварке происходит местный нагрев небольшого объема металла, который при расширении воздействует на близлежащие менее нагретые слои металла. Напряжения, возникающие при этом, зависят главным образом от температуры нагрева, коэффициента линейного расширения и теплопроводности свариваемого металла. Чем выше температура нагрева, а также чем больше коэффициент линейного расширения и ниже теплопроводность металла, тем больше тепловые напряжения и деформации в свариваемом шве.

Литейная усадка вызывает напряжения в сварном шве в связи с тем, что при охлаждении объем наплавленного металла уменьшается. Вследствие этого в близлежащих слоях металла возникают растягивающие усилия, являющиеся причиной образования напряжений и деформаций в металле. При этом чем меньше количество расплавленного металла, тем меньше значения возникающих напряжений и деформаций.

Структурные превращения вызывают растягивающие и сжимающие напряжения в связи с тем, что они в некоторых случаях сопровождаются изменениями объема свариваемого металла. Например, у углеродистых сталей при нагреве происходит образование аустенита из феррита. Этот процесс сопровождается некоторым уменьшением объема. При больших скоростях охлаждения металла шва у высокоуглеродистых сталей аустенит образует структуру менее

плотную, чем аустенит. Это сопровождается увеличением объема наплавленного металла. При сварке низкоуглеродистой стали напряжения, возникающие от структурных превращений, небольшие и практического значения не имеют. Стали, содержащие более 0,35% углерода, и большинство склонных к закалке легированных сталей дают значительные объемные изменения от структурных превращений. Вследствие этого развиваемые напряжения оказываются недостаточными для возникновения трещин.

Для уменьшения внутренних напряжений и деформаций, возникающих при сварке, рекомендуется ряд технологических мер и приемов наложения сварных швов. Важное значение имеют правильный выбор конструкции изделия, расположение сварных швов, последовательность их выполнения и режимы сварки.

Уменьшения внутренних напряжений достигают следующими мерами. Длинные швы выполняют обратноступенчатым способом на проход. Многослойная сварка выполняется каскадным способом или горкой. При этом хорошие результаты дает послыйная проковка шва (кроме первого и последнего слоя). Швы накладывают с таким расчетом, чтобы последующий шов вызывал деформации, обратные возникшим от предыдущего шва. Последовательность выполнения швов должна допускать свободную деформацию элементов конструкций. Например, при сварке настила из нескольких листов следует в первую очередь выполнить швы, соединяющие листы полос, и лишь затем швы, соединяющие эти полосы между собой.

Для вязких металлов могут быть рекомендованы способы сварки, значительно снижающие остаточные деформации. Например, таким способом является закрепление элементов свариваемой конструкции в сборно-сварочных приспособлениях (сборка, сварка и остывание изделия). Широко применяется на практике способ, заключающийся в

интенсивном отводе теплоты. Например, частичным погружением изделия в воду, охлаждением струей воды, применением отводящих теплоту медных подкладок.

У сталей, склонных к образованию закалочных структур, резкое охлаждение шва и околошовной зоны вызывает значительные внутренние напряжения и даже появление трещин в наплавленном металле. Для уменьшения разности температур в изделии и обеспечения медленного охлаждения применяют предварительный подогрев изделия. При сварке в условиях низких температур такой подогрев обязателен даже для низкоуглеродистых сталей.

Для снятия внутренних напряжений иногда применяют термическую обработку сварных изделий, главным образом отжиг или нормализацию. Отжиг бывает полный или низкотемпературный. Полный отжиг заключается в нагреве изделия до температуры 800—950°C, выдержке при этой температуре и последующем медленном охлаждении. В результате такой обработки пластичность и вязкость наплавленного металла и металла зоны термического влияния возрастают, а твердость металла снижается. При этом в сварном изделии полностью снимаются внутренние напряжения. Низкотемпературный отжиг (или высокий отпуск) заключается в нагреве сварного изделия до температуры 600—650°C, выдержке при этой температуре и последующем охлаждении. Так как температура нагрева ниже критической, то структурных изменений в металле не происходит. При меньших температурах нагрева сварочные напряжения снимаются частично.

Нормализация производится нагревом изделия до температуры на 30—40°C выше критической, выдержкой при этой температуре и охлаждением на воздухе (т.е. с несколько большей скоростью, чем при отжиге). Такая обработка является наилучшей для сварных изделий, так как не только снимает внутренние напряжения, но и позволяет полу-

чить мелкозернистую структуру металла. Особенно следует рекомендовать нормализацию для сварных изделий из низкоуглеродистых сталей, содержащих углерода менее 0,25%.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется режимом сварки?
2. В зависимости от чего выбирают диаметр электрода?
3. Как выбирают значение сварочного тока?
4. Какими приемами возбуждают сварочную дугу?
5. Как длина дуги влияет на качество сварки?
6. Как выполняются вертикальные швы?
7. В чем сложность выполнения потолочных швов и как их делают?
8. Как выполняют сварочные швы в зависимости от их протяженности?
9. В чем особенность сварки при низких температурах?
10. Назовите причины сварочных деформаций.

..... Глава 8

ГАЗОВАЯ СВАРКА И РЕЗКА И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НЕЕ



§ 23. Оборудование и аппаратура для газовой сварки

Газовой сваркой называется сварка плавлением, при которой нагрев кромок соединяемых частей и присадочного материала производится теплотой сгорания горючих газов в кислороде.

Газовая сварка классифицируется по виду применяемого горючего газа (ацетиленокислородная, керосинокислородная, бензинокислородная, пропанобутанокислородная и др.). Широкое применение получили газовые сварки ацетиленокислородная и пропанобутанокислородная. Для производства работ сварочные посты должны иметь следующее оборудование и инвентарь (рис. 45): ацетиленовый генератор или баллон с горючим газом, кислородный баллон, редукторы (кислородный и для горючего газа), сварочную горелку с набором сменных наконечников, шланги

для подачи горючего газа и кислорода в горелку, сварочный стол, приспособления для сборки изделий под сварку, комплект инструментов.

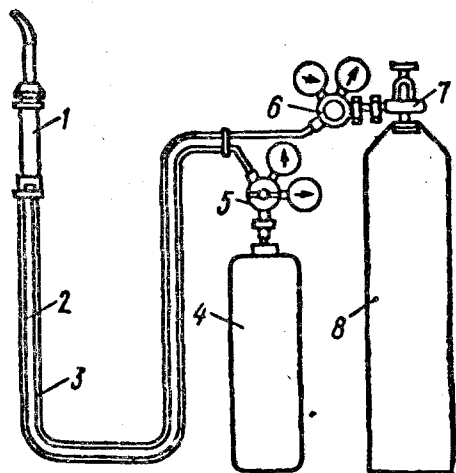


Рис. 45. Оборудование поста для газовой сварки: 1 — горелка; 2 — шланг для подвода ацетилена; 3 — шланг для подвода кислорода; 4 — ацетиленовый баллон; 5 — ацетиленовый редуктор; 6 — кислородный редуктор; 7 — кислородный вентиль; 8 — кислородный баллон

Ацетиленовый генератор — аппарат, предназначенный для получения ацетилена при взаимодействии карбида кальция с водой.

Ацетиленовые генераторы (рис.46) различают по следующим признакам:

- по давлению получаемого ацетилена — генераторы низкого давления (до 0,02 МПа) и среднего давления (0,01—0,15 МПа);
- по производительности — генераторы дают 0,3—640 м³/ч ацетилена (чаще применяют генераторы производительностью 1,25 м³/ч);

- по способу установки — передвижные и стационарные;
- по принципу взаимодействия карбида кальция с водой — работающие по принципу «карбид в воду» (КВ), «вода в карбид» (ВК), «вытеснение воды» (ВВ), комбинированные.

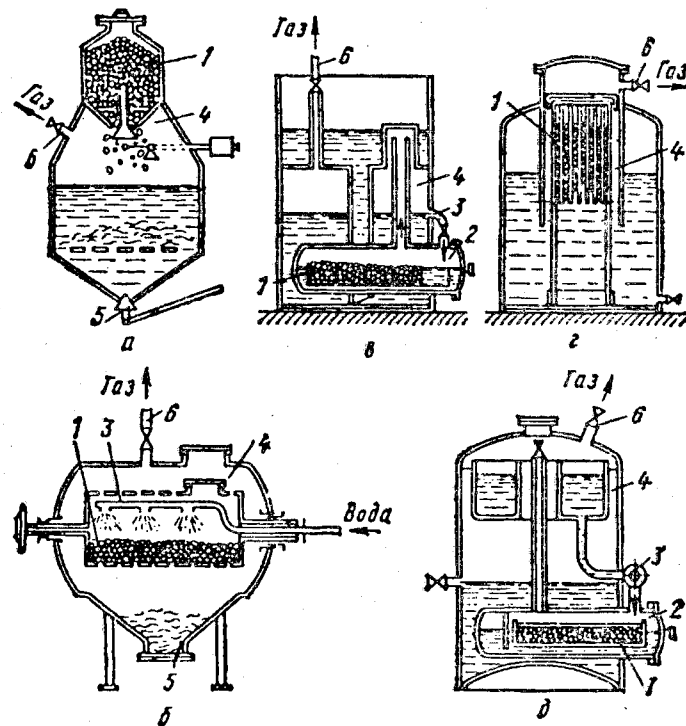


Рис. 46. Схемы ацетиленовых генераторов: а — «карбид в воду»; б — «вода в карбид»; в — «вытеснение»; г, д — комбинированные системы; 1 — бункер или барабан с карбидом кальция; 2 — реторта; 3 — система подачи воды; 4 — газосборник; 5 — спуск ила; 6 — отбор газа

Принцип КВ предусматривает периодическую подачу в воду карбида кальция. При этом достигается наибольший выход ацетилена — до 95%.

Принцип ВК осуществляется периодической подачей порций воды в загрузочное устройство, куда заранее насыпается карбид кальция.

Комбинированный принцип предусматривает периодическое соприкосновение и взаимодействие карбида кальция с водой. Применяют два варианта: «вытеснение воды» (для разобщения воды и карбида кальция) и «погружение карбида» (для получения контакта воды с карбидом кальция). Этот принцип осуществляется автоматически и широко используется в передвижных генераторах, но по сравнению с другими дает наименьший выход ацетилена.

Принцип ВВ предусматривает разложение карбида кальция при соприкосновении его с водой в зависимости от уровня воды, находящейся в реакционном пространстве и вытесняемой образующимся газом.

Все ацетиленовые генераторы независимо от их системы имеют следующие основные части: газообразователь, газосборник, предохранительный затвор, автоматическую регулировку вырабатываемого ацетилена в зависимости от его потребления.

Рассмотрим принцип работы однопостового передвижного морозоустойчивого ацетиленового генератора низкого давления типа АНВ-1,25, работающего по принципу «вода в карбид» в сочетании с процессом «вытеснения воды». Производительность этого генератора составляет 1,25 м³/ч, максимальное давление равно 0,01 МПа.

Цилиндрический корпус генератора разделен горизонтальной перегородкой на две части: водосборник и газосборник. В нижнюю часть газосборника вварена реторта, в которую вставляется загрузочная корзина с карбидом. Реторта плотно закрывается крышкой на резиновой проклад-

ке. Через верхнюю открытую часть корпуса генератор заполняется водой до отметки уровня. При открывании крана вода из корпуса поступает в реторту и взаимодействует с карбидом. Выделяющийся ацетилен собирается под перегородкой в газосборнике и затем через осушитель и водяной затвор поступает в сварочную горелку или резак.

При установленном режиме давление ацетилена сохраняется почти постоянным. При уменьшении расхода газа давление в газосборнике повышается, и часть воды вытесняется из реторты в конусообразный сосуд-вытеснитель. Уровень воды в корпусе опускается ниже уровня крана для подачи воды, и ее поступление в реторту прекращается, газовыделение замедляется. По мере расходования ацетилена давление понижается, уровень воды в корпусе повышается и вода снова поступает в реторту. Так автоматически регулируется процесс взаимодействия карбида с водой и выделение ацетилена в зависимости от его расхода.

В зимних условиях при температуре до -25°C генератор работает нормально, так как его водоподающая система расположена внутри корпуса, где вода нагревается теплотой реакции взаимодействия воды с карбидом кальция. Водяной затвор устанавливается также внутри корпуса в циркуляционной трубе. Летом водяной затвор монтируется на корпусе генератора снаружи. Осушитель на зиму направляется в нижней половине, как обычно, коксом, а в верхней — карбидом. Генераторы типов АНВ-1,25—68 и АНВ-1,25—73 отличаются конструкцией загрузочной корзины и расположением крана подачи воды.

Стационарные ацетиленовые генераторы типа ГРК-10—68 производительностью 10 м³/ч и рабочим давлением 0,07 МПа, а также генераторы АСК-1—67, АСК-3—74 и АСК-4—74 служат для питания ацетиленом нескольких сварочных постов. Каждый пост должен быть обязательно оборудован предохранительным затвором.

Ацетилен поставляется к сварочному посту либо по трубопроводу, либо в ацетиленовых баллонах вместимостью 40 л, в которых при максимальном давлении 1,9 МПа содержится около 5,5 м³ ацетилена. Для обеспечения безопасного хранения и транспортирования ацетилена баллоны заполняют пористым активированным углем, а для увеличения количества ацетилена в баллоне активированную пористую массу пропитывают растворителем — ацетоном (один объем ацетона растворяет 23 объема ацетилена). Баллон окрашен в белый цвет и на нем сделана надпись «Ацетилен».

Предохранительные затворы — это устройства, предохраняющие ацетиленовые генераторы и газопроводы от попадания в них взрывной волны при обратных ударах пламени из сварочной горелки или резака. Обратным ударом называют воспламенение горючей смеси в каналах горелки или резака и распространение пламени по шлангу горючего газа. При отсутствии предохранительного затвора пламя может попасть в ацетиленовый генератор и вызвать его взрыв. Обратный удар бывает, если скорость истечения горючей смеси станет меньше ее сгорания, а также от перегрева и засорения мундштука горелки.

Предохранительные затворы бывают жидкостные и сухие. Жидкостные заливают водой, сухие заполняют мелкопористой металлокерамической массой. Затворы классифицируют:

- по пропускной способности — 0,8; 1,25; 2,0; 3,2 м³/ч;
- по предельному давлению — низкого давления, в которых предельное давление ацетилена не превышает 10 кПа, среднего давления — 70 и высокого давления — 150 кПа.

Предохранительные затворы устанавливают между ацетиленовым генератором или ацетиленопроводом при мно-

гопостовом питании от стационарных генераторов и горелкой или резаком.

Принцип действия водяного затвора (рис. 47) следующий.

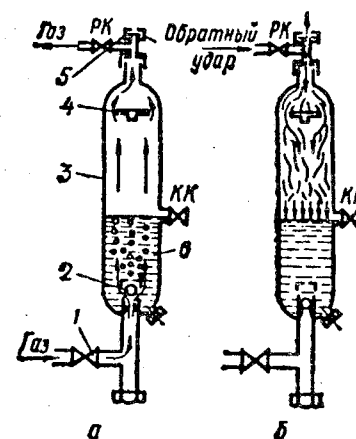


Рис. 47. Схема водяного затвора: а — при нормальной работе; б — при обратном ударе

Корпус 3 затвора заполняется водой до уровня контрольного крана КК. Ацетилен поступает по трубке 1, проходит через обратный клапан 2 в нижней части корпуса. В верхнюю часть корпуса газ поступает через отражатель 4. Ацетилен отводится к месту потребления через расходный кран РК. В верхней части корпуса есть трубка, закрытая мембраной 5 из алюминиевой фольги. При обратном ударе мембрана разрывается, и взрывная смесь выходит наружу. Давление взрыва через воду б передается на клапан 2, который закрывает подвод газа от генератора. После выхода взрывной смеси мембрану надо заменить.

Сухие предохранительные затворы (ЗСУ-1) обладают рядом преимуществ: имеют меньшие размеры, массу, прак-

тически не требуют ежедневного ухода и контроля, не увлажняют газ и позволяют работать при отрицательных температурах окружающего воздуха. Их можно устанавливать в любом положении.

Кислород подается к посту сварки либо от кислородной рампы, либо от кислородного баллона вместимостью 40 л, в котором при максимальном давлении 15,15 МПа содержится 6 м³ кислорода. Баллон окрашен в голубой цвет и имеет черную надпись «Кислород».

Баллон для газов (горючего и кислорода) изготавливают из стальных бесшовных труб. Он представляет собой цилиндрический сосуд с выпуклым днищем и узкой горловиной. Для придания баллону устойчивости в рабочем (вертикальном) положении на его нижнюю часть напрессован башмак с квадратным основанием. Горловина баллона имеет конусное отверстие с резьбой, куда ввертывается запорный вентиль — устройство, позволяющее наполнять баллон газом и регулировать его расход.

Для различных газов принята определенная конструкция вентиля. Различная резьба хвостовика исключает возможность установки на баллон не соответствующего ему вентиля. Вентиль кислородного баллона изготавливают из латуни, так как она обладает высокой коррозионной стойкостью в среде кислорода. Вентиль ацетиленового баллона изготавливают из стали, так как сплавы меди, содержащие более 70% меди, при контакте с ацетиленом образуют взрывоопасную ацетиленовую медь. На горловину баллона плотно насажено кольцо с наружной резьбой для навинчивания предохранительного колпака. Вентиль кислородного баллона используется также для баллонов с азотом, аргонном и углекислым газом.

Редукторы служат для понижения давления газа, поступающего из баллона, до рабочего давления газа (пода-

ваемого через шланг в горелку) и для поддержания давления постоянным в процессе сварки.

Применяются различные типы редукторов. Рассмотрим принцип действия однокамерного редуктора. Газ из баллона проходит в камеру высокого давления. При нерабочем положении частей редуктора проход газа из камеры высокого давления в камеру низкого давления закрыт клапаном. При ввертывании регулировочного винта в крышку корпуса пружина-штифт открывает клапан, соединяя камеру высокого давления с камерой низкого давления. Газ поступает до тех пор, пока давление его на мембрану не уравновесит усилие нажимной пружины. В этом положении расход и поступление газа будут равны. Если расход газа уменьшается, то давление в камере повышается, клапан закрывает отверстие, и поступление газа в камеру прекратится. При увеличении расхода газа давление в камере понижается, мембрана отжимает клапан от седла, и тем самым увеличивается поступление газа из баллона. Так автоматически поддерживается постоянное давление газа, подаваемого в горелку.

Кислородный баллонный редуктор типа ДКП-1—65 предназначен для питания газом одного поста. Наибольшее допустимое давление газа на входе в редуктор — 20 МПа, наименьшее — 3 МПа. Рабочее давление — 0,1—1,5 МПа. При наибольшем рабочем давлении расход газа составляет 60 м³/ч, а при наименьшем — 7,5 м³/ч. Редуктор окрашен в голубой цвет и крепится к баллону с помощью накидной гайки. В настоящее время выпускают более совершенные редукторы типа ДКП-2—78 с той же технической характеристикой. Ацетиленовый баллонный редуктор типа ДАП-1—65 рассчитан на наибольшее давление на входе 3 МПа. Расход газа при наибольшем рабочем давлении 0,12 МПа составляет 5 м³/ч, а при наименьшем рабочем давлении

0,01 МПа — 3 м³/ч. Редуктор окрашен в белый цвет и крепится на баллоне с помощью хомутика.

Шланги (рукава) для кислорода и ацетилена стандартизованы. Предусмотрено три типа шлангов: для подачи ацетилена при рабочем давлении не более 0,6 МПа; для жидкого топлива (бензин, керосин) при рабочем давлении не более 0,6 МПа; для подачи кислорода при рабочем давлении не более 1,5 МПа. Рукава состоят из внутреннего резинового слоя (камеры), нитяной оплетки и наружного резинового слоя.

Наружный слой ацетиленовых рукавов — красного цвета, рукавов для жидкого топлива — желтого, кислородных — синего. Длина шланга при работе от баллона должна быть не менее 8 м, а при работе от генератора — не менее 10 м; наибольшая допустимая длина — 40 м.

Крепление рукавов на ниппелях горелок и между собой осуществляется специальными хомутиками или мягкой отожженной проволокой.

Сварочная горелка предназначена для смешивания горючего газа или паров горючей жидкости с кислородом и получения устойчивого сварочного пламени требуемой мощности.

Горелки классифицируются:

- по способу подачи горючего в смесительную камеру — инжекторные и безынжекторные (рис. 48);
- по назначению — универсальные (для сварки, наплавки, пайки, подогрева и других работ) и специализированные;
- по роду применяемого горючего;
- по числу рабочих пламени — однопламенные и многопламенные;
- по мощности, определяемой расходом ацетилена (л/ч), — микромощности (5—60), малой (25—700),

средней (50—2500) и большой мощностей (2500—7000);

- по способу применения — ручные и машинные.

Большое распространение получили ацетиленокислородные инжекторные горелки. Они работают по принципу подсоса горючего газа, давление которого может быть ниже 0,01 МПа, т. е. ниже минимальных давлений, установленных для подвижных ацетиленовых генераторов. Давление кислорода должно быть в пределах 0,15—0,5 МПа.

Безынжекторные горелки работают на горючем газе и кислороде, поступающих в смесительную камеру под одинаковым давлением в пределах 0,01—0,1 МПа, т. е. требуют питания горючим среднего давления. Для нормальной работы такой горелки в систему питания включают регулятор, обеспечивающий равенство рабочих давлений кислорода и горючего газа.

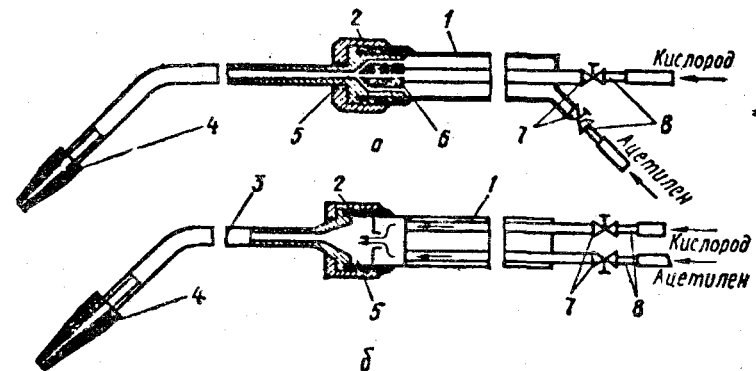


Рис. 48. Схемы ацетиленовых горелок: а — инжекторная; б — безынжекторная

Принцип действия ацетиленокислородной инжекторной горелки следующий. По шлангу и трубке к вентилю и через него в инжектор поступает кислород. Вытекая с боль-

шой скоростью из инжектора в смесительную камеру, струя кислорода создает разрежение, вызывающее подсос ацетилена. Ацетилен поступает по шлангу к соединительному ниппелю, а затем через корпус горелки и вентиль в смесительную камеру, где образует с кислородом горючую смесь. Полученная смесь по трубке наконечника поступает в мундштук и, выходя в атмосферу, при сгорании образует сварочное пламя.

Горелка состоит из ствола и комплекта сменных наконечников, присоединяемых к стволу накидной гайкой. Каждый наконечник обеспечивает соответствующую мощность пламени. Предусмотрены четыре типа горелок. Горелки Г1 микромощности предназначены для сварки металлов толщиной 0,1—0,5 мм. Горелки Г2 малой мощности применяют для сварки тонкостенных изделий (0,2—7 мм) и комплектуются наконечниками № 0—4. Горелки Г3 средней мощности служат для сварки металла толщиной 0,5—30 мм. В комплект горелки входит ствол и семь наконечников № 1—7. Горелки Г4 большой мощности предназначены для сварочных работ и огневой обработки изделий больших толщин (наконечники № 8 и № 9). Большое применение получили сварочные инжекторные горелки малой мощности «Звездочка», ГС-2, «Малютка» и средней мощности «Звезда», ГС-3 и «Москва».

Для использования заменителей ацетилена применяется горелка марки ГС-4А—67П, представляющая собой горелку ГС-4 с сетчатым наконечником. Сетчатые наконечники позволяют использовать в качестве горючего пропан-бутановые смеси, природный газ и другие заменители ацетилена. Кроме того, применяются пропан-бутановые горелки ГЗУ-2—62—1, односопловые наконечники которых имеют подогреватели и подогревающие камеры, и горелки марки ГЗУ-2—62-П, имеющие сетчатые наконечники без подогревающих устройств. Наконечники этих горелок крепятся на стволе горелок ГС-3, «Москва» или «Звезда». Для

малой мощности используют горелки марки ГЗМ-2—62М с односопловым наконечником меньших размеров и подогревающим устройством. Наконечники крепятся на стволе горелок ГС-2 «Малютка» или «Звездочка».

§ 24. Газы для сварки и резки металлов

К и с л о р о д при газовой сварке способствует интенсивному горению горючих газов и получению высокотемпературного пламени. При горении газов в воздухе температура пламени значительно ниже, чем при горении в кислороде. При газовой сварке применяют газообразный технический кислород трех сортов. Первый сорт характеризуется чистотой не ниже 99,7% по объему, второй сорт — не ниже 99,5%; а третий сорт — не ниже 99,2%.

Технический кислород содержит примеси, состоящие из азота и аргона. Следует учесть важное значение чистоты кислорода при сварке и резке металла. Снижение чистоты кислорода на 1% не только ухудшает качество сварного шва, но и требует увеличения расхода кислорода на 1,5%.

Кислород при атмосферном давлении и нормальной температуре представляет собой газ без цвета и запаха с плотностью 1,43 кг/м³. Его получают из воздуха методом низкотемпературной ректификации, основанном на разности температур кипения основных составляющих воздуха — азота (−195,8°С) и кислорода (−182,96°С). Воздух переводят в жидкое состояние и затем постепенным повышением температуры испаряют азот (78%). Оставшийся кислород (21%) очищают многократным процессом ректификации.

А ц е т и л е н в газосварочном производстве получил наибольшее распространение благодаря важным для сварки качествам — высокой температуре пламени, большой теплоте сгорания. Он представляет собой химическое со-

единение углерода с водородом (HC_2H_2). Это бесцветный газ с характерным запахом, обусловленным наличием примесей — сероводорода, фтористого водорода и др.

Ацетилен взрывоопасен при следующих условиях: при нагревании до $480\text{--}500^\circ\text{C}$, давлении $0,14\text{--}0,16$ МПа, при наличии $2,3\text{--}80,7\%$ ацетилена в смеси с воздухом, при наличии $2,8\text{--}93\%$ ацетилена в смеси с кислородом.

Ацетилен получают при взаимодействии карбида кальция с водой по реакции $\text{CaC}_2 + 3\text{H}_2\text{O} = \text{C}_2\text{H}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2$. Карбид кальция получают путем сплавления в электропечах кокса и обожженной извести: $\text{CaO} + 3\text{C} = \text{CaC}_2 + \text{CO}$. Карбид кальция очень активно вступает в реакцию с водой, реагируя даже с парами воды, насыщающими воздух. Поэтому его хранят и транспортируют в герметически закрытых стальных барабанах, содержащих $50\text{--}130$ кг карбида.

Из 1 кг карбида кальция в зависимости от сорта и грануляции получают $235\text{--}280$ л ацетилена. Следует иметь в виду, что мелкий и пылеобразный карбид кальция применять запрещается — он взрывоопасен. Для взаимодействия 1 кг карбида кальция теоретически необходимо $0,56$ л воды, практически берут $7\text{--}20$ л воды для обеспечения охлаждения ацетилена и безопасной работы генератора.

Водород — газ без цвета и запаха. В смеси с кислородом или воздухом он образует взрывчатую смесь (гремучий газ), поэтому требует строгого соблюдения правил техники безопасности. Водород хранится и транспортируется в стальных баллонах при максимальном давлении 15 МПа. Получают его электролизом воды или в специальных водородных генераторах путем воздействия серной кислотой на железную стружку или цинк.

Пиррольный газ — смесь газообразных продуктов термического разложения нефти, нефтепродуктов или мазута. Содержит вредные сернистые соединения, вызывающие коррозию мундштуков горелок и резаков, поэтому требует тщательной очистки.

Нефтяной газ — смесь горючих газов, являющихся побочным продуктом нефтеперерабатывающих заводов. Его применяют для сварки, резки и пайки сталей толщиной до 3 мм и сварки цветных металлов.

Природный газ получают из газовых месторождений. Он состоит в основном из метана ($93\text{--}99\%$).

Пропан-бутановую смесь получают при добыче и переработке естественных нефтяных газов и нефти. Хранят и транспортируют в сжиженном состоянии в баллонах вместимостью 40 и 55 л под давлением $1,6\text{--}1,7$ МПа. Жидкой смесью заполняют только половину баллона, так как при нагреве значительное повышение давления может привести к взрыву.

Бензин и керосин используют при газопламенной обработке в виде паров. Для этой цели горелки и резаки имеют специальные испарители, которые нагреваются от вспомогательного пламени или электрическим током.

§ 25. Сварочное пламя

Сварочное пламя образуется при сгорании смеси горючего газа (или паров горючей жидкости) с кислородом. Свойства сварочного пламени зависят от того, какое горючее подается в горелку и при каком соотношении кислорода и горючего создается газовая смесь. Изменяя количество подаваемого в горелку кислорода и горючего газа, можно получить нормальное, окислительное или науглероживающее сварочное пламя.

Нормальное, или восстановительное, пламя теоретически должно получаться при объемном отношении количества кислорода к ацетилену $1:1$. Практически вследствие загрязненности кислорода нормальное пламя получается при несколько большем количестве кислорода, т.е. при $1,1:1,3$. Нормальное пламя способствует раскислению ме-

талла сварочной ванны и получению качественного сварного шва. Поэтому большинство металлов и сплавов сваривают нормальным пламенем.

Нормальное ацетиленокислородное пламя (рис. 49) состоит из трех зон: ядра восстановительной зоны и факела. Форма ядра — конус с закругленной вершиной, имеющей светящуюся оболочку. Ядро состоит из продуктов распада ацетилена с выделившимися раскаленными частицами углерода, которые сгорают в наружном слое оболочки. Длина ядра зависит от скорости истечения горючей смеси из мундштука горелки. Чем больше давление газовой смеси, тем больше скорость истечения, тем длиннее ядро пламени.

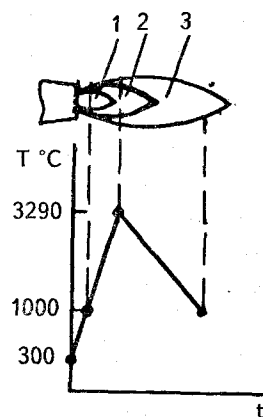


Рис. 49. Схема нормального ацетиленокислородного пламени и распределения температур: 1 — ядро; 2 — восстановительная зона; 3 — факел

Восстановительная зона по своему темному цвету заметно отличается от ядра. Она состоит в основном из оксида углерода и водорода, получающихся в результате частичного сгорания ацетилена. В этой зоне создается наивысшая температура

тура пламени — 3000°C на расстоянии 3—5 мм от конца ядра. Этой частью пламени производят нагревание и расплавление свариваемого металла. Находящиеся в этой зоне частицы оксида углерода и водорода могут восстанавливать образующиеся оксиды металлов.

Факел располагается за восстановительной зоной и состоит из углекислого газа и паров воды, которые получаются в результате сгорания оксида углерода и водорода, поступающих из восстановительной зоны. Сгорание происходит за счет кислорода, содержащегося в окружающем воздухе. Зона факела также содержит азот, попадающий из воздуха.

Окислительное пламя получается при избытке кислорода. Ядро такого пламени значительно короче по длине с недостаточно резким очертанием и более бледной окраской. Восстановительная зона и факел пламени также сокращаются по длине. Пламя имеет синевато-фиолетовую окраску. Температура пламени несколько выше нормальной. Однако таким пламенем сваривать стали нельзя, так как наличие в пламени избыточного кислорода приводит к окислению расплавленного металла шва и он получается хрупким и пористым.

Науглероживающее пламя получается при избытке ацетилена. Ядро такого пламени теряет резкость своего очертания, и на его вершине появляется зеленоватый ореол, свидетельствующий о наличии избыточного ацетилена. Восстановительная зона значительно светлеет, а факел получает желтоватую окраску. Очертания зон теряют свою резкость. Избыточный ацетилен разлагается на углерод и водород. Углерод легко поглощается расплавленным металлом шва. Поэтому таким пламенем пользуются для науглероживания металла шва или восполнения выгорания углерода.

Регулирование сварочного пламени производится по его форме и окраске. Важное значение имеет правильный вы-

бор давления кислорода, его соответствие паспорту горелки и номеру наконечника. При высоком давлении кислорода смесь вытекает с большой скоростью, пламя отрывается от мундштука, происходит выдувание расплавленного металла из сварочной ванны. При недостаточном давлении кислорода скорость истечения горючей смеси падает, пламя укорачивается, и возникает опасность обратных ударов. Нормальное пламя можно получить из окислительного, постепенно увеличивая поступление ацетилена до образования яркого и четкого ядра пламени. Можно отрегулировать нормальное пламя и из науглероживающего, убавляя подачу ацетилена до исчезновения зеленоватого ореола у вершины ядра пламени. Характер пламени выбирают в зависимости от свариваемого металла. Например, при сварке чугуна и наплавке твердых сплавов применяют науглероживающее пламя, а при сварке латуни — окислительное.

Важным показателем сварочного пламени является тепловая мощность. Мощность пламени принято определять расходом ацетилена (л/ч), а удельной мощностью пламени называют часовой расход ацетилена в литрах, приходящийся на 1 мм толщины свариваемого металла. Потребная мощность пламени зависит от толщины свариваемого металла и его теплопроводности. Например, при сварке углеродистых и низколегированных сталей, чугуна, сплавов меди и алюминия удельная мощность пламени составляет 80—150 л/(ч·мм), а при сварке меди, обладающей высокой теплопроводностью, удельную мощность выбирают в пределах 150—220 л/(ч·мм).

§ 26. Техника газовой сварки

Качество сварного соединения зависит от правильного выбора режима и техники выполнения сварки.

При ручной сварке пламя горелки направляют на сва-

риваемые кромки так, чтобы они находились в восстановительной зоне на расстоянии 2—6 мм от конца ядра. Конец присадочной проволоки держат в восстановительной зоне или в сварочной ванне.

Положение горелки (рис. 50) — угол наклона мундштука к поверхности свариваемого металла — зависит от толщины соединяемых кромок изделия и теплопроводности металла. Чем толще металл и чем больше его теплопроводность, тем угол наклона мундштука горелки должен быть больше. Это способствует более концентрированному нагреву металла вследствие подведения большего количества теплоты. При сварке низкоуглеродистой стали вначале для быстрого и лучшего прогрева металла устанавливают наибольший угол наклона, затем в процессе сварки угол уменьшают до нормы, а в конце сварки постепенно уменьшают, чтобы лучше заполнить кратер и предупредить пережог металла.

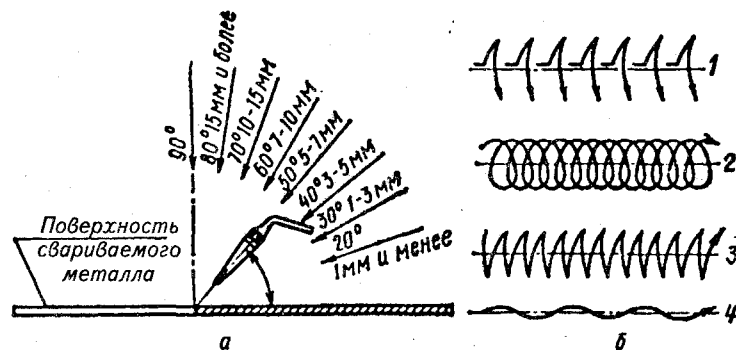


Рис. 50. Углы наклона мундштука горелки при сварке различных толщин — а и способы перемещения мундштука горелки — б: 1 — с отрывом горелки; 2 — спиралеобразный; 3 — полумесяцем; 4 — волнистый

Различают два основных способа газовой сварки (рис. 51): правый и левый. При правом способе процесс сварки ведет-

ся слева направо. Горелка 3 перемещается впереди присадочного прутка 2, а пламя 4 направлено на формирующийся шов. Этим обеспечивается хорошая защита сварочной ванны от воздействия атмосферного воздуха и замедленное охлаждение сварного шва. Такой способ позволяет получать швы высокого качества. При левом способе процесс сварки производится справа налево. Горелка перемещается за присадочным прутком, а пламя направляется на несваренные кромки и подогревает их, подготавливая к сварке. Правый способ применяют при сварке металла толщиной более 5 мм. Пламя горелки при этом способе ограничено с двух сторон кромками изделия, а спереди наплавленным валиком, что значительно уменьшает рассеивание теплоты и повышает степень его использования. Однако при левом способе внешний вид шва лучше, так как сварщик отчетливо видит шов и поэтому может получить его равномерную высоту и ширину. Это особенно важно при сварке тонких листов. Поэтому тонкий металл сваривают левым способом. Кроме того, при левом способе пламя свободно растекается по поверхности металла, что снижает опасность его пережога.

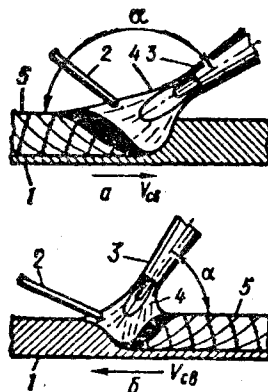


Рис. 51. Схема газовой сварки: а — правым способом; б — левым

Способ сварки зависит также от пространственного положения шва. Нижние швы выполняют как левым, так и правым способом в зависимости от толщины металла. Вертикальные швы при толщине металла до 2 мм рекомендуются сваривать правым способом сверху вниз и левым способом снизу вверх. При больших толщинах металла сварку следует выполнять способом двойного валика. Горизонтальные швы выполняют правым способом: пламя горелки направляют на заваренный шов, а присадочный пруток вводят сверху в сварочную ванну, расположенную под некоторым углом к оси шва. Эти меры предупреждают вытекание расплавленного металла. Потолочные швы легче сваривать правым способом, так как в этом случае газовый поток пламени направлен непосредственно на шов и тем самым препятствует вытеканию металла из сварочной ванны.

В процессе сварки мундштук горелки и присадочный пруток совершают одновременно два движения: одно — вдоль оси свариваемого шва и второе — колебательные движения поперек оси шва. При этом конец присадочного прутка движется в направлении, обратном движению мундштука.

Для получения сварного шва с высокими механическими свойствами необходимо хорошо подготовить свариваемые кромки, правильно подобрать мощность горелки, отрегулировать сварочное пламя, выбрать присадочный материал, установить положение горелки и направление перемещения ее по свариваемому шву.

Подготовка кромок заключается в очистке их от масла, окалины и других загрязнений, разделке под сварку и прихвате короткими швами.

Свариваемые кромки очищают на ширину 20—30 мм с каждой стороны шва. Для этой цели можно использовать пламя сварочной горелки. При нагреве окалина отстает от металла, а краска и масло выгорают. Затем поверхность

свариваемых деталей зачищают стальной щеткой до металлического блеска. При необходимости (например, при сварке алюминия) свариваемые кромки протравливают в кислоте, а затем промывают и сушат.

Разделка кромок под сварку зависит от типа сварного соединения, который, в свою очередь, зависит от взаимного расположения свариваемых деталей.

Стыковые соединения являются для газовой сварки наиболее распространенным типом соединений. Металлы толщиной до 2 мм сваривают встык с отбортовкой кромок без присадочного материала или встык без разделки и без зазора, но с присадочным материалом. Металл толщиной 2—5 мм сваривают встык без разделки кромок, но с зазором между ними. При сварке металла толщиной более 5 мм применяют V-образную или X-образную разделку кромок. Угол скоса выбирают в пределах 70—90°, что обеспечивает хороший провар вершины шва.

Угловые соединения также часто применяются при сварке металлов малой толщины. Такие соединения сваривают без присадочного металла. Шов выполняется за счет расплавления кромок свариваемых деталей.

Нахлесточные и тавровые соединения допустимы только при сварке металла толщиной менее 3 мм, так как при больших толщинах металла неравномерный местный нагрев вызывает большие внутренние напряжения и деформации и даже трещины в шве и основном металле.

Скос кромок производят ручным или пневматическим зубилом, а также на специальных кромкострогальных или фрезерных станках. Экономичным способом является ручная или механизированная кислородная резка. При этом образующиеся шлаки и окалину удаляют зубилом и металлической щеткой.

Сборка под сварку производится в специальных приспособлениях или на прихватках, обеспечивающих точность

положения свариваемых деталей и зазора между кромками в течение всего процесса сварки. Длина прихваток, их число и расстояние между ними зависят от толщины металла, длины и конфигурации свариваемого шва. При сварке тонкого металла и коротких швах длина прихваток составляет 5—7 мм, а расстояние между прихватками около 70—100 мм. При сварке толстого металла и при швах значительной длины прихватки делают длиной 20—30 мм, а расстояние между ними — 300—500 мм.

Основные параметры режима сварки выбирают в зависимости от свариваемого металла, его толщины и типа изделия. Определяют потребную мощность и вид пламени, марку и диаметр присадочной проволоки, способ и технику сварки. Швы бывают однослойные и многослойные. При толщине металла до 6—8 мм применяют однослойные швы, до 10 мм — швы выполняют в два слоя, а при толщине металла 10 мм швы сваривают в три слоя и более. Толщина слоя при многослойной сварке зависит от размеров шва, толщины металла и составляет 3—7 мм. Перед наложением очередного слоя поверхность предыдущего слоя должна быть хорошо очищена металлической щеткой. Сварку производят поочередно короткими участками. При этом стыки валиков в слоях не должны совпадать. При многослойной сварке зона нагрева меньше, чем при однослойной. В процессе сварки при наплавке очередного слоя происходит отжиг нижележащих слоев. Каждый слой можно также подвергнуть проковке. Все эти условия позволяют получить сварной шов высокого качества, что очень важно при сварке ответственных конструкций. Однако следует учесть, что производительность сварки снижается и при этом рекомендуется больше горючего газа.

Низкоуглеродистые стали сваривают газовой сваркой без особых затруднений. Сварка выполняется нормальным пламенем. Присадочным материалом служит сварочная

проволока. Ответственные сварные узлы и конструкции из низкоуглеродистой стали выполняют с применением низколегированной проволоки. Наилучшие результаты дают кремнемарганцовистая и марганцовистая проволоки марок Св-08ГА, Св-10Г2, Св-08ГС, Св-08Г2С. Они позволяют получить сварной шов с высокими механическими свойствами.

Среднеуглеродистые стали свариваются удовлетворительно, однако при сварке возможно образование в сварном шве и зоне термического влияния закалочных структур и трещин. Сварку выполняют слегка науглероживающим пламенем, так как даже при небольшом избытке в пламени кислорода происходит существенное выгорание углерода. Удельная мощность пламени должна быть в пределах 80—100 л/(ч·мм). Рекомендуется левый способ сварки, чтобы снизить перегрев металла. При толщине металла более 3 мм следует проводить предварительный общий подогрев детали до 250—300°C или местный нагрев до 650—700°C. Присадочным материалом служат марки сварочной проволоки, указанные для малоуглеродистой стали, и проволока марки Св-12ГС.

При определении мощности пламени следует иметь в виду, что при сварке правым способом удельная мощность должна быть повышена на 20—25%. Увеличение мощности пламени повышает производительность сварки, однако при этом возрастает опасность пережога металла.

Диаметр присадочной проволоки d (мм) при сварке металла толщиной до 15 мм левым способом определяют по формуле: $d = (s/2) + 1$, где s — толщина свариваемой стали, мм.

При правом способе диаметр проволоки берут равным половине толщины свариваемого металла. При сварке металла толщиной более 15 мм применяют проволоку диаметром 6—8 мм.

После сварки можно рекомендовать проковку металла шва в горячем состоянии и затем нормализацию с температуры 800—900°C. При этом металл приобретает достаточную пластичность и мелкозернистую структуру.

§ 27. Сущность процесса кислородной резки

Кислородная резка (рис. 52) основана на свойстве металлов и их сплавов сгорать в струе технически чистого кислорода. Резке поддаются металлы, удовлетворяющие следующим требованиям:

- температура плавления металла должна быть выше температуры воспламенения его в кислороде. Металл, не отвечающий этому требованию, плавится, а не сгорает. Например, низкоуглеродистая сталь имеет температуру плавления около 1500°C, а воспламеняется в кислороде при температуре 1300—1350°C. Увеличение содержания углерода в стали сопровождается понижением температуры плавления и повышением температуры воспламенения в кислороде. Поэтому резка стали с увеличением содержания углерода и примесей усложняется;
- температура плавления оксидов должна быть ниже температуры плавления самого металла, чтобы образующиеся оксиды легко выдувались и не препятствовали дальнейшему окислению и процессу резки. Например, при резке хромистых сталей образуются оксиды хрома с температурой плавления 2000°C, а при резке алюминия — оксиды с температурой плавления около 2050°C. Эти оксиды покрывают поверхность металла и прекращают дальнейший процесс резки;
- образующиеся при резке шлаки должны быть достаточно текучи и легко выдвигаться из разреза. Туго-

плавкие и вязкие шлаки будут препятствовать процессу резки;

- теплопроводность металла должна быть наименьшей, так как при высокой теплопроводности теплота, сообщаемая металлу, будет интенсивно отводиться от участка резки и подогреть металл до температуры воспламенения будет трудно;
- количество теплоты, выделяющейся при сгорании металла, должно быть возможно большим — она способствует нагреванию прилегающих участков металла и тем самым обеспечивает непрерывность процесса резки. Например, при резке низкоуглеродистой стали около 70% общего количества теплоты выделяется от сгорания металла в струе кислорода и только 30% составляет теплота от подогревающего пламени резака.

Различают два вида кислородной резки — разделительную и поверхностную.

Разделительную резку применяют для вырезки различного вида заготовок, раскроя листового металла, разделки кромок под сварку и других работ, связанных с разрезкой металла на части. Сущность процесса заключается в том, что металл вдоль линии разреза нагревают до температуры воспламенения его в кислороде, он сгорает в струе кислорода, а образующиеся оксиды выдуваются этой струей из места разреза.

Поверхностную резку (рис. 53) применяют для снятия поверхностного слоя металла, разделки каналов, удаления поверхностных дефектов и других работ. Резаки имеют большую длину и увеличенные сечения каналов для газов подогревающего пламени и режущего кислорода.

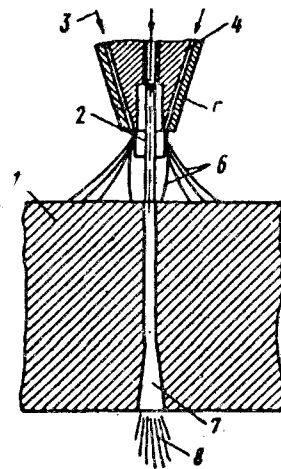


Рис. 52. Газокислородная резка: 1 — разрезаемый металл; 2 — струя режущего кислорода; 3 — горючая смесь; 4 — режущий мундштук; 5 — мундштук подогревающего пламени; 6 — подогревающее пламя; 7 — рез; 8 — шлаки

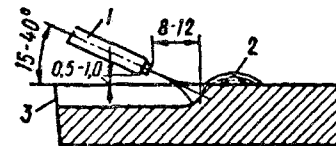


Рис. 53. Схема поверхностной резки: 1 — мундштук; 2 — шлак; 3 — канавка

Применяют два вида поверхностной резки — строжку и обточку. При строжке резак совершает возвратно-поступательное движение, как строгальный резец. При обточке резак работает как токарный резец. Наклон мундштука резака к поверхности металла в начале реза составляет $70-80^\circ$. После начала горения угол наклона плавно уменьшают до $15-20^\circ$. Уменьшение угла наклона увеличивает ширину и уменьшает глубину строжки.

§ 28. Оборудование для кислородной резки

Резаки классифицируют по назначению — универсальные и специальные; по принципу смешения газов — инжекторные и безынжекторные; по виду резки — разделительной и поверхностной резки; по применению — для ручной и машинной резки. Широкое применение получили универсальные инжекторные ручные резаки (рис. 54) для разделительной резки. Они отличаются от сварочных наличием отдельной трубки для подачи режущего кислорода и особым устройством головки, состоящей из двух сменных мундштуков: наружного для подогревающего пламени и внутреннего для струи чистого кислорода. Ацетилен подается по шлангу к ацетиленовому ниппелю, а кислород — к кислородному ниппелю. От ниппеля кислород идет по двум направлениям: одна часть кислорода, как в обычных сварочных горелках, поступает в инжектор и затем в смесительную камеру. Здесь образуется горючая смесь кислорода с ацетиленом, засасываемым через ниппель. Горючая смесь проходит по трубке, выходит через

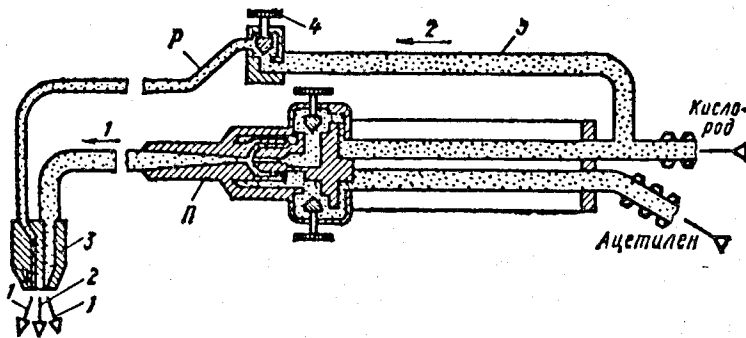


Рис. 54. Схема газокислородного резака: Р — режущая часть; П — подогревающая часть

кольцевой зазор между внутренним и наружным мундштуком и создает подогревательное пламя. Другая часть кислорода через трубки Р поступает в центральное отверстие внутреннего мундштука и образует струю режущего кислорода, сжигающую металл и выдувающую образующиеся оксиды из зоны резака.

Широкое применение получил ручной универсальный резак «Факел», являющийся улучшенной конструкцией резака «Пламя». Он имеет 5 внутренних и 2 наружных мундштука, позволяющих резать металл толщиной до 300 мм со скоростью 80—560 мм/мин. Для работы на газах — заменителях ацетилена используются резаки типа РЗР. Они отличаются большими размерами сечений инжекторов и мундштуков. Есть вставные сменные резаки, предназначенные для присоединения к стволам универсальных сварочных горелок — резак РГС-70 к горелкам типа «Звезда» и ГС-3, резак РГМ-70 — к горелкам типа «Звездочка» и ГС-2. Они незаменимы в строительном-монтажных условиях при частых переходах от сварки к резке и наоборот.

Для машинной резки применяют стационарные шарнирные машины АСШ-2 и АСШ-70. Вторая отличается более совершенным приводом и наличием пантографического устройства, позволяющего производить вырезку одновременно трех деталей. Толщина разрезаемого металла — 5—100 мм. Усовершенствованные машины типа АСШ-74 производят резку листового стали толщиной до 150 мм со скоростью 0,1—1,6 м/мин. Переносные машины представляют собой самоходные тележки, оснащенные резаком и перемещающиеся по разрезаемому металлу. Приводом служит электродвигатель, пружинный механизм или газовая турбина. Например, машина «Микрон-2» предназначена для механизированной кислородной

резки листовой низкоуглеродистой стали толщиной до 100 мм со скоростью до 4 м/мин.

§ 29. Техника резки

Поверхность разрезаемого металла должна быть хорошо очищена от грязи, краски, окалины и ржавчины. Для удаления окалины, краски и масла достаточно медленно провести пламенем горелки или резака по поверхности металла вдоль намеченной линии разреза. При этом краска и масло выгорают, а окалина отстает от металла. Затем поверхность металла зачищают металлической щеткой.

Процесс резки начинают с нагревания металла. Подогревающее пламя резака направляют на край разрезаемого металла и нагревают до температуры воспламенения его в кислороде, практически составляющей температуру плавления. Затем пускают струю режущего кислорода и перемещают резак вдоль линии разреза. Кислород сжигает верхние нагретые слои металла. Теплота, выделяющаяся при сгорании, нагревает нижележащие слои металла до температуры воспламенения и поддерживает непрерывность процесса резки.

При резке листового материала толщиной до 30 мм мундштук резака устанавливают вначале под углом 5° к поверхности, а затем — под углом $20\text{--}30^\circ$ в сторону, обратную движению резака. Это ускоряет процесс разогрева металла и повышает производительность процесса резки.

Резку металла большой толщины выполняют следующим образом. Мундштук резака вначале устанавливают перпендикулярно поверхности разрезаемого металла, так чтобы струя подогревающего пламени, а затем и режущего кислорода располагалась вдоль вертикальной грани разре-

заемого металла. После прогрева металла до температуры воспламенения пускают струю режущего кислорода. Перемещение резака вдоль линии резания начинают после того, как в начале этой линии металл будет прорезан на всю его толщину. Чтобы не допустить отставания резки в нижних слоях металла, в конце процесса следует постепенно замедлить скорость перемещения резака и увеличивать наклон мундштука резака до $10\text{--}15^\circ$ в сторону, обратную его движению. Рекомендуется начинать процесс резки с нижней кромки. Предварительный подогрев до $300\text{--}400^\circ\text{C}$ позволяет производить резку с повышенной скоростью. Скорость перемещения резака должна соответствовать скорости горения металла. Если скорость перемещения резака установлена правильно, то поток искр и шлака вылетает из разреза прямо вниз, а кромки получаются чистыми, без натеков и подплавлений. При большой скорости перемещения резака поток искр отстает от него, металл в нижней кромке не успевает сгореть и сквозное прорезание прекращается. При малой скорости сноп искр опережает резак, кромки разреза оплавляются и покрываются натеками.

Давление режущего кислорода устанавливают в зависимости от толщины разрезаемого металла и чистоты кислорода. Чем выше чистота кислорода, тем меньше его давление и расход.

Ширина и чистота разреза зависят от способа резки и толщины разрезаемого металла. Машинная резка дает более чистые кромки и меньшую ширину разреза, чем ручная резка. Чем больше толщина металла, тем больше ширина разреза.

Процесс резки вызывает изменение структуры, химического состава и механических свойств металла. При резке низкоуглеродистой стали тепловое влияние процесса на ее структуру незначительно. Наряду с участками перлита

появляется неравновесная составляющая сорбита, что даже несколько улучшает механические качества металла. При резке стали, имеющей повышенное содержание углерода и легирующие примеси, кроме сорбита образуются троостит и даже мартенсит. При этом значительно повышаются твердость и хрупкость стали и ухудшается обрабатываемость кромок разреза. Возможно образование холодных трещин. Изменение химического состава стали проявляется в образовании обезуглероженного слоя металла непосредственно на поверхности резания. Это происходит в результате выгорания углерода под воздействием струи режущего кислорода. Несколько глубже находится участок с большим содержанием углерода, чем у исходного металла. Затем по мере удаления от разреза содержание углерода уменьшается до исходного. Также происходит выгорание легирующих элементов стали.

Механические свойства низкоуглеродистой стали при резке почти не изменяются. Стали с повышенным содержанием углерода, марганца, хрома и молибдена закаляются, становятся более твердыми и дают трещины в зоне резания. Резка таких сталей выполняется с использованием предварительного подогрева. Температура подогрева приводится в табл. 23.

Нержавеющие хромистые и хромоникелевые стали, чугун, цветные металлы и их сплавы не поддаются обычной кислородной резке, так как не удовлетворяют указанным выше условиям. Для этих металлов применяют кислородно-флюсовую резку, сущность которой заключается в следующем. В зону резания с помощью специальной аппаратуры непрерывно подается порошкообразный флюс, при сгорании которого выделяется дополнительная теплота и повышается температура места разреза. Кроме того, продукты сгорания флюса реагируют с тугоплавкими окси-

дами и дают жидкотекучие шлаки, легко вытекающие из места разреза.

В качестве флюса используется мелкогранулированный железный порошок марки ПЖ-5М. При резке хромистых и хромоникелевых сталей во флюс добавляют 25—50% окалины; при резке чугуна — около 35% доменного феррофосфора; при резке меди и ее сплавов применяют флюс, состоящий из смеси железного порошка с алюминиевым порошком (15—20%) и феррофосфором (10—15%).

Резку производят установкой типа УРХС-5, состоящей из флюсопитателя и резака. Установка используется для ручной и машинной кислородно-флюсовой резки высоколегированных хромистых и хромоникелевых марок сталей толщиной до 200 мм при скорости резания 230—760 мм/мин. На 1 м разреза расходуется кислорода 0,20—2,75 м³, ацетилен — 0,017—0,130 м³ и флюса — 0,20—1,3 кг.

При кислородно-флюсовой резке некоторая часть теплоты подогревающего пламени уходит на нагревание флюса. Поэтому мощность пламени берется на 15—25% выше, чем при обычной резке. Пламя должно быть нормальным или с некоторым избытком ацетилена. Расстояние от торца мундштука резака до поверхности разрезаемого металла устанавливается в пределах 15—20 мм. При малом расстоянии частицы флюса отражаются от поверхности металла и, попадая в сопло резака, вызывают хлопки и обратные удары. Кроме того, наблюдается перегрев мундштука, приводящий к нарушению процесса резки. Угол наклона мундштука резака должен быть в пределах 0—10° в сторону, обратную направлению резки. Хорошие результаты дает предварительный подогрев. Хромистые и хромоникелевые стали требуют подогрева до 300—400°С, а сплавы меди — до 200—350°С.

Скорость резки зависит от свойств металла и от его тол-

щины. Чугун толщиной 50 мм режут со скоростью 70—100 мм/мин. При этом на 1 м разреза расходуется 2—4 м³ кислорода, 0,16—0,25 м³ ацетилена и 3,5—6 кг флюса. Примерно такие же данные получают при резке сплавов меди. При резке хромистых и хромоникелевых сталей расход всех материалов снижается почти в 3 раза.

Резку кислородным копьем выполняют тонкостенной стальной трубкой с наружным диаметром 20—35 мм. Трубку присоединяют к рукоятке с вентилем для кислорода и по ней подают кислород к месту разреза. До начала резки конец трубки нагревают газовой горелкой или электрической дугой до температуры воспламенения. Кислородное копьё горящим концом с усилием прижимают к изделию (металл, бетон, железобетон) и прожигают отверстие. Образуемые шлаки давлением кислорода выносятся наружу в зазор между копьём и стенкой прожигаемого отверстия (рис. 55).

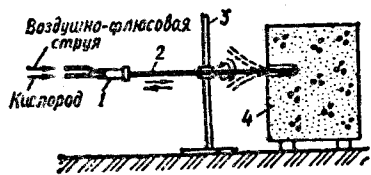


Рис. 55. Схема прожигания отверстия в бетоне кислородным копьём: 1 — держатель копия; 2 — копьё; 3 — защитный экран; 4 — бетон

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему для газовой сварки применяют в основном ацетилен?
2. Объясните строение и свойства газового пламени.
3. В чем разница между левым и правым способом сварки?
4. Как устроена газовая горелка?

5. Как классифицируют ацетиленовые генераторы?
6. Какую роль выполняет в горелке инжектор?
7. Почему окислительное ацетилено-кислородное пламя не годится для сварки стали?
8. В чем сущность термической резки металлов?
9. Почему не режутся ацетилено-кислородным пламенем чугун, медь, алюминий, высоколегированные стали?

ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ ПОД ФЛЮСОМ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НЕЕ

§ 30. Сущность сварки под флюсом

Сварка под флюсом — это дуговая сварка, при которой дуга горит под слоем сварочного флюса, обеспечивающего защиту сварочной ванны от контакта с воздухом.

Сварка под флюсом является одним из основных способов выполнения сварочных работ в промышленности и строительстве. Она существенно изменила технологию изготовления сварных изделий.

По степени механизации процесса различают автоматическую и механизированную сварку под флюсом.

Для получения качественных сварных швов взамен электродных покрытий применяют гранулированное вещество, называемое *флюсом*.

Автоматическая сварка под флюсом производится при помощи автоматической установки (сварочная головка или сварочный трактор). Эта установка подает электродную

проволоку и флюс в зону сварки, перемещает дугу вдоль свариваемого шва и поддерживает ее горение.

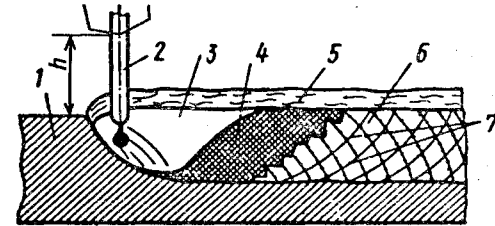


Рис. 56. Плавильное пространство при сварке под флюсом: 1 — основной металл; 2 — электродная проволока; 3 — передняя часть сварочной ванны; 4 — хвостовая часть сварочной ванны (жидкий металл); 5 — флюс; 6 — закристаллизовавшийся сварной шов; 7 — границы кристаллизационных слоев, h — вылет электрода

Принципиальная схема автоматической сварки под флюсом выглядит так (рис. 56). Электродная проволока подается в зону сварки. Кромки свариваемого изделия в зоне сварки покрываются слоем флюса, подаваемого из бункера. Толщина слоя флюса составляет 30—50 мм. Сварочный ток подводится от источника тока к электроду через токоподводящий мундштук, находящийся на небольшом расстоянии от конца электродной проволоки, благодаря чему при автоматической сварке можно применять большие сварочные токи. Дуга возбуждается между свариваемым изделием и электродной проволокой. При горении дуги образуется ванна расплавленного металла, закрытая сверху расплавленным шлаком и оставшимся нерасплавленным флюсом. Нерасплавившийся флюс отсасывается шлангом обратно в бункер. Пары и газы, образующиеся в зоне дуги, создают вокруг нее замкнутую газовую полость. Некоторое избыточное давление, возникающее при термическом расширении газов, оттесняет жидкий металл в сторону, противоположную направлению сварки. У основания дуги (в

кратере) сохраняется лишь тонкий слой металла. В таких условиях обеспечивается глубокий провар основного металла. Так как дуга горит в газовой полости, закрытой расплавленным шлаком, то значительно уменьшаются потери теплоты и металла на угар и разбрызгивание.

По мере перемещения дуги вдоль разделки шва наплавленный металл остывает и образует сварной шов. Жидкий шлак, имея более низкую температуру плавления, чем металл, затвердевает несколько позже, замедляя охлаждение металла шва. Продолжительное пребывание металла шва в расплавленном состоянии и медленное остывание способствуют выходу на поверхность всех неметаллических включений и газов, получению чистого, плотного и однородного по химическому составу металла шва.

Автоматическую сварку под флюсом отличают следующие преимущества:

- высокая производительность, превышающая ручную сварку в 5—10 раз. Она обеспечивается применением больших токов ввиду малых значений вылета h -электродной проволоки без опасения значительного ее перегрева в вылете и отслаивания обмазки как в покрытом электроде, более концентрированным и полным использованием теплоты в закрытой зоне дуги, снижением трудоемкости за счет автоматизации процесса сварки;
- высокое качество сварного шва вследствие защиты металла сварочной ванны расплавленным шлаком от кислорода и азота воздуха, легирования металла шва, увеличения плотности металла при медленном охлаждении под слоем застывшего шлака;
- экономия электродного металла при значительном снижении потерь на угар, разбрызгивание металла и огарки. При ручной сварке эти потери достигают 20

— 30%, в то время как при автоматической сварке под флюсом они не превышают 2 — 5%;

- экономия электроэнергии за счет более полного использования теплоты дуги по сравнению с ручной сваркой. Затраты электроэнергии при автоматической сварке уменьшаются на 30—40%.

Кроме того, при автоматической сварке условия труда значительно лучше, чем при ручной: дуга закрыта слоем шлака и флюса, выделение вредных газов и пыли значительно снижено, поэтому нет необходимости в защите зрения и лица сварщика от воздействия излучений дуги, а для вытяжки газов достаточно естественной вытяжной вентиляции.

Автоматическая сварка имеет и недостатки — это прежде всего ограниченная маневренность сварочных автоматов и производство сварки главным образом в нижнем положении.

§ 31. Сварочные флюсы

Сварочным флюсом называют неметаллический материал, расплав которого необходим для сварки и улучшения качества шва.

Взаимодействуя в процессе сварки с жидким металлом, расплавленный флюс в значительной степени определяет химический состав металла, а следовательно, и его механические свойства.

По способу изготовления флюсы делятся на плавные и неплавные.

Плавные флюсы являются основными при автоматической сварке металла. Флюсы типов АН-348-А, АН-348-АМ, АН-348-В, АН-348-ВМ, АН-60 и ФЦ-9 предназначены для механической сварки и наплавки углеродистых и низ-

колегированных сталей углеродистой и низколегированной сварочной проволокой. Флюс марки АН-8 применяют при электрошлаковой сварке углеродистых и низколегированных сталей и сварке низколегированных сталей углеродистой и низколегированной сварочной проволокой. Флюсы марок АН-15М, АН-18, АН-20С, АН-20СМ и АН-20П служат для дуговой автоматической сварки и наплавки высоколегированных сталей и среднелегированных сталей. Флюс марки АН-22 предназначен для электрошлаковой сварки и дуговой автоматической наплавки и сварки низко- и среднелегированных сталей. Флюсы АН-26С, АН-26СП и АН-26П применяют при автоматической и полуавтоматической сварках нержавеющей, коррозионностойких и жаропрочных сталей. Флюсы марок АН-17М, АН-43 и АН-47 предназначены для дуговой сварки и наплавки углеродистых, низко- и среднелегированных сталей повышенной и высокой прочности.

Нормальные флюсы содержат зерна размером 0,35—3 мм. Флюсы мелкой грануляции состоят из зерен размером 0,25—1,0 мм и в обозначении марки имеют конечную букву М.

Плавленные флюсы получают сплавлением составляющих его компонентов. Изготовление флюса включает следующие процессы: размалывание до необходимых размеров сырьевых материалов (марганцевая руда, кварцевый песок, мел, плавиковый шпат, глинозем и др.); перемешивание их в определенных массовых соотношениях; плавка в газопламенных или электродуговых печах; грануляция с целью получения флюса определенных размеров зерен. Грануляция производится выпуском расплава флюса в воду, где он остывает и растрескивается на мелкие частицы. Затем флюс сушат в барабанах или сушильных шкафах и просеивают через сито на фракции.

В состав этих флюсов в качестве основных компонен-

тов входят марганец в виде оксида марганца и кремний в виде кремнезема. Марганец, обладая большим сродством с кислородом, восстанавливает содержащиеся в наплавляемом металле оксиды железа. Кроме того, образуя сульфид MnS , марганец способствует удалению серы в шлак. При сварке низкоуглеродистых и низколегированных сталей высокомарганцовистые флюсы легируют металл шва. Кремний способствует снижению пористости металла шва, так как подавляет процесс образования оксида углерода, который является одной из основных причин образования пор в наплавленном металле. Кремний также является хорошим раскислителем, но как легирующий элемент при сварке под флюсом имеет ограниченное применение.

Неплавленные флюсы представляют собой механическую смесь составляющих его материалов. Исходные материалы (кремнезем, марганцевую руду, плавиковый шпат, ферросплавы и др.) дробят, измельчают, дозируют и полученную смесь тщательно усредняют. Затем замешивают в строго определенных соотношениях с водным раствором жидкого стекла и, пропустив через гранулятор, получают шарообразные гранулы (соединения). Сырые гранулы (соединения) поступают на сушку и прокалку.

Отсутствие плавки позволяет вводить в состав флюсов различные ферросплавы, металлические порошки, оксиды элементов и другие материалы. Эти вещества, участвуя в металлургических процессах сварки, значительно облегчают широкое легирование и раскисление наплавленного металла, улучшают структуру и снижают содержание вредных примесей в металле шва. При этом используется более простая сварочная проволока из обычной низкоуглеродистой стали. Недостатком неплавленных флюсов является их большая гигроскопичность, требующая герметичности упаковки и более точного соблюдения режима сварки, так

как он оказывает влияние на процесс легирования наплавленного металла.

Используются флюсы марок АНК-35 (для сварки низкоуглеродистых сталей низкоуглеродистой проволокой Св-08 и Св-08А), АНК-46 (для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей), АНК-47 и АНК-30 (для сварки швов высокой хладостойкости), АНК-45 (для сварки высоколегированных сталей), АНК-40, АНК-18, АНК-19 (для наплавочных работ низкоуглеродистой сварочной проволокой Св-08 и Св-08А). При применении наплавочных проволок эти флюсы дают слои наплавленного металла более высокой твердости. Флюс марки АНК-3, применяемый как добавка к флюсам марок АН-348А, АН-60, повышает стойкость швов против образования пор.

Важным преимуществом неплавленных керамических флюсов является их относительно малая чувствительность к ржавчине, окалине и влаге на поверхности свариваемых кромок деталей по сравнению с плавными флюсами. Это особенно важно при строительномонтажных работах. Плавные флюсы при сварке дают относительно небольшое количество легирующих примесей (только за счет восстановления из оксидов кремния и марганца). При этом появляются оксиды, способствующие образованию неметаллических включений, ухудшающих механические свойства металла. Поэтому для соответствующего легирования металла шва приходится применять дорогую легированную проволоку. Однако высокие технологические свойства плавных флюсов (хорошая защита зоны сварки, хорошее формирование валиков, отделимость шлака и др.) и меньшая стоимость обеспечивают широкое применение их в сварочном производстве. При необходимости получения сварных швов высокого качества по ударной вязкости при низкой температуре; швов, стойких против образования пор и тре-

щин; и некоторых других специальных швов керамические флюсы незаменимы.

Магнитные флюсы относятся также к неплавленным флюсам. По технологии изготовления и применению они аналогичны керамическим флюсам. Кроме веществ, входящих в состав керамических флюсов, магнитный флюс содержит железный порошок, который не только придает ему магнитные свойства, но и способствует повышению производительности сварки. Флюс подается через сопло дозирующим устройством автомата (или полуавтомата). Под действием магнитного поля сварочного тока флюс притягивается к зоне сварки. При этом обеспечивается минимальный расход флюса и возможность качественной сварки вертикальных швов.

§ 32. Оборудование для автоматической сварки

Применяются два вида автоматического оборудования: подвесные (неподвижные и самоходные) головки и сварочные тракторы. Они производят следующие операции: возбуждение дуги, непрерывную подачу в зону дуги электродной проволоки и флюса в процессе сварки, перемещение сварочной дуги вдоль свариваемого шва, гашение дуги в конце сварки.

Важным условием, обеспечивающим нормальный устойчивый процесс автоматической сварки, является равенство скорости подачи электродной проволоки и скорости ее плавления. Это условие в процессе сварки может нарушаться различными факторами: изменениями напряжения в сети, нечеткой работой подающего механизма, неровностями поверхностей свариваемых кромок, при которых изменяется дуговой промежуток, и др. Чтобы процесс сварки протекал устойчиво, а длина дуги сохранялась постоян-

ной, применяют автоматы, сконструированные по двум основным принципам: автоматы с переменной скоростью подачи электродной проволоки, зависящей от изменения дугового промежутка, и автоматы с постоянной скоростью подачи электродной проволоки.

К автоматам с переменной скоростью подачи, у которых скорость подачи электродной проволоки плавно изменяется в зависимости от напряжения сварочной дуги, относится трактор типа АДС-1000-2 завода «Электрик» (рис. 57). В отличие от тракторов типа ТС с одним двигателем трактор типа АДС имеет два двигателя для подачи проволоки и его передвижения, что усложняет и утяжеляет конструкцию, но делает ее более универсальной.

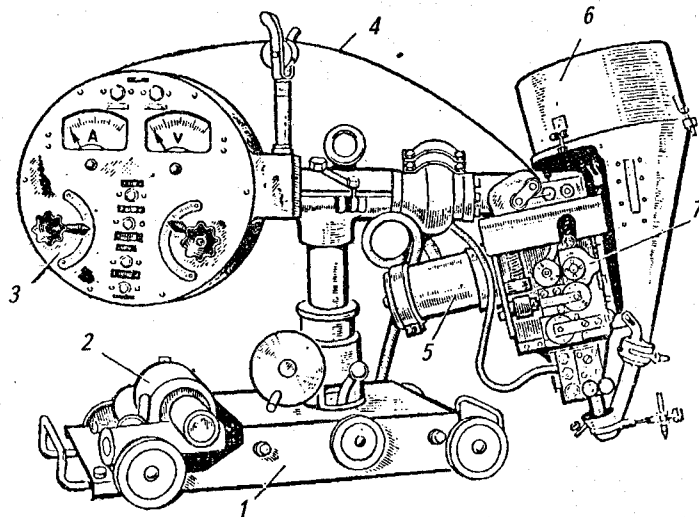


Рис. 57. Сварочный трактор АДС-1000-2: 1 — самоходная каретка; 2 — электродвигатель для передвижения автомата; 3 — пульт управления с кассетой для проволоки; 4 — электродная проволока; 5 — электродвигатель механизма подачи проволоки; 6 — бункер для флюса; 7 — механизм подачи проволоки

Трактор АДС 1000-2 рассчитан на сварку электродной проволокой диаметром 3—6 мм силой тока до 1200 А. Скорость сварки равна 15—70 м/ч. Применяется обычно для сварки под флюсом переменным током. В качестве источника питания может использоваться трансформатор ТСД-1000-3. Без флюса и электродной проволоки масса трактора около 60 кг.

Более широкое применение получили автоматы с постоянной скоростью подачи электродной проволоки. Электродвигатель, обеспечивающий через редуктор и подающие ролики подачу электродной проволоки, питается непосредственно от сети. Поэтому скорость вращения электродвигателя будет постоянна независимо от длины (следовательно, и напряжения) дуги.

Саморегулирование осуществляется так. Если в процессе сварки длина дуги уменьшится (например, из-за неровностей на поверхности свариваемых кромок), то напряжение на дуге понизится. Так как внешняя характеристика источника питания дуги падающая, то уменьшение напряжения приведет к возрастанию сварочного тока и тем самым к увеличению скорости плавления электродной проволоки (скорость плавления проволоки почти пропорциональна сварочному току). Повышение скорости плавления проволоки при постоянной скорости подачи приведет к удлинению дуги, т. е. к восстановлению нормальной ее длины. Если же длина дуги увеличится, то напряжение возрастет, и в соответствии с внешней характеристикой источника тока сварочный ток понизится. Следовательно, скорость плавления электродной проволоки уменьшится, что при постоянной скорости ее подачи приведет к сокращению дугового промежутка. Процесс саморегулирования осуществляется нормально при питании дуги постоянным током. При переменном токе для устойчивой работы автомата колебания напряжения в сети не должны превышать 6—8%.

Самоходный автомат типа АБС (А-184) предназначен

для сварки электродной проволокой диаметром 3—6 мм на переменном и постоянном токе до 1500 А продольных и кольцевых швов, стыковых угловых и нахлесточных соединений толщиной от 5 до 30 мм, наплавки вращающихся цилиндрических деталей. Автомат имеет отдельные приставки для наплавки ленточным электродом, тремя электродами, сварки в среде защитных газов.

Автомат (рис. 58) смонтирован из трех узлов (комплектов).

Комплект А представляет собой подвесную сварочную головку, состоящую из подающего механизма 3, мунштука 1 с правильным устройством 2, пульта управления 4 и механизма для направления движения головки по шву. Сменными шестернями механизма подачи регулируется скорость подачи проволоки в пределах 28,5—225 м/ч.

Комплект Б состоит из подъемного механизма для подвески и вертикального подъема сварочной головки, флюсоаппаратуры 6 и катушки 5 для электродной проволоки.

Комплект С — самоходная тележка велосипедного типа для передви-

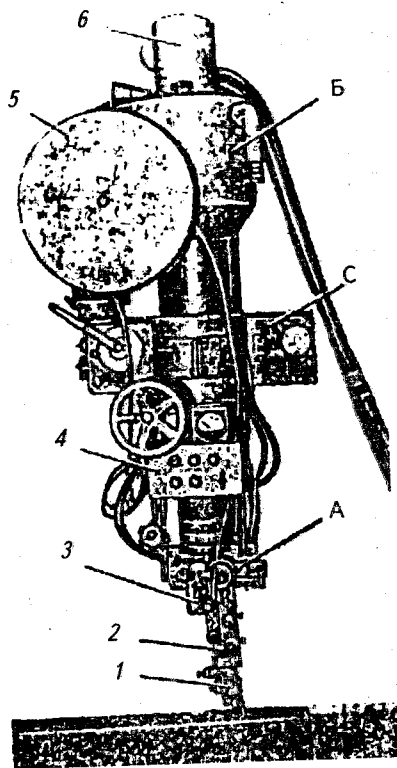


Рис. 58. Сварочный автомат типа АВС

жения автомата по двум швеллерам, лежащим в одной вертикальной плоскости.

Автомат снабжен шкафом управления, который может использоваться при сварке на переменном и постоянном токе.

Автомат АВС может быть использован в различных вариантах. Например, при сварке кольцевых швов цилиндрических конструкций или наплавке тел вращения автомат может не перемещаться и потребность в узле С отпадает.

Сварочный трактор является более эффективным и маневренным сварочным аппаратом. Он представляет собой автоматическую головку, установленную на самоходной тележке, которая перемещается с помощью электродвигателя по свариваемому изделию или по направляющему рельсовому пути вдоль свариваемого шва.

Трактор ТС-17М (рис. 59) применяется при изготовлении и монтаже различных строительных конструкций (ферм, мачт, балок), при сварке под флюсом наружных и внутренних кольцевых швов, при сварке труб и резервуаров диаметром более 800 мм. Им можно производить сварку всех видов швов в нижнем положении. Трактор имеет один электродвигатель трехфазного тока, который приводит в движение механизм подачи электродной проволоки и механизм передвижения трактора вдоль свариваемого шва. Подающий механизм состоит из понижающего редуктора и двух роликов (ведущего и прижимного), между которыми протаскивается электродная проволока.

Механизм передвижения трактора состоит из редуктора и двух ведущих бегунов, вал которых соединен с редуктором фрикционной муфтой. Наличие сменных шестерен позволяет в широких пределах изменять скорость подачи электродной проволоки и скорость передвижения трактора в соответствии с режимом сварки. В комплекте трактора имеется два токоподводящих мунштука. Для электродной

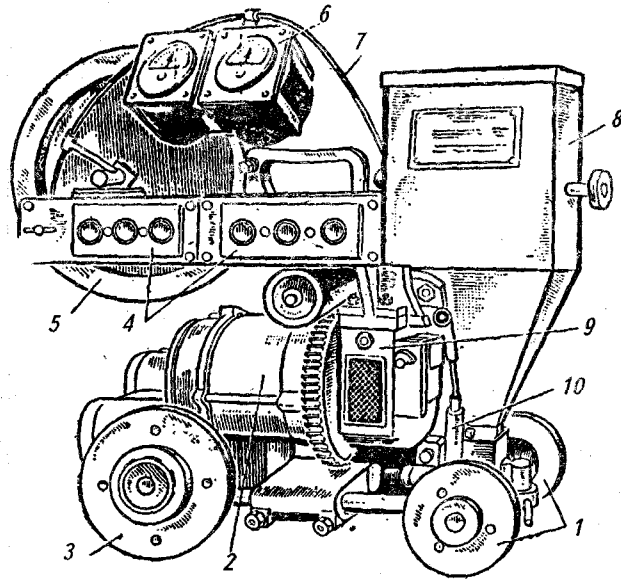


Рис. 59. Сварочный трактор ТС-17М: 1 — направляющие колеса; 2 — электродвигатель для подачи электродной проволоки и передвижения трактора; 3 — ведущие колеса; 4 — пульт с кнопками управления; 5 — кассета с электродной проволокой; 6 — электроизмерительные приборы; 7 — электродная проволока; 8 — бункер для флюса; 9 — механизм подачи проволоки; 10 — мундштук

проволоки диаметром 1,6—2,0 мм применяют трубчатый мундштук с бронзовым наконечником, смещенным к оси трубки, который обеспечивает хороший электрический контакт с электродной проволокой. Для электродной проволоки большего диаметра применяют мундштук с двумя бронзовыми контактами, между которыми перемещается проволока. Правка электродной проволоки осуществляется специальным правильным механизмом.

Техническая характеристика сварочных тракторов приведена в табл. 24.

Таблица 24

Техническая характеристика сварочных тракторов

Элементы характеристики	Сварочные тракторы			АДС-1000-2 Завод
	ТС-17М	ТС-17Р ИЭС им. Е. О. Патона	ТС-26	
Ток, А	2000—1200	До 800	300—1500	400—1200
Скорость подачи электродной проволоки, м/мин	0,8—6,7	0,9—7,3	0,7—7,8	3,6—11,6
Диаметр электродной проволоки, мм	1,6—5	—	3—6	1—4
Скорость сварки, м/ч	16—126	—	9—80	8—35
Род тока	—	—	Переменный	Постоянный
Масса, кг	42	42	50	45
				Переменный или постоянный
				65

Примечание. За исключением автомата типа АДС-1000-2, все приведенные в таблице сварочные автоматы имеют постоянную скорость подачи электродной проволоки.

Трактор снабжен двумя бункерами для флюса: один бункер применяют при сварке вертикальным электродом, а второй — при сварке наклонным электродом. Толщина насыпанного слоя флюса устанавливается вертикальным перемещением патрубка, по которому подается флюс в разделку кромок. Если стыковой шов сваривают без разделки кромок, то трактор направляется вручную. Если сваривают шов с разделкой кромок, то на одну из штанг подвески устанавливают копир, состоящий из двух последовательно расположенных роликов, которые при сварке катятся по разделке кромок и тем самым направляют трактор вдоль свариваемого шва. При сварке угловых швов «в лодочку» копировальным элементом служит ролик, закрепленный на специальной штанге и катящийся по углу свариваемого шва. Трактор имеет трехкнопочный пульт управления. Кроме того, есть дополнительный пульт управления, используемый при сварке кольцевых швов на цилиндрических изделиях (котлы, цистерны, резервуары), для управления электродвигателем стэнда. На стэнде вращается свариваемое изделие (рис. 60).

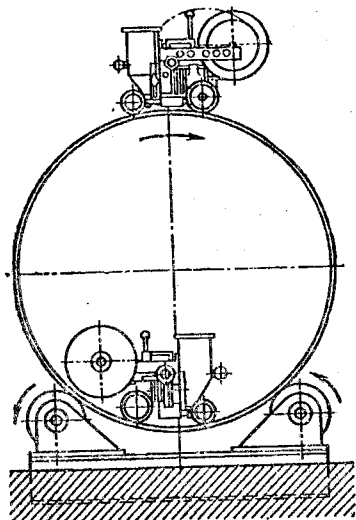
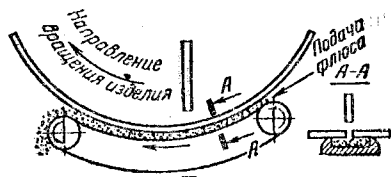


Рис. 60. Стэнд для сварки кольцевых швов — а и флюсоремная подушка — б



Рассмотрим принцип работы шлангового полуавтомата (рис. 61). Он сочетает универсальность и маневренность ручной сварки с преимуществами автоматической сварки под флюсом. Полуавтоматическая установка производит только подачу электродной проволоки в зону дуги, а перемещение дуги вдоль свариваемого шва осуществляет сварщик с помощью специального электрододержателя. Сварка производится при повышенных плотностях тока до 200 А/мм^2 , что позволяет применять электродную проволоку диаметром 1,2—2,5 мм. Высокие плотности тока повышают температурный режим сварки, коэффициент плавления и глубину провара шва. Вследствие этого допускается некоторое уменьшение разделки кромок, уменьшается необходимый расход электродной проволоки на единицу длины разделки кромок. При этом не только повышается производительность процесса сварки, но и значительно сокращается расход электроэнергии.

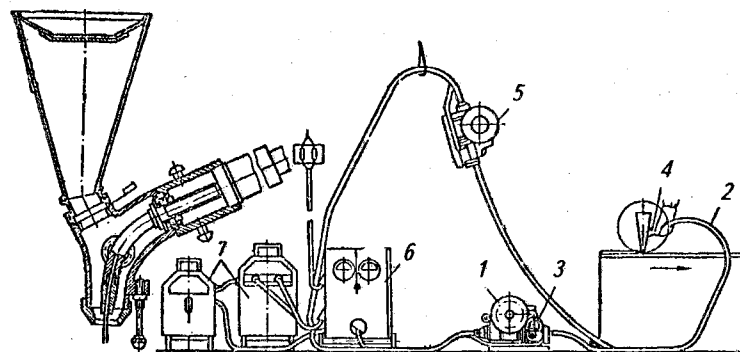


Рис. 61. Схема поста полуавтоматической сварки под флюсом: 1 — кассета подающего механизма; 2 — гибкий шланг для подачи электродной проволоки и электрического тока; 3 — ролики подающего механизма; 4 — держатель; 5 — подающий механизм; 6 — аппаратный ящик с электрооборудованием полуавтомата; 7 — сварочный трансформатор

Таблица 25

Техническая характеристика шланговых полуавтоматов

Элементы характеристики	Тип полуавтомата		
	ПШ-5	ПШ-54	ПДШМ-500
Ток, А	150—650 1,6—2	150—650 1,6—2	150—600 1,2—2,5
Диаметр электродной проволоки, мм	1,3—10	1,3—10	1,5—7,5 1,8—7
Скорость подачи электродной проволоки, м/мин			
Система подачи проволоки	С постоянной скоростью		
Настройка скорости подачи проволоки	Сменными шестернями	Коробкой скоростей	С регулируемой скоростью
Длина шлангового провода, м	3,5	3,5	4,0
			Изменением частоты вращения вала электродвигателя
			С постоянной скоростью

В сварочном производстве получили большое распространение шланговые полуавтоматы типов ПШ-5, ПШ-54, техническая характеристика которых приведена в табл. 25.

Шланговый полуавтомат типа ПШ-54 состоит из источника тока, шкафа управления, кассеты с электродной проволокой, механизма подачи проволоки, гибкого шланга, который заканчивается держателем. Бухта электродной проволоки заправляется в кассету после тщательной очистки от грязи, масла и ржавчины. Подача электродной проволоки осуществляется с помощью электродвигателя трехфазного тока мощностью 100 Вт, который через редуктор вращает ведущий ролик механизма подачи. Между ведущим и поджимным роликами протаскивается электродная проволока. Переключением шестерен коробки скоростей можно изменять скорость подачи электродной проволоки в пределах 78—600 м/ч. Шланговый провод длиной 3,5 м и диаметром 27 мм служит для подачи электродной проволоки по центральному каналу в зону дуги. В шланг вмонтированы провод для подвода сварочного тока и провода управления пуском и выключением электродвигателя механизма подачи, включением и выключением сварочного тока. Держатель представляет собой трубчатый мундштук с ручкой и специальной воронкой для флюса. Воронка вмещает 1,5 кг флюса и снабжена пластинчатой заслонкой. Шкаф управления содержит контрольные приборы (амперметр и вольтметр) и устройства для включения и выключения системы управления. Включение электродвигателя для подачи электродной проволоки и тока сварочной цепи у полуавтомата типа ПШ-54 производится замыканием сварочной проволоки на изделие, а прекращение процесса сварки достигается удалением держателя от поверхности свариваемого изделия, т.е. обрывом сварочной дуги.

В полуавтоматах типа ПШ-5 включение и выключение

электродвигателя механизма подачи электродной проволоки и тока сварочной цепи производят пусковой кнопкой на рукоятке.

Шланговый полуавтомат типа ПДШ-500 имеет по сравнению с полуавтоматами ПШ-5 две существенные особенности. Полуавтомат работает по принципу зависимости скорости подачи электродной проволоки от напряжения дуги, и поэтому электрическая схема саморегулирования режима сварки сходна со схемой автоматической головки АДС-1000. Второй особенностью является принудительная подача флюса сжатым воздухом по шлангу через держатель в зону сварки. Подающий механизм, смонтированный на подвижной тележке, работает от электродвигателя постоянного тока через понижающий редуктор. Ведущий и нажимный ролики подают электродную проволоку из кассеты по шлангу в зону сварки. Скорость подачи электродной проволоки устанавливается реостатом, включенным в цепь обмотки электродвигателя. На тележке укреплен бункер с устройством для пневматической подачи флюса в зону сварки. Воздух используется от заводской воздушной сети или от компрессора. На специальной панели тележки установлены измерительные приборы и устройства управления.

Полуавтомат типа А-1197 служит для сварки под флюсом и в среде углекислого газа как сплошной, так и порошковой проволокой. Полуавтомат имеет модификации А-1197С — подающий механизм с асинхронным электродвигателем, а регулирование скорости подачи осуществляется сменными зубчатыми шестернями — и А-1197П — подающий механизм с электродвигателем постоянного тока, обеспечивающий плавное регулирование скорости подачи электродной проволоки. Номинальный сварочный ток — 500 А. Диаметр электродной проволоки — 1,6—3,5 мм. Скорость подачи электродной проволоки — 90—900 м/ч.

Шланговые автоматы отличаются от полуавтоматов тем,

что вместо держателя для ручного перемещения сварочной дуги применяется самоходная сварочная головка легкого типа с электродвигателем и устройством для перемещения ее по свариваемому изделию вдоль шва. Шланговый автомат типа АДШ-500 имеет два типа самоходных головок: ГСА-1—2 и ГСА-2—2.

Головка типа ГСА-1—2 предназначена для приварки к горизонтальной плоскости различных полос, ребер или других профильных элементов высотой 50—160 мм. Головку типа ГСА-2—2 применяют для тех же работ, но при высоте привариваемых элементов более 160 мм. Она прижимается к свариваемому изделию электромагнитами, полюсами которых служат катки тележки. Сварочный ток устанавливается в пределах 150—600 А. Для включения и выключения сварочного тока автомат оборудован дистанционным кнопочным устройством. Автомат позволяет производить сварку со скоростью 10—65 м/ч. Флюс подается в зону сварки пневматически.

Контрольные приборы — амперметр и вольтметр, а также маховичок потенциометра для плавного регулирования скорости сварки — смонтированы на корпусе механизма подачи электродной проволоки. Вес самоходной головки составляет 10—12 кг.

Разработан способ шланговой многоэлектродной сварки. Он предусматривает подачу в зону дуги с одинаковой скоростью одновременно трех электродных проволок диаметром 1,6—2,0 мм. Это позволяет применять сварочные токи до 800—1000 А и тем самым значительно повышать производительность сварки. Важным преимуществом этого способа является также возможность легирования металла свариваемого шва. Для этой цели применяется легированная сварочная проволока.

Установки и приспособления, служащие для механизации вспомогательных работ, могут быть разбиты на две

основные группы: универсальные и специализированные. Универсальные установки и приспособления применяют при разнообразных сварочных работах. К ним относятся устройства и приспособления общего назначения: стелды и кантователи различной конструкции, струбцины, винтовые стяжки, правильные скобы, хомуты, домкраты и др. Специализированные установки и приспособления разрабатывают и применяют при серийном и массовом производствах. Они представляют собой стелды и установки с неподвижными и подвижными фиксаторами, имеющими зажимные устройства с механическим, пневматическим, гидравлическим или электрическим приводами. Такие устройства позволяют быстро и с достаточной точностью фиксировать взаимное расположение элементов свариваемой конструкции, значительно сокращая объем работ по разметке и проверке сборки свариваемого изделия.

§ 33. Технология сварки под флюсом

Подготовку кромок и сборку изделия при сварке под флюсом производят более точно, чем при ручной сварке. Настроенный под определенный режим автомат точно выполняет установленный процесс сварки и не может учесть и выправить отклонения в разделке кромок и в сборке изделия. Разделку кромок производят машинной кислородной или плазменно-дуговой резкой, а также на металлорежущих станках.

Свариваемые кромки перед сборкой должны быть тщательно очищены от ржавчины, грязи, масла, влаги и шлаков. Это особенно важно при больших скоростях сварки, когда загрязнения, попадая в зону дуги, приводят к образо-

ванию пор, раковин и неметаллических включений. Очистку кромок производят пескоструйной обработкой или травлением и пассивированием. Очистке подвергается поверхность кромок шириной 50—60 мм по обе стороны от шва. Перед сваркой детали закрепляют на стелдах или иных устройствах с помощью различных приспособлений или прихватывают ручной сваркой электродами с качественным покрытием. Прихватки длиной 50—70 мм располагают на расстоянии не более 400 мм друг от друга, а крайние прихватки — на расстоянии не менее 200 мм от края шва. Прихватки должны быть тщательно очищены от шлака и брызг металла.

При сварке продольных швов для ввода электрода в шов и вывода его из шва за пределы изделия по окончании сварки к кромкам приваривают вводные и выводные планки. Форма разделки планок должна соответствовать разделке кромок основного шва.

Сварочный ток, напряжение дуги, диаметр, угол наклона и скорость подачи электродной проволоки, скорость сварки и основные размеры разделки кромок выбирают в зависимости от толщины свариваемых кромок, формы разделки и свариваемого металла. Стыковые швы выполняют с разделкой и без разделки кромок согласно ГОСТ 8713-79 (табл. 26). При этом шов может быть одно- и двусторонним, а также одно- и многослойным.

Стыковая сварка односторонняя применяется при малоответственных сварных швах или в случаях, когда конструкция изделия не позволяет производить двустороннюю сварку шва. Значительный объем расплавленного металла, большая глубина проплавления и некоторый перегрев ванны могут привести к вытеканию металла в зазоры и нарушению процесса формирования шва. Чтобы избежать этого, следует закрыть обратную сторону шва сталь-

ной или медной подкладкой, флюсовой подушкой или проварить шов с обратной стороны (рис. 62).

На практике применяют четыре основных приема выполнения односторонней сварки стыковых швов, обеспечивающих получение качественного сварного шва.

Сварка на флюсовой подушке заключается в том, что под свариваемые кромки изделия подводят флюсовую подушку — слой флюса толщиной 30—70 мм. Флюсовая подушка прижимается к свариваемым кромкам под действием собственной массы изделия или с помощью резинового шланга, наполненного воздухом. Давление воздуха в зависимости от толщины свариваемых кромок изделия для тонких кромок составляет 0,05—0,06 МПа и 0,2—0,25 МПа — для толстых кромок. Флюсовая подушка не допускает подтекания расплавленного металла и способствует хорошему формированию металла шва.

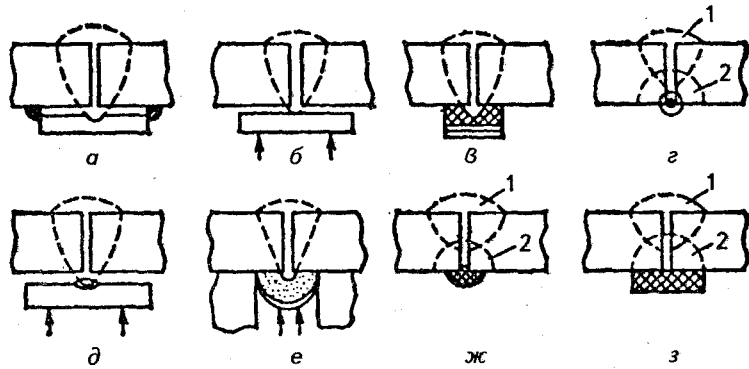


Рис. 62. Схемы устройств для удержания сварочной ванны и шлака при сварке под флюсом: а — остающаяся подкладка; б — временная подкладка; в — гибкая лента; г — ручная подварка; д — медно-флюсовая подкладка; е — флюсовая подушка; ж — заделка зазора огнестойким материалом; з — асбестовая подкладка; а, б, в, д, е — односторонний шов; г, ж, з — двусторонний шов; 1 — первый шов; 2 — второй шов

Таблица 26

Размеры, мм

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы	Способ сварки	s = 5		b		r	
			Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.
Сварной шов		АФ; МФ	2	+0,3	8,5	±1,0		
			Св. 2 до 3	+0,5	10			
			Св. 3 до 4	+0,8	12			
			Св. 4 до 5		14	2,0	+1,0	
			Св. 5 до 6		16		-1,5	
			Св. 6 до 8	+1,0	19			
			Св. 8 до 10		21			
			Св. 10 до 12					
Подготовленных кромок свариваемых деталей								

Примечание. Способ сварки ПФ для s < 3 мм применять не рекомендуется.

Продолжение табл. 26

Размеры, мм

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы		$s = s_1$	Способ сварки		b		e, не более		g		g ₁	
	подготовленных кромок свариваемых деталей	сварного шва		АФФ	Номинал	Предел откл.	Номинал	Предел откл.	Номинал	Предел откл.	Номинал	Предел откл.	
С4			2	0,0	+1,0	12	1,5	±1,0	1,0	±1,0			
			Св. 2 до 3	1,0	±1,0	16	2,0	+1,0 -1,5	1,5	+1,0 -1,5	2,0	+1,0 -2,0	
			Св. 3 до 4										
			Св. 4 до 5	1,5	±1,5	21	2,0	+1,0 -1,5	2,0	+1,0 -1,5	2,0	+1,0 -2,0	
			Св. 5 до 6										
			Св. 6 до 7	2,0	±1,5	26	2,0	+1,0 -1,5	2,0	+1,0 -1,5	2,0	+1,0 -2,0	
			Св. 7 до 10										

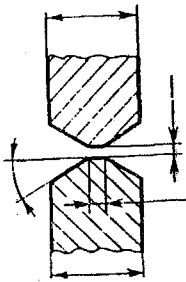
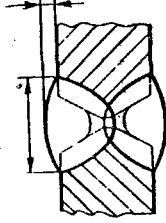
Примечание. Допускаются отсутствие выпуклости обратной стороны шва и местные вогнутости глубиной не более 0,1s при полном проплавлении кромок. Значение e₁ должно быть от 4 мм до 0,5e.

Продолжение табл. 26

Размеры, мм

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы		Способ сварки	$s = s_1$	c ± 1	e		g	
	подготовленных кромок свариваемых деталей	сварного шва				Номинал	Предел откл.	Номинал	Предел откл.
С18			АФФ	От 8 до 9	3	18	±3	1,5	±1,0
				Св. 9 до 10		20			
				Св. 10 до 12	4	22	±4	2,0	+1,0 -1,5
				Св. 12 до 14		24			
				Св. 14 до 20	26	±5	2,5	+1,0 -2,0	
Св. 20 до 24	26								

Размеры, мм

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы		Способ сварки	$s = s_1$	e		g		a, ° ±3
	подготовленных кромок свариваемых деталей	сварного шва			Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.	
С25			АФк		От 24 до 28	±4	±1,0	±3	25
			Св. 28 до 38	±4	±1,0	30			
			Св. 38 до 48	±5	±1,5				
			Св. 48 до 54	±5	±2,0				
			АФк		Св. 54 до 60	±5	±2,0		

Сварка на медной подкладке применяется для большего теплоотвода в целях предупреждения пережога металла кромок. Вместе с тем подкладка, установленная с нижней стороны шва, предупреждает протекание жидкого металла сварочной ванны. Подкладка прижимается к шву с помощью механических или пневматических приспособлений. После сварки подкладка легко отделяется от стальных листов. При зазоре между свариваемыми кромками более 1—2 мм медную прокладку делают с желобком, куда насыпают флюс. В этом случае на обратной стороне шва образуется сварной валик.

Ширина медной подкладки составляет 40—60 мм, а толщину подкладки (5—30 мм) выбирают в зависимости от толщины свариваемых кромок.

Разработан метод сварки, при котором по обратной стороне шва перемещается медный башмак, охлаждаемый водой. При этом свариваемые листы собирают с зазором в 2—3 мм и через каждые 1,2—1,5 м скрепляют сборочными планками путем прихватки короткими сварными швами.

Сварка на стальной подкладке производится в тех случаях, когда конструкция изделия допускает приварку подкладки с обратной стороны шва. Стальную подкладку плотно подгоняют к плоскости свариваемых кромок и прикрепляют короткими швами ручной дуговой сваркой. Затем автоматической сваркой выполняют основной шов, проваривая одновременно основной металл и металл подкладки. Размеры подкладки зависят от толщины свариваемых кромок. Обычно подкладку изготовляют из стальной полосы шириной 20—60 мм и толщиной 4—6 мм.

Сварка после предварительного наложения подваренного шва вручную применяется для упрощения процесса сборки изделия.

Стыковая сварка двусторонняя дает более высококаче-

ственный шов, обеспечивая хороший провар шва даже при некотором смещении свариваемых кромок. При изготовлении строительно-монтажных конструкций двусторонний способ является основным. Стыковое соединение сваривают автоматом сначала с одной стороны так, чтобы глубина проплавления составляла 60—70% толщины металла шва. Зазор между кромками должен быть минимальным, не более 1 мм. Сварку выполняют на весу без подкладок и уплотнений с обратной стороны стыка. При невозможности выдержать зазор между кромками менее 1 мм принимают меры по предупреждению подтекания жидкого металла, как это делают при односторонней сварке, т. е. производят сварку на флюсовой подушке, медной подкладке, на стальной подкладке или применяют прихватку ручной дуговой сваркой.

Режимы автоматической сварки под флюсом стыковых швов металлоконструкций приводятся в табл. 27.

Тавровые и нахлесточные соединения сваривают вертикальным электродом при положении шва «в лодочку» или наклонным электродом, если один из листов занимает горизонтальное положение. В зависимости от толщины свариваемых кромок и назначения соединения сварка может быть выполнена без разделки кромок, с одно- или двусторонней разделкой кромок.

При зазоре между кромками менее 1 мм сварку «в лодочку» выполняют на весу. При больших зазорах сварку производят на флюсовой подушке или на подкладках. Допускается заделка зазора асбестовым уплотнением или подварка шва с обратной стороны. Сварка «в лодочку» обеспечивает равномерное проплавление свариваемых кромок и получение качественного шва большого сечения за один проход. В большинстве случаев для выполнения сварного соединения изделие устанавливают на кантователь.

Таблица 27

Типичные режимы автоматической сварки под флюсом стыковых швов металлоконструкций на флюсовой подушке

Толщина металла, мм	Тип шва и подготовка кромок	Зазор, мм	Диаметр проволоки, мм	№ слоя	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В		Скорость сварки, $1,10^{-3}$ м/с
						переменный ток	постоянный ток (обратная полярность)	
10	Односторонний без разделки кромок	2—4	5	—	700—750	34—38	30—32	7,8—8,3
14		4—6	5	—	850—900	36—40	30—34	7—7,5
16		5—7	5	—	900—950	28—42	30—34	5,6—6,1
10	Двусторонний без разделки кромок	2—4	5	—	700—750	} 36—40	30—34	7,8—8,3
14		2—4	4	—	675—725			7,8—8,3
16		2—4	5	—	725—775			7,5—8,1
Более 17	Многослойный, одно- и двусторонний, с У- и Х-образной подготовкой кромок	3—1	4—5	—	750—800	36—38	33—35	5,6—6,1
		3—1	4—5	2 и последующие	825—875	38—40		

Сварку тавровых и нахлесточных соединений (рис. 63) при горизонтальной или вертикальной полке производят наклонным электродом с углом наклона к горизонтальной полке 20—30°. Недостатком такого способа сварки является невозможность получить шов с катетом более 16 мм, что иногда приводит к необходимости многослойной сварки.

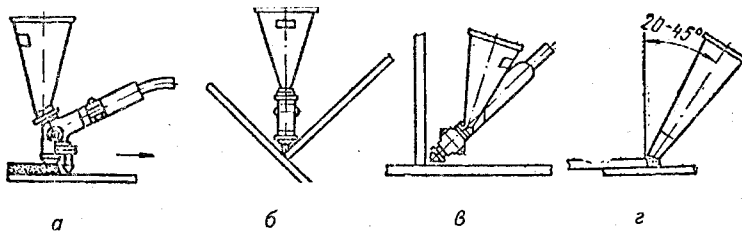


Рис. 63. Схема полуавтоматической сварки под флюсом: а — стыковых швов; б — в положении «в лодочку»; в — тавровых швов; г — нахлесточных швов

При полуавтоматической сварке перемещение дуги вдоль свариваемого шва производится сварщиком либо на себя, либо справа налево. Держатель опирают на кромки свариваемого изделия и тем самым поддерживают постоянство вылета электродной проволоки в пределах 15—25 мм. Благодаря повышенной плотности тока и более сосредоточенному вводу теплоты глубина провара при шланговой сварке возрастает на 30—40%. Устойчивость горения дуги также значительно повышается, что позволяет производить сварку металла малых толщин (0,8—1,0 мм) и сварку швов с катетом до 2 мм при сварочных токах 80—100 А.

Ориентировочные режимы полуавтоматической сварки приводятся в табл. 28.

Таблица 2

Типичные режимы сварки под флюсом угловых швов металлоконструкции «в лодочку»

Катет шва, мм	Диаметр проволоки, мм	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В		Скорость сварки, $1 \cdot 10^{-3}$ м/с
			переменный ток	постоянный ток (обратная полярность)	
6	2	300—390	32—34	30—32	7,2—7,8 14,2—15
	4	575—600	34—36		
8	2	420—440	32—34	32—34	6,1—7 8,3—8,9 8,3—8,9
	4	575—625	34—36		
	5	675—725	34—36		
10	2	420—440	31—36	32—34	3,3—4,2 6,4—7 6,4—7
	4	650—700	34—36		
	5	725—775	34—36		
12	2	420—440	34—36	32—34	2,2—2,8 5—5,6 5—5,6
	4	600—650	34—36		
	5	775—825	36—38		

При стыковых швах с зазором более 1,0—1,5 мм сварку производят на флюсовой подушке или на подкладках. При этом держателю придают поперечные колебательные движения. Тавровые и нахлесточные соединения рекомендуется выполнять электродной проволокой диаметром 1,6—2,0 мм на постоянном токе обратной полярности. Зазор между свариваемыми кромками не должен превышать 0,8—1,0 мм. Качественный шов за один проход шланговой сваркой можно получить при катете шва не более 8 мм. При катетах более 8 мм производят многослойную сварку шва.

§ 34. Электрошлаковая сварка

Электрошлаковая сварка — это сварка плавлением, при которой для нагрева металла используется теплота, выделяющаяся при прохождении электрического тока через расплавленный электропроводный шлак (рис. 64). Это самый высокопроизводительный способ автоматической сварки металла значительной толщины.

Производится она так. В пространство между свариваемыми кромками изделия и шлакоудерживающими приспособлениями (медными ползунами, начальными планками) вводятся флюс и электродная проволока. Процесс сварки начинается с возбуждения дуги между электродной проволокой и начальной планкой. Теплотой дуги расплавляются флюс и электродная проволока. Образуется

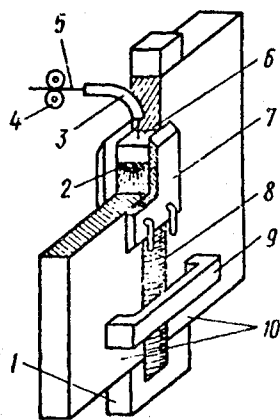


Рис. 64. Электрошлаковая сварка: 1 — начальная скоба для возбуждения процесса сварки; 2 — металлическая (сварочная) ванна; 3 — токоподводящий мундштук; 4 — подающие ролики; 5 — электродная проволока; 6 — шлаковая ванна; 7 — медные формующие ползуны; 8 — сварной шов; 9 — сборочная скоба; 10 — свариваемые детали

ванна расплавленного металла, покрытая слоем жидкого шлака. Электродная проволока, находясь в ванне нагретого шлака, плавится, и дуга гаснет. Сварочный ток, проходя через расплавленный шлак, нагревает его до температуры 1600—1700°С. Дальнейший бездуговой процесс плавки происходит за счет теплоты, выделяемой в шлаке сварочным током. По мере заполнения шва металлом медные ползуны, охлаждаемые проточной водой, перемещаются снизу вверх и формируют сварной шов. Применяя электрошлаковую сварку несколькими электродными проволоками или электродами в виде ленты, можно сваривать кромки изделия практически любой толщины.

Важным преимуществом электрошлаковой сварки является возможность сварки швов сложной конфигурации, при этом электродная проволока подается через специальный плавящийся мундштук, форма которого соответствует форме свариваемого шва. Мундштук плавится вместе с электродной проволокой, заполняя свариваемый шов металлом.

Качество металла шва при электрошлаковой сварке значительно выше, чем при автоматической сварке под флюсом. Это объясняется постоянным наличием над металлом шва жидкой фазы металла и нагретого шлака, что способствует более полному удалению газов и неметаллических включений. Резко снижается влияние на качество шва влажности флюса, ржавчины и различных загрязнений свариваемых кромок изделия. Трудоемкость операций по подготовке изделия под сварку снижается за счет исключения работ по разделке и подготовке кромок к сварке. Кромки обрезают кислородной резкой под прямым углом к поверхности свариваемых листов. Удельный расход электроэнергии, флюса и электродной проволоки сокращается, так как процесс протекает в замкнутой системе при небольшом количестве флюса и полном использовании электродного

металла. Увеличенный вылет электродной проволоки и значительные плотности тока обеспечивают высокую производительность наплавки, достигающую 27 кг/ч, в то время как при автоматической сварке под флюсом он составляет примерно 12 кг/ч, а при ручной — только 2 кг/ч. Расход электроэнергии на 1 кг наплавленного металла уменьшается вдвое, а расход флюса — в 20—30 раз по сравнению с автоматической сваркой под флюсом.

Производительность электрошлаковой сварки превышает производительность автоматической сварки под флюсом в 7—10 раз, а при большой толщине свариваемых кромок она в 15—20 раз выше производительности многослойной автоматической сварки. Постепенный подогрев свариваемых кромок и замедленный нагрев околошовной зоны уменьшают возможность образования в ней закалочных структур. Поэтому при электрошлаковой сварке самозакаливающихся сталей образование закалочных трещин менее вероятно. Освоение электрошлаковой сварки позволило заменить громоздкие и тяжелые цельнолитые и цельнокованные станины и корпуса более легкими и компактными сварно-литыми и сварно-коваными деталями.

Для производства электрошлаковой сварки разработаны три типа аппаратов:

- рельсовые аппараты, перемещающиеся по вертикальным рельсам или специальным направляющим вдоль свариваемого шва (аппараты типов А-820М, А-535 и А-681);
- безрельсовые аппараты, движущиеся по свариваемому изделию и связанные с ним механическим креплением (аппараты типов А-304 и А-612);
- шагающие магнитные аппараты, перемещающиеся по свариваемому изделию с помощью системы шагающих электромагнитов (аппарат типа А-501М).

Источниками питания многоэлектродных аппаратов для электрошлаковой сварки являются трехфазные сварочные трансформаторы ТШ С-1000—3 и ТШС-3000—3. Они обеспечивают в каждой фазе сварочный ток соответственно в 1000 и 3000 А. Первичная и вторичная обмотки трансформаторов состоят из секций с отводами, что позволяет изменять вторичное напряжение в пределах 38—54 В. Трансформаторы работают с принудительным охлаждением (ТШС-1000—3 — воздушное; ТШС-3000—3 — водяное). Можно применять также трансформаторы типов ТСД-500, ТСД-2000, СТН-750 и др.

Для электрошлаковой сварки применяют флюсы марок АН-8 и АН-22.

Электрошлаковой сваркой можно выполнять стыковые, тавровые, угловые и кольцевые соединения. Например, при сварке кольцевых стыков котельных барабанов применяют трехэлектродные аппараты типов А-385 и А-401. При толщине стенок кольцевого стыка 90 мм и внутреннем диаметре 1300 мм аппаратом типа А-385 шов заваривается за один проход за 2 часа. Для сварки прямолинейных швов применяют двухэлектродный аппарат типа А-372Р, работающий на сварочных токах 400—1000 А при напряжении 48—50 В и скорости подачи электродной проволоки 150—500 м/ч.

Электрошлаковая сварка нашла применение при изготовлении и монтаже различных металлоконструкций. Для этих работ используют малогабаритные одноэлектродные сварочные аппараты типов А-681, А-820 и др.

Для электрошлаковой сварки плавящимся мундштуком применяют малогабаритные однофазные аппараты типов А-645, А-1304.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается сущность сварки под флюсом и каковы ее преимущества?
2. Какие флюсы используются при сварке?
3. Из каких узлов состоит сварочная установка для автоматической сварки?
4. В каком режиме производится сварка под флюсом и как он влияет на формирование шва?
5. Какая разница между сварочным аппаратом, автоматом, головкой и трактором?
6. В чем сущность электрошлаковой сварки?

..... Глава 10

**ТЕХНОЛОГИЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ
В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ**



§ 35. Сущность дуговой сварки в защитных газах

При этом способе в зону дуги подается защитный газ, струя которого, обтекая электрическую дугу и сварочную ванну, предохраняет расплавленный металл от воздействия атмосферного воздуха, окисления и азотирования.

Сварку в защитных газах отличают следующие преимущества:

- высокая производительность (в 2-3 раза выше обычной дуговой сварки);
- возможность сварки в любых пространственных положениях, хорошая защита зоны сварки от кислорода и азота атмосферы, отсутствие необходимости очистки шва от шлаков и зачистки шва при многослойной сварке;
- малая зона термического влияния;
- относительно малые деформации изделий;

- возможность наблюдения за процессом формирования шва;
- доступность механизации и автоматизации.

Недостатками этого способа сварки являются необходимость принятия мер, предотвращающих сдувание струи защитного газа в процессе сварки, применение газовой аппаратуры, а в некоторых случаях и применение относительно дорогих защитных газов.

Разработаны следующие разновидности сварки в защитном газе: в инертных одноатомных газах (аргон, гелий), в нейтральных двухатомных газах (азот, водород), в углекислом газе. Наиболее широкое применение получили аргонодуговая сварка и сварка в углекислом газе. Инертный газ гелий применяется очень редко ввиду его большой стоимости. Сварка в двухатомных газах (водород и азот) имеет ограниченное применение, так как водород и азот в зоне дуги диссоциируют на атомы и активно взаимодействуют с большинством металлов.

Сварка в углекислом газе, благодаря его дешевизне, получила широкое применение при изготовлении и монтаже различных строительных конструкций из углеродистых и низколегированных сталей.

Углекислый газ, подаваемый в зону дуги, не является нейтральным, так как под действием высокой температуры он диссоциирует на оксид углерода и свободный кислород. При этом происходит частичное окисление расплавленного металла сварочной ванны, и, как следствие, металл шва получается пористым с низкими механическими свойствами. Для уменьшения окислительного действия свободного кислорода применяют электродную проволоку с повышенным содержанием раскисляющих примесей (марганца, кремния). Шов получается беспористый, с хорошими механическими свойствами.

По способу защиты (рис. 65) различают местную и общую защиту свариваемого узла (сварку в контролируемой атмосфере). Основным способом местной защиты является струйная, при которой защитная среда создается газовым потоком при центральной, боковой или комбинированной подаче газа. При центральной подаче газа дуга, горящая между электродом и основным металлом, со всех сторон окружена газом, подаваемым под небольшим избыточным давлением из сопла горелки, расположенного концентрично оси электрода. Это самый распространенный способ защиты. Иногда с целью экономии инертных газов, а также получения оптимальных технологических и металлургических свойств защитной среды применяют горелки, конструкция которых обеспечивает комбинированную защиту двумя концентрическими потоками газов. Например, внутренний поток образуется аргоном, а внешний — углекислым газом. При сварке высокоактивных металлов надо защищать не только расплавленный металл, но и зону металла, нагреваемую при сварке до температуры более 300°C с лицевой и обратной стороны шва. Для расширения струйной защиты с лицевой стороны шва применяют дополнительные колпаки-приставки, надеваемые на сопло горелки. Защита обратной стороны шва обеспечивается поддувом защитного газа. Боковую подачу газа применяют ограниченно.

Наиболее эффективная защита металла шва и зоны термического влияния обеспечивается при сварке в камерах с контролируемой атмосферой. Камеры предварительно продувают или вакуумируют, а потом заполняют защитным (инертным) газом под небольшим давлением.

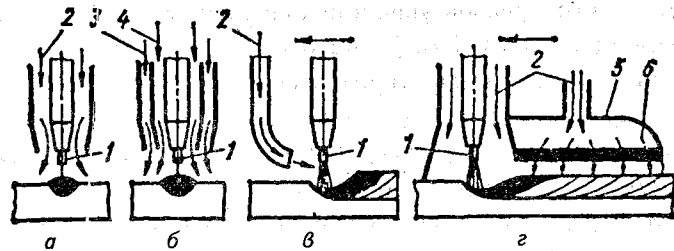


Рис. 65. Подача защитных газов в зону сварки: а — центральная одним concentрическим потоком; б — центральная двумя concentрическими потоками; в — боковая; г — в подвижную камеру (насадку); 1 — электрод; 2 — защитный газ; 3, 4 — наружный и внутренний потоки защитных газов; 5 — насадка; 6 — распределительная сетка

Сварку в защитных газах можно осуществлять вручную, полуавтоматически и автоматически. Ручная сварка применяется при соединении кромок изделий толщиной до 25—30 мм и при выполнении коротких и криволинейных швов. Полуавтоматическая и автоматическая сварки применяются при массовом и крупносерийном производствах.

Сварка в защитных газах производится как неплавящимся, так и плавящимся электродом. Неплавящиеся электроды служат только для возбуждения и поддержания горения дуги. Для заполнения разделки кромок в зону дуги вводят присадочный металл в виде прутков или проволоки. Применяются такие неплавящиеся электроды: вольфрамовые, угольные и графитовые. Вольфрамовые электроды изготовляют из проволоки марки ВТ-15 диаметром 0,8—6 мм, содержащей 1,5—2,0% диоксида тория. Торий способствует более легкому возбуждению и устойчивому горению дуги. Однако торий является радиоактивным веществом, и его применение сопряжено с соблюдением специальных санитарных правил. Для сварки алю-

миния и его сплавов успешно применяют электроды из проволоки марки ВЛ-10 (вольфрам с присадкой лантана). Лантан снижает расход вольфрама и повышает устойчивость горения дуги. Расход вольфрама при сварке незначителен и составляет при сварочном токе 300—400 А около 0,05—0,06 г на метр сварного шва. Угольные и графитовые электроды применяют редко, так как они не обеспечивают достаточно устойчивое горение дуги, а сварной шов получается пористым с темным налетом. Плавящиеся электроды применяют в виде соответствующей сварочной или порошковой проволоки.

§ 36. Защитные газы

Аргон — одноатомный инертный газ без цвета и запаха, тяжелее воздуха. Получают аргон из воздуха. Аргон поставляется двух сортов: высшего и первого. Высший сорт содержит 99,992% аргона, не более 0,006% азота и не более 0,0007% кислорода. Первый сорт содержит аргона 99,987%, азота — до 0,01% и кислорода — не более 0,002%. Аргон поставляется в газообразном виде в баллонах типа А под давлением 15 МПа. Баллоны окрашены в серый цвет с зеленой полосой и зеленой надписью «Аргон чистый».

Аргон применяют при сварке ответственных сварных швов и при сварке высоколегированных сталей, титана, алюминия, магния и их сплавов.

Гелий — одноатомный инертный газ без цвета и запаха. Газообразный гелий производится также двух сортов: гелий высокой чистоты (99,985% гелия) и гелий технический (99,8%). Транспортируется и поставляется в баллонах типа А при максимальном давлении 15 МПа. Баллоны окрашены в коричневый цвет белой надписью «Гелий». Ге-

лий используют так же, как аргон, но значительно реже ввиду высокой стоимости.

Углекислый газ CO_2 не имеет цвета и запаха. Получают его из газообразных продуктов сгорания антрацита или кокса, при обжиге известняка и т. д. Поставляется в сжиженном состоянии в баллонах типа А вместимостью 40 л, в который при максимальном давлении 7,5 МПа вмещается 25 кг углекислоты (при испарении образуется около 12 750 л газа). Для сварки используют сварочную углекислоту. Чистота углекислоты первого сорта должна быть не менее 99,5%, а высшего — 99,8%. Баллоны с углекислотой окрашивают в черный цвет с желтой надписью « CO_2 сварочный». Применяется при сварке низкоуглеродистых и некоторых конструкционных и специальных сталей.

Для снижения влажности углекислого газа рекомендуется установить баллон вентилем вниз и после отставивания в течение 15 минут осторожно открыть вентиль и выпустить из баллона влагу. Перед сваркой необходимо из нормально установленного баллона выпустить небольшое количество газа, чтобы удалить попавший в баллон воздух. Часть влаги задерживается в углекислоте в виде водяных паров, ухудшая при сварке качество шва. Кроме того, при выходе из баллона от резкого расширения происходит снижение температуры углекислоты, и влага, отлагаясь в редукторе, забивает каналы и даже полностью закрывает выход газа. Для предупреждения замерзания влаги между баллоном и редуктором устанавливают электрический подогреватель.

Окончательное удаление влаги после редуктора производится специальным осушителем, наполненным прокаленным медным купоросом, хромистым кальцием или другим осушительным веществом.

§ 37. Сварочные полуавтоматы и автоматы

Аргонодуговая сварка неплавящимся или плавящимся электродом производится на постоянном и переменном токе. Установка для ручной сварки постоянным током состоит из сварочного генератора постоянного тока или сварочного выпрямителя, балластного реостата, газозлектрической горелки, баллона с газом, редуктора и контрольных приборов (амперметра, вольтметра и расходомера газа) (рис. 66).

Источником питания дуги служат сварочные генераторы постоянного тока с жесткой или пологопадающей внешней характеристикой. Для регулирования и получения малых значений сварочного тока и повышения устойчивости горения дуги в сварочную цепь включают балластные реостаты.

Газозлектрические горелки бывают различной конструкции. Наибольшее применение получила горелка типа ЭЗР. Выпускаются горелки типов ЭЗР-66 для сварки током до 150 А, ЭЗР-4—68 — до 500 А и ЭЗР-5—71 — до 800 А.

Электрододержатель типа ЭЗР-3—66 состоит из корпуса, сменного наконечника, рукоятки с устройством включения подачи газа и газотокоподводящего кабеля. Диаметр сопла сменных наконечников — 8 и 10 мм. Они позволяют использовать электроды диаметром 1,5; 2 и 3 мм, рассчитанные на сварочные токи до 150 А. Расход аргона составляет 120—360 л/ч. Масса горелки с газотокопроводящим кабелем — около 3 кг.

Для сварки при больших сварочных токах (до 450 А) применяют также горелки типов АР-10—3 (большая), АР-75, АР-9, снабженные системой водяного охлаждения.

Установка для ручной сварки переменным током состоит из источника питания дуги, осциллятора, балластного реостата, газозлектрической горелки, баллона с газом, редуктора и контрольных приборов.

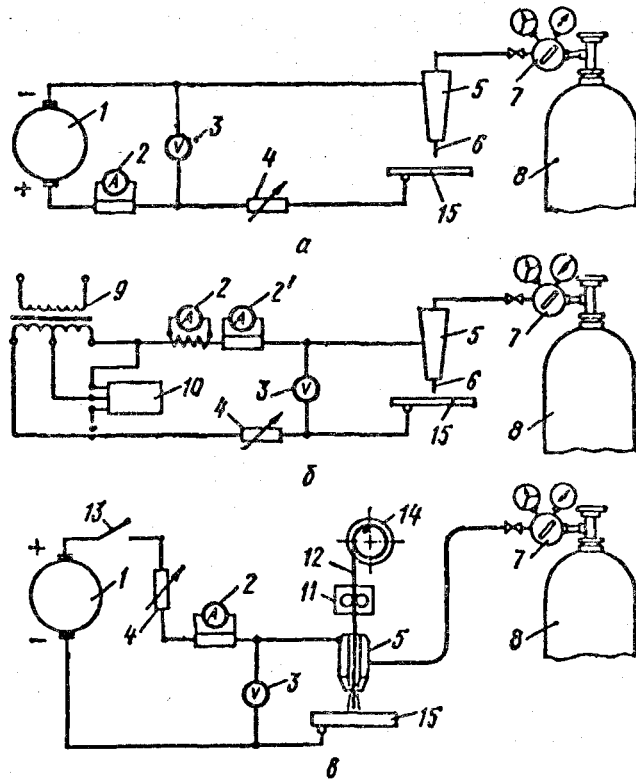


Рис. 66. Электрическая и газовая схемы сварки в защитных газах: *а* — неплавящимся электродом в инертных газах на постоянном токе прямой полярности; *б* — то же, на переменном токе; *в* — плавящимся электродом на постоянном токе обратной полярности; 1 — сварочный преобразователь; 2 — амперметр; 3 — вольтметр; 4 — балластный реостат; 5 — горелка; 6 — вольфрамовый электрод; 7 — редуктор-расходомер для защитного газа; 8 — баллон с защитным газом; 9 — сварочный трансформатор; 10 — осциллятор; 11 — механизм подачи проволоки; 12 — плавящаяся сварочная проволока; 13 — контактор; 14 — катушка с проволокой; 15 — изделие

Источники питания должны иметь повышенное вторичное напряжение, чтобы обеспечить устойчивое горение дуги. Для этого в сварочную цепь включают два сварочных трансформатора с последовательно включенными вторичными обмотками или применяют трансформатор типа ТСДА с повышенным вторичным напряжением холостого хода. Осциллятор обеспечивает быстрое и легкое возбуждение и устойчивое горение дуги. Применяют газозлектрические горелки типов ГРАД-200 и ГРАД-400, отличающиеся легкостью. Горелка ГРАД-200 массой 0,2 кг допускает сварочные токи до 200 А, а горелка ГРАД-400 массой 0,4 кг — до 400 А. Применяются также установки УДАР-300 и УДАР-500 (номинальный сварочный ток 300 и 500 А). Взамен этих установок выпускаются установки типов УДГ-301 и УДГ-501. Установки типов УДГ-301 и УДГ-501 применяют для сварки сплавов легких металлов в аргоне. Такие установки имеют однофазный силовой трансформатор с неподвижным подмагничиваемым шунтом. Сердечник шунта с обмоткой, питаемой постоянным током, расположен перпендикулярно стержням трансформатора, на которых находятся секции первичной и вторичной обмоток. Различают два диапазона регулирования сварочного тока: при параллельном соединении секций обмоток получают большие токи и при их последовательном соединении — малые токи. В пределах каждого диапазона плавное регулирование тока осуществляют подмагничиванием шунта, изменяя ток, питающий его обмотку.

Полуавтоматическая сварка неплавящимся электродом производится шланговым полуавтоматом типа ПШВ-1, состоящим из сопла, вольфрамового электрода, корпуса, сварочной проволоки, рукоятки, механизма подачи сварочной проволоки. ПШВ-1 предназначен для сварки ме-

таллов толщиной 0,5—5 мм. Полуавтомат снабжен электродвигателем, который через редуктор и гибкий вал, проходящий по шлангу, приводит во вращение ролики, расположенные на газозлектрической горелке. Ролики протягивают по шлангу присадочную проволоку и подают ее в зону дуги. Скорость подачи проволоки диаметром 1—2 мм устанавливается в пределах 5—50 м/ч. Сварку осуществляют постоянным или переменным током с включением в сварочную цепь осциллятора. Полуавтомат позволяет выполнять сварку во всех пространственных положениях шва.

Полуавтоматическая сварка плавящимся электродом производится с помощью полуавтоматов типов ПШПА-6, ПШПА-7 и ПШП-9. Первые два предназначены для сварки электродной проволокой диаметром 1,6—2,5 мм при сварочном токе до 300 А, а последний — для сварки малых толщин проволокой диаметром 0,5—1,2 мм при сварочных токах до 180 А. Комплект полуавтомата состоит из переносного пульта управления, механизма подачи электродной проволоки с кассетой и газозлектрической горелки в виде пистолета. Электродная проволока вытягивается из кассеты по шлангу роликами, расположенными в пистолете. Ролики вращаются электродвигателем через редуктор с помощью гибкого привода. Пистолет полуавтомата типа ПШПА-7 предназначен для сварки многослойных швов деталей из алюминия, магния и их сплавов с толщиной кромки до 100—150 мм. Для предохранения от нагрева пистолет имеет водяное охлаждение. Пистолет состоит из сопла, механизма подачи проволоки, шланга для подачи проволоки, шланга для подвода аргона, проводов управления, рукоятки.

Для сварки в монтажных условиях рекомендуется ран-

цевый полуавтомат типа ПДГ-304, имеющий ремни для крепления на спине сварщика. Источником питания служит выпрямитель типа ВДГ-301. Сварочный ток — 315 А, диаметр сварочной проволоки 0,8—2,0 мм, скорость подачи проволоки 0,05—0,2 м/с. Масса механизма полуавтомата ПДГ-304 — 7 кг.

Автоматическая сварка может производиться неплавящимся и плавящимся электродами.

Автомат типа УДПГ-300 служит для сварки в защитном газе. В его комплект входят: сварочная головка, механизм подачи проволоки, электродная проволока, кассета с электродной проволокой, кнопка управления, электродвигатель механизма подачи.

Применяются специализированные сварочные тракторы типа АДСП-2 для сварки черных и цветных металлов толщиной 0,8 мм и более. Автоматы типа АТВ предназначены для сварки труб различного диаметра неплавящимся вольфрамовым электродом и присадочной проволокой диаметром 1,6—2,0 мм.

Сварка в углекислом газе производится полуавтоматическими и автоматическими аппаратами. Полуавтоматическая установка (рис. 67) состоит из сварочного преобразователя постоянного тока, газозлектрической горелки, механизма подачи электродной проволоки, аппаратного шкафа, баллона с углекислым газом, осушителя, подогревателя, редуктора и расходомера. Применяют сварочные преобразователи типов ПСГ-350 или ПСГ-500—2.

Газозлектрические горелки служат для подвода газа и подачи электродной проволоки в зону дуги и для подвода сварочного тока к электродной проволоке. Они выпускаются различных типов для малых сварочных токов (до 300 А) и для сварки на больших токах (до 1000 А). Последние снабжены водяным охлаждением. Механизм подачи электрод-

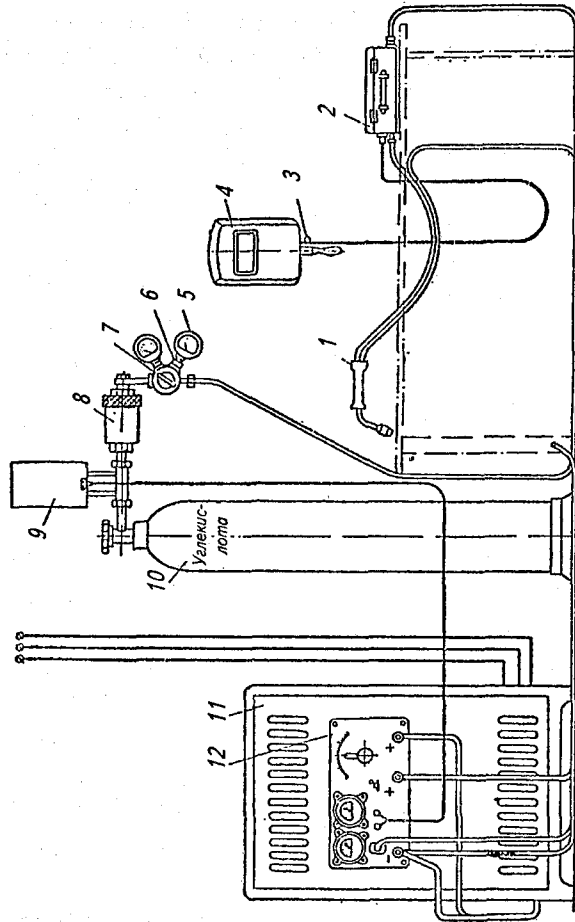


Рис. 67. Схема поста полуавтоматической сварки тонкой электродной проволокой в углекислом газе: 1 — держатель; 2 — подающий механизм; 3 — кнопка включения; 4 — защитный щиток; 5 — манометр на 6 ат.; 6 — переходной штуцер для установки манометра; 7 — редуктор кислородный с манометром высокого давления; 8 — осушитель газа; 9 — подогреватель газа; 10 — баллон с углекислым газом; 11 — сварочный выпрямитель (либо генератор); 12 — пульт управления

ной проволоки используется от полуавтоматов типов ПШПА-6, ПШПА-7. Подача электродной проволоки производится с постоянной скоростью независимо от напряжения дуги. Аппаратный шкаф содержит электрооборудование, необходимое для подвода сварочного тока и тока цепей управления к соответствующей аппаратуре установки. Осушитель газа типа РОК-1, начиненный обезвоженным медным купоросом, применяют для удаления влаги из углекислого газа. Подогреватель с электронагревательным элементом служит для подогрева углекислоты. Это необходимо для предупреждения замерзания редуктора, которое может произойти от понижения температуры газа при редуцировании.

Широкое применение получил полуавтомат типа А-547ум (ПДГ-309), предназначенный для сварки листового материала толщиной до 3 мм во всех пространственных положениях электродной проволокой диаметром 0,8—1,2 мм с постоянным током обратной полярности. Источниками питания дуги являются выпрямители типа ВС-300Б или ВДГ-301. Сварочный ток устанавливается в пределах 60—300 А. Механизм подачи электродной проволоки вмонтирован в чемоданчик и состоит из электродвигателя постоянного тока, роликов и катушки с проволокой. Реостат, включенный в обмотку двигателя, позволяет плавно изменять скорость вращения электродвигателя и тем самым изменять скорость подачи электродной проволоки в пределах 100—340 м/ч. Применяется электродная проволока марок Св-12ГС, Св-08ГС и Св-08Г2С.

Для автоматической сварки применяют специальные сварочные аппараты типов АДПГ-500, АСУ-6 или сварочные тракторы типов АДС-1000—2, ТС-17М, переоборудованные для сварки в углекислом газе.

§ 38. Аргонодуговая сварка

При *аргонодуговой сварке* постоянным током неплавящимся электродом используют прямую полярность. Дуга горит устойчиво, обеспечивая хорошее формирование шва. При обратной полярности устойчивость процесса снижается, вольфрамовый электрод перегревается, что приводит к необходимости значительно уменьшить сварочный ток. Вследствие этого производительность процесса снижается. При автоматической и полуавтоматической сварках плавящимся электродом применяется постоянный ток обратной полярности, при котором обеспечивается высокая производительность процесса. Кроме того, при сварке алюминия, магния и их сплавов происходит мощная бомбардировка поверхности сварочной ванны положительными ионами, что наряду с процессом катодного распыления приводит к разрушению пленки оксидов алюминия и магния, облегчая процесс качественной сварки без применения флюсов.

При сварке переменным током неплавящимся электродом необходимо, чтобы источник тока имел более высокое напряжение холостого хода, что обеспечивает устойчивое горение дуги и стабилизирует процесс сварки. Однако в связи с ограничением напряжения по условиям безопасности применяют ток допустимого напряжения, на который накладывается ток высокой частоты, включая в сварочную цепь осциллятор.

При сварке переменным током происходит частичное выпрямление тока вследствие различной электронной эмиссии вольфрамового электрода и свариваемого изделия. В периоды, когда вольфрамовый электрод является катодом, электронная эмиссия имеет большую интенсивность, проводимость дугового промежутка повышается, а напряжение на дуге понижается. Вследствие этого сварочный ток увеличивается. В периоды, когда катодом является изде-

лие, электронная эмиссия менее интенсивна, в результате чего сварочный ток уменьшается. Ввиду этого появляется некоторая составляющая постоянного тока, что приводит к уменьшению тепловой мощности дуги и значительно затрудняет разрушение оксидной пленки при сварке алюминиевых и магниевых сплавов и тем самым способствует образованию поверхностных и внутренних дефектов. Поэтому при сварке переменным током принимают меры по устранению или снижению составляющей постоянного тока. Для этой цели в сварочную цепь последовательно включают конденсаторную батарею 100 мкФ на 1 А сварочного тока или аккумуляторную батарею (положительный полюс батареи присоединяют к электроду). Применяется также последовательное включение в сварочную цепь активного сопротивления, но такая мера снижает устойчивость горения дуги, и поэтому при такой схеме сварочной цепи приходится использовать источники питания дуги с повышенным напряжением холостого хода до 120 В.

При ручной сварке неплавящимся электродом возбуждение дуги производят на угольной или графитовой пластинке и некоторое время разогревают электрод, а затем быстро переносят дугу в начало разделки кромок. При сварке переменным током возбуждение дуги осуществляют с помощью осциллятора без короткого замыкания электрода на изделие.

При полуавтоматической и автоматической сварке возбуждение дуги производят путем касания электродной проволокой вводной планки, которую устанавливают для предупреждения дефекта в начале свариваемого шва.

Аргонодуговой сваркой можно выполнять швы стыковых, тавровых и угловых соединений. При толщине листов до 2,5 мм рекомендуется производить сварку с отбортовкой кромок. При малом зазоре порядка 0,1—0,5 мм можно сваривать тонколистовой материал толщиной 0,4—4 мм

без отбортовки и разделки кромок. При этом чем меньше толщина свариваемых встык листов, тем меньше допустимый зазор. Листы толщиной 4—12 мм сваривают с V-образной разделкой кромок при угле разделки 50—70°. Допустимый зазор в стыке составляет не более 1,0 мм. Расход аргона должен обеспечить надежную защиту электрода и металла сварочной ванны от воздействия воздуха. Следует учитывать конфигурацию свариваемого изделия, чтобы при экономном расходовании газа создать хорошую защиту шва.

Рекомендуются следующие соотношения:

Диаметр вольфрамового электрода, мм	1,5—2,0	2,5—3	3,5—4	4,5—6
Диаметр выходного отверстия сопла, мм	5—7	7—9	9—12	12—14
Расход аргона, л/мин	2—3	4—5	6—8	10—18

Перед началом сварки следует продуть шланг и горелку небольшой порцией аргона. Возбуждение дуги следует производить спустя 3—4 с после подачи аргона в горелку. Струя аргона должна защищать не только сварочную ванну, но и обратную сторону шва. Если доступ к обратной стороне шва затруднен, то применяют подкладки или флюсовую подушку.

Ручную сварку листов малой толщины производят левым способом, при котором горелка перемещается по шву справа налево. Листы большой толщины (более 12 мм) сваривают правым способом, т. е. горелку ведут слева направо. Ось мундштука горелки при сварке тонких листов (толщиной до 4 мм) должна составлять с поверхностью свариваемых листов 75—80°. Присадочный пруток вводится в зону дуги под углом 10—15° к поверхности свариваемых листов, т. е. почти перпендикулярно оси мундштука горелки. При сварке листов большей толщины ось мундштука

горелки располагают почти перпендикулярно к поверхности свариваемых листов. Длина дуги при аргонодуговой сварке небольшая и составляет 1,5—2,5 мм при длине выступающего вольфрамового электрода в пределах 6—12 мм. Дугу следует гасить постепенно, увеличивая дуговой промежуток. Подачу аргона в зону дуги следует прекратить лишь спустя 10—15 секунд после гашения дуги, чтобы защитить металл шва от воздействия воздуха до его затвердевания.

Автоматическая и полуавтоматическая сварка плавящимся электродом производится при постоянной скорости подачи электродной проволоки независимо от напряжения дуги. Постоянство длины дуги поддерживается автоматическим саморегулированием. Применяется электродная проволока диаметром 0,5—2,0 мм. Листы толщиной до 5 мм соединяют стыковой сваркой без разделки кромок, а при толщине листов более 5 мм производят U-образную разделку шва с углом разделки 30—50°.

Сварочный ток влияет на характер переноса металла в шов. С увеличением тока капельный перенос металла электрода сменяется струйным, и глубина проплавления увеличивается. Значение тока, при котором металл электрода начинает стекать в сварочную ванну в виде тонкой струи, называют критическим. Практика показала, что при сварке алюминиевых сплавов критический ток составляет 70 А на 1 мм² сечения электродной проволоки, при сварке сталей — 60—120 А на 1 мм² сечения проволоки.

Подготовка поверхностей под сварку включает обезжиривание растворителями, бензином авиационным или ацетоном техническим, а затем удаление оксидной пленки механической зачисткой или химическим способом. Механическую зачистку производят металлическими щетками из проволоки диаметром до 5 мм. Химический способ включает травление в течение 0,5—1,0 минуты раствором, состоящим из 45—55 г едкого натра технического и 40—

50 г фтористого натрия технического на 1 л воды, промывку проточной водой, нейтрализацию в 25—30%-ном водном растворе азотной кислоты в течение 1—2 минут, промывку в проточной воде, затем в горячей воде, сушку до полного испарения влаги. Обработку рекомендуется выполнять не более чем за 2—4 часа до сварки.

§ 39. Сварка в углекислом газе

Сварку в углекислом газе производят почти во всех пространственных положениях. Сварку осуществляют при питании дуги постоянным током обратной полярности. При сварке постоянным током прямой полярности снижается стабильность горения дуги, ухудшается формирование шва и увеличиваются потери электродного металла на угар и разбрызгивание. Однако в этом случае коэффициент наплавки в 1,6—1,8 раза выше, чем при обратной полярности. Это качество используют при наплавочных работах. Сварку можно производить и на переменном токе при включении в сварочную цепь осциллятора.

Источниками питания дуги постоянным током служат сварочные выпрямители с жесткой внешней или универсальной характеристиками.

Листовой материал из углеродистых и низколегированных сталей успешно сваривают в углекислом газе. Листы толщиной 0,6—1,0 мм сваривают с отбортовкой кромок. Допускается также сварка без отбортовки, но с зазором между кромками не более 0,3—0,5 мм. Листы толщиной 1,0—8,0 мм сваривают без разделки кромок, при этом зазор между свариваемыми кромками должен быть не более 1 мм. Листы толщиной 8—12 мм сваривают V-образным швом, а при больших толщинах — X-образным швом. Перед сваркой кромки изделия должны быть тщательно очищены от грязи, краски, окислов и окалины.

Наилучшие результаты дает сварка при больших плотностях тока, обеспечивающих более устойчивое горение дуги, высокую производительность процесса и снижение потерь металла на разбрызгивание. Для этого при сварке в углекислом газе применяют электродную проволоку диаметром 0,5—2,0 мм и выполняют сварку при плотности тока не менее 80 А/мм².

Сварочная проволока применяется из низкоуглеродистой стали с повышенным содержанием кремния и марганца марок Св-08ГС, Св-08Г2С. Поверхность проволоки должна быть чистой от смазки, антикоррозионных покрытий, ржавчины и загрязнений, нарушающих устойчивость режима сварки.

Режим сварки выбирается в зависимости от толщины свариваемых кромок или величины катета шва (табл. 29).

Таблица 29

Примерные режимы сварки в углекислом газе угловых швов металлических конструкций

Катет шва, мм	Диаметр сварочной проволоки, мм	Число слоев	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Вылет электрода, мм	Расход газа на один слой, л/с
1,2—2	0,6	1	60—70	18—20	8—10	0,08—0,1
1,2—3	0,8	1	80—120	18—22	8—12	0,1—0,13
2—4	1,2	1	90—180	20—24	10—15	0,13—0,17
5—6	1,6	1	230—360	20—35	16—25	0,27—0,3
5—6	2	1	250—380	27—35	20—30	0,27—0,3
7—9	2	1	320—380	30—36	20—30	0,3—0,33
9—11	2	2	320—380	30—36	20—30	0,3—0,33
11—13	2	3	320—380	30—36	20—30	0,3—0,33

Примечание. При сварке в положениях, отличных от нижнего, диаметр сварочной проволоки не более 1,4 мм; значения тока и напряжения дуги минимальные.

Сварочный ток и скорость сварки в значительной степени зависят от размеров разделки свариваемого шва, т. е. от количества наплавляемого металла. Напряжение устанавливается таким, чтобы получить устойчивый процесс сварки при возможно короткой дуге (1,5—4,0 мм). При большей длине дуги процесс сварки неустойчивый, увеличивается разбрызгивание металла, возрастает возможность окисления и азотирования наплавляемого металла.

Скорость подачи электродной проволоки зависит от сварочного тока и напряжения. Практически она устанавливается так, чтобы процесс протекал устойчиво при вполне удовлетворительном формировании шва и незначительном разбрызгивании металла.

Расход углекислого газа устанавливается так, чтобы обеспечить полную защиту металла шва от воздействия атмосферного воздуха. При сварке толстых изделий сварочными токами 500—1000 А расход газа достигает 15—20 л/мин.

Расстояние от торца мундштука горелки до сварного соединения должно быть при сварочных токах до 150 А в пределах 7—15 мм, а при токах до 500 А — в пределах 15—25 мм.

Полуавтоматическую сварку можно вести углом вперед, перемещая горелку справа налево, и углом назад, перемещая горелку слева направо. При сварке углом вперед глубина проплавления меньше, наплавляемый валик получается широкий. Такой метод применяют при сварке тонкостенных изделий и при сварке сталей, склонных к образованию закалочных структур. При сварке углом назад глубина проплавления больше, а ширина валика несколько уменьшается. Угол наклона горелки относительно вертикальной оси составляет 5—15°.

Перед началом сварки следует отрегулировать расход углекислого газа и только спустя 30—40 секунд возбудить

дугу и приступить к сварке. Это необходимо, чтобы газ вытеснил воздух из шлангов и каналов сварочной горелки.

Вылет электродной проволоки устанавливается в пределах 8—15 мм при диаметре проволоки 0,5—1,2 мм и 15—35 мм при диаметре проволоки 1,2—3 мм.

В процессе сварки электроду сообщается такое движение, чтобы получилось хорошее заполнение металлом разделки свариваемых кромок и удовлетворительное формирование наплавляемого валика. Эти движения аналогичны движениям электрода при ручной дуговой сварке качественными электродами. Рекомендуется для снижения опасности образования трещин первый слой сваривать при малом сварочном токе. Заканчивать шов следует заполнением кратера металлом. Затем прекращается подача электродной проволоки, и ток выключается. Подача газа на заваренный кратер продолжается до полного затвердевания металла.

При сварке в углекислом газе следует помнить об отвлекающем действии выделяющегося оксида углерода СО. Поэтому при сварке в резервуарах и закрытых помещениях необходимо иметь хорошую вентиляцию.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается сущность сварки в защитных газах?
2. Какие способы защиты зоны сварки используют при сварке в защитных газах?
3. В каком режиме рекомендуется работать при сварке плавящимся электродом в защитных газах?
4. В чем особенности сварки в углекислом газе?
5. Какие разновидности аргонодуговой сварки вы знаете?

..... ГЛАВА 11

КОНТАКТНАЯ СВАРКА

.....

§ 40. Сущность контактной сварки

Контактной называется сварка с применением давления, при которой нагрев производится теплотой, выделяющейся при прохождении электрического тока через находящиеся в контакте соединяемые части. Количество выделяющейся теплоты (Дж) может быть определено по формуле $Q = 0,24IRt$, где I — ток (А); R — сопротивление участка цепи в месте контакта деталей (Ом); t — продолжительность действия тока, секунды.

Из формулы видно, что количество теплоты зависит от тока в сварочной цепи. Поэтому для быстрого нагрева свариваемых кромок применяют большие токи, достигающие нескольких десятков тысяч ампер. Так как электрическое сопротивление прохождению тока в месте контакта свариваемых деталей велико, то на этом малом участке выделяется большое количество теплоты, которое вызывает быстрый нагрев металла. С повышением температуры металла в зоне контакта его сопротивление возрастает, следовательно, еще более возрастает количество выделяющейся

теплоты и ускоряется процесс нагрева металла. Таким образом, применение больших сварочных токов позволяет осуществить быстрый нагрев металла и выполнить сварку за десятые и даже сотые доли секунды. Режим контактной сварки характеризуется совместным действием основных параметров — тока и времени его протекания, силы сжатия и времени ее действия.

По основным параметрам контактной сварки — тока и времени его действия — различают два режима процесса сварки — жесткий и мягкий. Жесткий режим характеризуется применением больших токов и малым временем процесса сварки. Такой режим применяется для сталей, чувствительных к нагреву и склонных к образованию закалочных структур, а также при сварке легкоплавких цветных металлов и их сплавов. Мягкий режим характеризуется большей продолжительностью процесса и постепенным нагревом свариваемого металла. Таким режимом пользуются при сварке углеродистых сталей, обладающих низкой чувствительностью к тепловому воздействию.

Машины контактной сварки (рис. 68) состоят из двух основных частей — электрической и механической. Электрическая часть машин состоит из трансформатора, переключателя ступеней (или регулятора тока), регулятора времени, прерывателя тока и токоподводящих проводов и устройств. Трансформатор — однофазный с секционированной первичной обмоткой, позволяющей с помощью переключателя ступеней изменять значение напряжения во вторичной обмотке. При первичном (220 или 380 В) и вторичном (1—20 В) напряжениях сварочный ток достигает нескольких десятков килоампер. Вторичная обмотка трансформатора у машин малой мощности состоит из отдельных гибких медных полос, охлаждаемых воздухом, у машин средней и большей мощности — из пустотелых медных витков, охлаждаемых проточной водой.

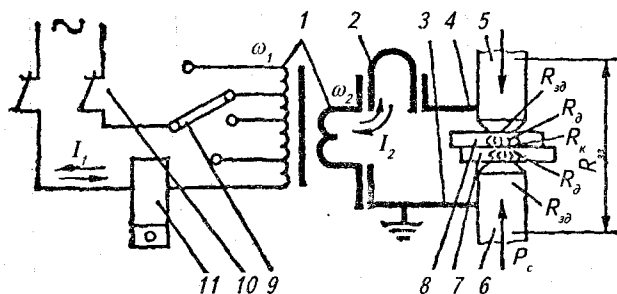


Рис. 68. Принципиальная схема контактной машины: 1 — трансформатор; 2 — гибкая перемычка; 3, 4 — токоподводы; 5, 6 — электроды; 7, 8 — детали; 9 — переключатели; 10 — контактор; 11 — регулятор времени

График изменения сварочного тока и усилия сжатия, совмещенные во времени, называют циклограммой. Для управления циклом работы машины применяют устройство, называемое регулятором времени. На практике применяют четырехпозиционный регулятор времени типа РВЭ-7, имеющий четыре последовательные выдержки времени для каждого элемента цикла сварки: сжатие, сварка, проковка и пауза. Регулятор имеет металлический корпус с выведенными наружу регулировочными ручками. Длительность времени всех элементов плавно регулируется: три диапазона в пределах 0,03—1,35 секунды и один для периода сварки в пределах от 0,03—6,75 секунды.

Включение и выключение машин контактной сварки производится со стороны первичной обмотки сварочного трансформатора. В процессе сварки необходимо включать и выключать большой ток десятки раз в секунду. Для этой цели машины оборудованы прерывателями. Машины небольшой мощности и неавтоматического действия имеют простые механические или электромагнитные контакторы.

При больших мощностях такие контакторы имели бы большие габариты и низкую производительность. Они конструктивно не смогли бы обеспечить точное дозирование и стабильность подачи энергии. Поэтому в машинах средней и большой мощности устанавливают игнитронные и тиристорные прерыватели, выполняющие синхронное включение и выключение тока с определенной продолжительностью его импульсов.

Механическая часть состоит из станины, механизмов и узлов, обеспечивающих точную фиксацию и необходимое давление для сжатия свариваемых деталей.

Контактная сварка является высокопроизводительным процессом и легко поддается механизации и автоматизации. Это способствует широкому применению контактной сварки в строительстве и промышленности, например, для сварки стыковых и крестообразных соединений арматуры железобетонных конструкций, элементов листовых конструкций из углеродистой стали или алюминиевых сплавов, для соединения элементов стальных конструкций, для сварки труб, а также при электромонтажных работах для сварки медных и алюминиевых проводов.

Основными видами контактной сварки являются стыковая, точечная и шовная.

§ 41. Виды контактной сварки

Стыковая контактная сварка — это сварка, при которой соединение свариваемых частей происходит по всей поверхности стыкуемых торцов. Сварка может быть выполнена сопротивлением и оплавлением (непрерывным и прерывистым).

Сварка сопротивлением. Обработанные поверхности

двух деталей приводят в плотное соприкосновение и включают сварочный ток. После нагрева стыкуемых поверхностей до пластического состояния производят осадку (сжатие) и одновременно выключают ток. Таким способом сваривают детали из низкоуглеродистых сталей, имеющих круглое или прямоугольное сечение площадью до 1000 мм², и легированных сталей площадью до 20 мм². Цветные металлы и их сплавы хорошо свариваются сваркой сопротивлением. Этим способом можно сваривать и разнородные металлы (сталь с медью, латунь с медью, различные сорта сталей).

Сварка сопротивлением требует высокой чистоты свариваемых поверхностей и строгого контроля температуры нагрева. Поэтому этот способ не получил большого применения.

Сварка непрерывным оплавлением выполняется в такой последовательности. Детали, закрепленные в зажимах машины, плавным перемещением подвижного зажима приводят в соприкосновение при включенном сварочном токе. При этом происходит оплавление свариваемых торцов деталей. Затем производят осадку на установленную величину и выключают ток. Такой способ применяют при сварке тонкостенных труб, листов, рельсов и др. Допускается сварка разнородных металлов.

Достоинством сварки с непрерывным оплавлением является высокая производительность, недостатком — значительные потери металла на угар и разбрызгивание.

Сварка прерывистым оплавлением производится чередованием плотного и неплотного контакта свариваемых поверхностей деталей при включенном сварочном токе. Небольшие возвратно-поступательные движения подвижного зажима периодически замыкают сварочную цепь в месте контакта деталей до тех пор, пока торцы их не нагреют-

ся до температуры 800—900°С. Затем производят оплавление и осадку. Прерывистым оплавлением сваривают низкоуглеродистые стали в тех случаях, когда мощность машины недостаточна для производства сварки с непрерывным оплавлением. Этот способ также связан с дополнительным расходом металла, поэтому иногда подогрев производят способом сопротивления (включают ток при замкнутой сварочной цепи), а затем разводят детали и переходят к оплавлению и осадке.

Подготовка деталей к сварке зависит от принятого способа сварки. Сварка сопротивлением требует высокой точности обработки и плотности прилегания свариваемых поверхностей. Недостатки подгонки (перекос, зазор) приводят к неравномерному прогреву деталей, образованию оксидов и тем самым снижению качества сварного соединения. Допустимые отклонения размеров стыкуемых поверхностей круглых сечений — не более 2%, прямоугольных — не более 1,5%. Свариваемые торцы деталей подвергают тщательной механической или химической очистке. Должны быть хорошо очищены также поверхности соприкосновения деталей с зажимным устройством стыковой машины для получения хорошего контакта.

Установочная длина — длина конца свариваемой детали, выступающего из зажима машины, — значительно влияет на сварочный процесс. Чем больше установочная длина, тем выше сопротивление контура с деталями и больше потребляемая мощность; детали разогреваются на большой длине, поэтому осадка, а отсюда и сварка получается некачественная. При малой установочной длине детали нагреваются неравномерно и недостаточно, так как значительная часть теплоты теряется через зажимы машины.

При сварке сплошных сечений установочная длина должна составлять 0,4—0,7 от диаметра заготовки (или от сто-

роны квадрата). При сварке листов эта величина зависит от толщины металла и протяженности стыка. Например, при толщине листа 2—8 мм и длине стыка до 200 мм установочная длина составляет 10—12 мм; при длине стыка 400—800 мм — 13—16 мм, а при длине стыка 800—1000 мм — 14—17 мм.

Припуск на сварку берется небольшой, так как он расходуется только на осадку. Для деталей диаметром (или со стороной квадрата) до 50 мм припуск на осадку составляет 0,3—0,5 от диаметра, а для деталей диаметром до 100 мм — 0,15—0,2 от диаметра.

Давление осадки при сварке низкоуглеродистых сталей определяют исходя из значений удельного давления и площади сечения контакта сварки. На автоматических машинах удельное давление осадки составляет 40—60 МПа, а на неавтоматических машинах — 30—40 МПа.

Электрические параметры процесса сварки определяют в зависимости от материала свариваемых деталей и площади сечений стыкуемых поверхностей. Напряжение холостого хода составляет 1,5—3 В. При этом большие значения принимают для больших сечений — 500—1000 мм². Плотность тока принимается для низкоуглеродистых сталей в пределах 20—60 А/мм², для цветных металлов и сплавов — 60—150 А/мм². Удельная мощность при сварке сталей сплошного сечения составляет 0,12—0,15 кВ·А/мм². Для меди удельная мощность достигает 0,5—1,6 кВ·А/мм², для алюминия — 0,2—0,6 кВ·А/мм².

Сварка оплавлением допускает менее тщательную обработку свариваемых торцов, чем при сварке сопротивлением, так как часть металла зоны сварки оплавляется. Детали под сварку могут нарезать пресс-ножницами и даже кислородной резкой (с последующей очисткой от окалины и шлака). Допускаются большие отклонения размеров се-

чений (круглых — до 15%, прямоугольных — до 12%). Припуск расходуется на оплавление и осадку. Для углеродистых и низколегированных сталей величину припуска принимают в зависимости от площади сечения свариваемого металла. При сечениях до 200 мм² припуск составляет примерно 60% от диаметра (или стороны квадрата), а более 200 мм² — до 50% от диаметра свариваемых поверхностей. При определении припуска необходимо учитывать также зазор между свариваемыми поверхностями. Зазор при площади сечения 100—1000 мм² составляет 1,5—4 мм, свыше 1000 мм² — до 8 мм. Плотность тока, расход электроэнергии и необходимая мощность меньше, чем при сварке сопротивлением. Для поверхностей площадью сечения 100—200 мм² плотность сварочного тока составляет 10—25 А/мм². Удельная мощность при сварке углеродистой стали составляет 0,04 — 0,07 кВ·А/мм².

Стыковая сварка применяется при соединении арматурных стержней железобетонных изделий. Металл заготовки почти полностью используется, так как из коротких отрезков можно сваривать стержни требуемой длины. Для получения качественной сварки выбирают практически наилучший режим и производят контрольную проверку сваренных стыков на разрыв и угол загиба. Участки свариваемых стержней, зажимаемые в электродах стыковой машины, должны быть очищены до металлического блеска. Для этого используют установку с вращающимися стальными щетками, шарошками или абразивными кругами. Торец должен иметь прямой срез. Это обеспечивает хорошую центровку, уменьшает расход времени и металла на оплавление.

Точечная контактная сварка — это сварка, при которой соединение элементов происходит на участках, ограниченных площадью торцов электродов, подводящих ток и передающих усилие сжатия (рис. 69).

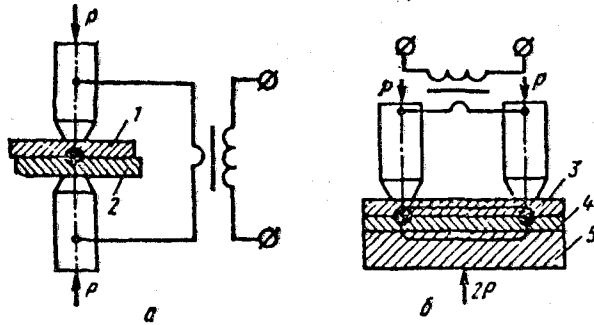


Рис. 69. Схема точечной контактной сварки: *а* — двусторонней; *б* — односторонней; 1, 2 — заготовки; 3, 4 — верхний и нижний лист (ток протекает через нижний лист); 5 — токопроводящая медная подкладка

Свариваемые листы накладывают друг на друга и зажимают между металлическими электродами, к которым от трансформатора подводится сварочный ток. Нагрев металла происходит при замыкании сварочной цепи. Наибольшее количество теплоты выделяется на участке наибольшего сопротивления цепи, т. е. в зоне соединения свариваемых листов. Здесь металл расплавляется. После выключения тока и осадки из образовавшейся жидкой металлической ванны кристаллизуется сварная точка.

Подготовка поверхностей к сварке заключается в тщательной механической (абразивными материалами, пескоструйным аппаратом, металлической щеткой) или химической (травлением) очистке с обеих сторон от грязи, масла, оксидов. Хорошая очистка и плотное прилегание поверхностей обеспечивают высокое качество сварной точки.

Цикл сварки состоит из сжатия свариваемых заготовок, включения и выключения сварочного тока и снятия усилия сжатия. Применяют различные способы совмещения периодов действия сварочного тока и действия давления сжатия. Например, после выключения сварочного тока усилие

сжатия увеличивают. Это обеспечивает хорошее формирование металла и позволяет получить сварную точку повышенной прочности. Такой способ применяют для сварки изделий из низкоуглеродистой стали повышенной толщины. Листы обжимают большим усилием перед сваркой или сваривают при меньшем давлении с последующим обжатием повышенным усилием при выключенном токе. Этот способ применяется при сварке листов больших толщин, когда необходимо обеспечить формирование и отвердевание сварной точки.

Размеры сварной точки зависят от диаметра электрода сварочного тока и продолжительности цикла сварки. Процесс сварки может быть выполнен при жестком и мягком режимах. Мягкий режим определяется относительно малой плотностью тока ($70\text{--}160\text{ А/мм}^2$) и большей длительностью цикла (2—3 секунды) при сравнительно малом удельном давлении. Жесткий режим выполняют при больших плотностях тока ($160\text{--}360\text{ А/мм}^2$) и удельных давлениях и малой длительности процесса (0,2—1,5 секунды). Диаметр сварной точки зависит от толщины свариваемых листов и составляет 1—1,5 от диаметра электрода. Диаметр электрода принимается на 3—4 мм больше суммарной толщины свариваемых листов.

Рекомендуются следующие режимы точечной сварки. Для низкоуглеродистых сталей толщиной до 4 мм, используемых в строительных конструкциях, применяют жесткий режим при плотности сварочного тока до $300\text{--}360\text{ А/мм}^2$ и продолжительности цикла сварки 0,8—1,1 секунды. Удельное давление составляет $15,0\text{--}70,0\text{ МПа}$. При толщине металла более 4 мм рекомендуются мягкие режимы, осуществляемые при плотности тока до 160 А/мм^2 и продолжительности цикла до 2,5—3 секунд. Удельное давление достигает $100\text{--}120\text{ МПа}$. При сварке алюминия и его сплавов применяют жесткие режимы при высоких плотностях тока, достигающих 1600 А/мм^2 , удельных давлениях

до 150 МПа при продолжительности цикла 0,1—0,25 секунды. При этом свариваемые поверхности должны быть особенно тщательно очищены от пленки оксидов.

Точечная сварка применяется при изготовлении арматуры железобетонных изделий, плоских и угловых сеток, а также различных пространственных каркасов. Сваривают пересекающиеся стержни или стержни с плоскими элементами — листом, полосой, швеллером и др. В начальный момент контактируют небольшие поверхности, и для быстрого разогрева достаточна небольшая мощность. Пластическая деформация контактирующих поверхностей приводит к увеличению площади соприкосновения. Вместе с этим происходит выдавливание из зоны контакта шлака и других неметаллических включений. Такое течение процесса позволяет при сварке стержней диаметром до 60 мм использовать машины относительно небольшой мощности.

Шовная контактная сварка — это сварка, при которой соединение элементов выполняется внахлестку в виде непрерывного или прерывистого шва вращающимися дисковыми электродами, к которым подведен ток и приложено усилие сжатия.

Применяют три способа шовной сварки: непрерывную, прерывистую с непрерывным вращением роликов и прерывистую с периодическим вращением роликов.

Непрерывную шовную сварку выполняют сплошным швом при постоянном давлении роликов на свариваемые листы заготовки и при постоянно включенном сварочном токе в течение всего процесса сварки. При этом способе имеют большое значение тщательная зачистка свариваемых поверхностей, равномерная толщина листов и однородность химического состава металла. Даже при небольших нарушениях подготовки свариваемых кромок сварной шов получается низкого качества с прожогами и непроварами. По этим причинам метод не получил широкого распространения.

Прерывистую сварку с непрерывным вращением роликов также выполняют при постоянном давлении сжатия, но сварочная цепь периодически замыкается и размыкается. При этом способе шов формируется в виде сварных точек, перекрывающих друг друга. Шов получается более высокого качества.

Прерывистую сварку с периодическим вращением роликов выполняют при постоянном давлении сжатия, но сварочная цепь замыкается в момент остановки роликов (шаговая сварка). Такой способ дает более качественный шов, так как обеспечивает хорошее формирование сварочной точки. Однако машины для такого способа отличаются сложностью конструкции и малой производительностью.

Широко применяется прерывистая шовная сварка с непрерывным вращением роликов при постоянном давлении сжатия в течение процесса сварки. Этим способом сваривают швы различных резервуаров и емкостей, а также конструкций из листового металла. Наиболее часто применяют швы с отбортовкой и внахлестку. При соединении с отбортовкой листов толщиной до 1 мм ширина отбортовки берется до 12 мм, при толщине листов до 2 мм — 20 мм. При нахлесточном соединении ширину нахлеста берут в пределах 10—20 мм.

Низкоуглеродистая сталь и тонкая нержавеющая сталь (типа X18H9) хорошо свариваются шовной сваркой. Сварку листов из низкоуглеродистой стали при суммарной толщине до 2 мм производят роликами с шириной контактной поверхности 6 мм. Давление сжатия достигает 4 кН, продолжительность импульсов тока в сварочной цепи составляет 0,04—0,06 секунды, перерыв между импульсами тока — 0,02—0,04 секунды. Сварочный ток достигает 8—16 кА, скорость сварки — 2 м/мин. При суммарной толщине листов до 4 мм ширина контактной поверхности роликов составляет 8,5—10 мм, давление сжатия находится в пределах 6,5—8,4 кН, продолжительность сварки — 0,08—0,12 се-

кунды, а перерывов — 0,06—0,10 секунды. Сварочный ток достигает 20 кА, скорость сварки — 1,4—1,6 м/мин. При сварке нержавеющей сталей сварочный ток берется меньше указанных норм на 35—40%. Сварка листов из алюминия и его сплавов выполняется при сварочных токах 22—40 кА. Скорость сварки не превышает 1 м/мин, давление сжатия достигает 2,5—5,4 кН, продолжительность импульсов сварочного тока составляет только 15—30% времени одного цикла.

Разновидностью шовной сварки является шовно-стыковая сварка труб с продольным сварным швом. Из стальной ленты необходимой ширины специальными формирующими роликами подготавливают трубную заготовку с верхним расположением стыка кромок заготовки. Заготовка подается стыком под сварочные ролики, к которым подводится сварочный ток от трансформатора. Давление сжатия передается заготовке через нажимные ролики. После заварки шва производится его обработка фрезой, правка и разрезка заготовки на трубы заданных размеров. Этим способом изготавливают трубы диаметром 14—400 мм при толщине стенок 0,5—12,5 мм. Скорость сварки достигает 10—15 м/мин.

§ 42. Оборудование для контактной сварки

Для стыковой контактной сварки используют контактные машины общего назначения (универсальные) и специальные (для сварки арматуры, трубопроводов и др.).

В строительной промышленности для стыковой сварки применяются машины типов АСИФ, МСР, МСМ и МСГ.

Машины стыковой сварки оборудованы механизированным приводом осадочноподающего механизма и пневматическими зажимными устройствами. Так, машина типа МСМУ-150 (выпускается взамен машины типа МСМ-150),

предназначена для сварки труб, стержней и других заготовок из низкоуглеродистой стали с площадью сечения до 2000 мм². Машина производит сварку непрерывным оплавлением в автоматическом режиме и полуавтоматическом с предварительным подогревом торцов свариваемых деталей (вручную). Машина имеет станину из двух стоек и горизонтальной плиты, зажимы радиального типа с пневматическим приводом. Левый неподвижный зажим изолирован от станины, правый подвижный зажим закреплен на двух направляющих. При оплавлении и осадке перемещение подвижного зажима производится электромеханическим приводом.

В настоящее время взамен машин МСМУ-150 выпускаются конструктивно улучшенные машины того же назначения марки МС-2008.

Для сварки оплавлением и оплавлением с подогревом деталей больших сечений из низкоуглеродистой и низколегированной сталей применяются машины марок МСГА-300 (до 3000 мм²), МСГА-500 и МСГУ-500 (до 8000 мм²), отличающиеся мощностью сварочного трансформатора. Машины снабжены гидравлическим приводом, допускающим получать различные скорости при подогреве, оплавлении и осадке. Контактные плиты имеют пневмогидравлические зажимы, позволяющие закреплять детали практически любой длины. Управление процессом — автоматическое, электронным реле времени. Машины могут выполнить до 20 сварок в час.

Машины для точечной сварки делятся:

- по назначению — на машины общего назначения (универсальные) и специализированные;
- по конструктивным особенностям — двухэлектродные и многоэлектродные, стационарные, передвижные и подвесные;
- по приводу сжатия — педальные, с электроприводом,

пневматическим, гидравлическим и комбинированным механизмом сжатия;

- по характеру действия — автоматические и неавтоматические.

Машина АТП-50 имеет педальный механизм сжатия, состоящий из пружины и системы коленчатых рычагов. При нажатии на педаль тяга, перемещаясь вверх, поворачивает коленчатый рычаг на оси. При этом рычаги выпрямляются и сближают электроды. Когда электроды приходят в соприкосновение со свариваемыми листами, пружина оказывает давление на свариваемые листы через электроды. Для включения тока служит механический контактор, укрепленный на верхней плите. Включение производится собачкой: она находит на ролик и через него включает контактор. При дальнейшем движении педали собачка проскакивает, и контактор размыкает сварочный ток.

Машина имеет переключатель с восемью ступенями регулирования вторичного напряжения. Недостатком машины с педальным механизмом сжатия является ее низкая производительность.

При изготовлении строительных конструкций и арматуры железобетонных изделий применяются более совершенные машины типов МТМ (с электродвигательным механизмом сжатия) и МТП (с пневматическим механизмом сжатия). Эти машины используют в массовом производстве. Они обладают широким диапазоном продолжительности цикла (0,05—0,75 секунды), давлением сжатия, достигающим 58,8 кН, высокой производительностью, стабильностью режима.

Точечную сварку плоских арматурных сеток железобетонных конструкций производят на многоэлектродных машинах полуавтоматического действия. Машины для изготовления сеток шириной до 2000 мм из стержней диаметром 3—12 мм оборудованы десятью трансформаторами по 35 кВ·А каждая. Сетки шириной до 3800 мм, сваренные из

стержней диаметром 3—12 мм, изготавливают на многоэлектродном автомате, имеющем восемнадцать трансформаторов мощностью 75 кВ·А каждый. Плоские арматурные каркасы шириной до 775 мм из продольных стержней диаметром до 25 мм и поперечных стержней до 12 мм сваривают на многоэлектродной машине полуавтоматического действия, оборудованной тремя трансформаторами мощностью по 100 кВ·А.

Наиболее распространены подвесные машины типа МТПГ-75—6, позволяющие сваривать внахлестку листы толщиной до 3 мм и пересечения арматурных стержней диаметром до 16 мм, а также машины типа МТПГ-150—2 для сварки листов толщиной до 4 мм и пересечений арматурных стержней диаметром до 18 мм.

Подвесные машины имеют сварочные клещи с рычажным, пневматическим или гидравлическим приводом сжатия. Они служат для сварки крупногабаритных изделий, пространственных каркасов и арматуры железобетонных изделий. Для комплектования подвесных машин применяют клещи типов КТГ-75—1, КТГ-75—2 и КТГ-75—3, оборудованные электронным регулятором, позволяющим устанавливать продолжительность цикла сварки в пределах 0,04—1,5 секунды. Сварочные клещи связаны с машиной гибкими токоподводящими кабелями и шлангами для подвода к электродам воздуха или воды (для охлаждения электродов и создания необходимого давления сжатия). Давление сжатия достигает 10 МПа.

Машина марки МТПП-75 имеет подвесной сварочный трансформатор, состоящий из сердечника, первичной и вторичной обмоток. От первичной обмотки сделаны отводы к переключателю для ступенчатого регулирования вторичного напряжения. Вторичная обмотка имеет два витка, которые с помощью двух медных планок могут быть соединены параллельно или последовательно, что позволяет изменять вторичное напряжение в пределах 5—19 В. Рабочим инст-

рументом машины являются сварочные клещи, которые соединены со вторичной обмоткой двумя кабелями, состоящими из гибких медных проводов и заключенных в резиноканевый шланг. Кабели имеют внутреннее водяное охлаждение, позволяющее работать при высоких плотностях тока. Для создания усилия в клещах применяют пневматические цилиндры.

Выпускаются подвесные машины марок МТП-806 и МТП-807 с технической характеристикой, близкой маркам МТП-75 и МТПГ-75. Управление этими машинами осуществляется аппаратурой на полупроводниках и тиристорах. Кроме этих машин используются более мощные (170 кВ·А) и быстродействующие подвесные машины типа МТП-1203 с клещами типов КТГ-12—3-1 и КТГ-12—3-2.

Для выполнения шовной сварки применяются машины общего назначения (универсальные) и специализированные различной конструкции. Так, универсальная машина марки МШ-2001—1 предназначена для сварки прочноплотных швов изделий из низкоуглеродистых и легированных сталей. Машина состоит из станины, на которой укреплены нижняя и верхняя электродные головки. Вращение верхнего ролика осуществляется приводом. Над приводом вращения расположены переключатель скорости и регулятор цикла сварки. Внутри корпуса находятся сварочный трансформатор, автоматический выключатель и ионитронный контактор. Усилие сжатия создается пневматическим устройством и регулируется воздушным редуктором. Номинальная мощность машины 130 кВ·А, сварочный ток — 20 кА, скорость сварки — в пределах 0,4—4,5 м/мин. На машине можно сваривать сталь толщиной в пределах $0,5 \pm 0,5 \div 18 \pm 1,8$ мм.

Машина марки МШ-3201 аналогична по конструкции, но более мощная (323 кВ·А). При сварочном токе 32 кА допускает сварку стали толщиной $0,8 \pm 0,8 \div 25, 4 \pm 2,5$ мм при скорости сварки 0,4÷4,5 м/мин.

Для сварки крупногабаритных деталей из легированных сталей, жаропрочных и титановых сплавов применяется машина марки МШВ-1601, в конструкции которой предусмотрена возможность привода вращения верхнего или нижнего ролика. Это позволяет в зависимости от формы, габаритов и сочетаний толщин изделий выбирать оптимальный вариант привода. При номинальной мощности 130 кВ·А и сварочном токе 16 кА машина допускает сварку прочным плотным швом детали толщиной 0,3—3 мм со скоростью 0,2—8 м/мин. Синхронный ионитронный прерыватель тока типа ПИШ позволяет получать равные по числовому значению длительности импульсы тока через одинаковые паузы. Длительность импульса и паузы регулируются независимо в пределах 0,02—0,38 секунды. Таким образом, прерыватель одновременно выполняет роль регулятора времени. В настоящее время на машинах устанавливают более совершенные прерыватели тока типа ПСЛ на полупроводниковых элементах. Длительность импульса тока и паузы регулируется дискретно в пределах 1—20 периодов с частотой питающей сети. Это обеспечивает практически абсолютно точный отсчет времени.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается сущность контактной сварки?
2. Как классифицируют контактную сварку?
3. Как происходит соединение деталей при контактной сварке?
4. Какие основные узлы входят в состав машин для контактной сварки?
5. В чем заключается разница между контактной сваркой сопротивлением и оплавлением? Охарактеризуйте положительные и отрицательные стороны того и другого способа сварки.

..... ГЛАВА 12

СВАРКА ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

.....

§ 43. Легирующие элементы

Легированные стали подразделяют на низколегированные (с содержанием легирующих компонентов, кроме углерода, не более 2,5%), среднелегированные (с содержанием легирующих компонентов, кроме углерода, 2,5—10%) и высоколегированные (с содержанием легирующих компонентов, кроме углерода, свыше 10%).

Свариваемость легированных сталей оценивается не только возможностью получения сварного соединения с физико-механическими свойствами, близкими к свойствам основного металла, но и возможностью сохранения специальных свойств: коррозионной стойкости, жаропрочности, химической стойкости, стойкости против образования закалочных структур и др. Большое влияние на свариваемость стали оказывает наличие в ней различных легирующих примесей: марганца, кремния, хрома, никеля, молибдена и др.

Влияние кремния и марганца на свариваемость стали уже рассматривалось, остановимся на других элементах.

Хром содержится в низколегированных сталях до 0,9%. При таком содержании он не оказывает существенного влияния на свариваемость стали. В конструкционных сталях хрома содержится 0,7—3,5%, в хромистых — 12—18%, в хромоникелевых — 9—35%. С повышением содержания хрома свариваемость стали ухудшается, так как, окисляясь, хром образует тугоплавкие оксиды Cr_2O_3 , резко повышает твердость стали в зоне термического влияния, образуя карбиды хрома, а также способствует возникновению закалочных структур.

Никель содержится в низколегированных сталях до 0,6%, в конструкционных сталях — 1,0—5%, в легированных сталях — 8—35%. Никель способствует измельчению кристаллических зерен, повышению пластичности и прочностных качеств стали и не снижает свариваемости.

Молибдена в теплоустойчивых сталях содержится от 0,15 до 0,8%, в сталях, работающих при высоких температурах и ударных нагрузках, — 3,5%. Молибден способствует измельчению кристаллических зерен, повышению прочности и ударной вязкости стали, но ухудшает свариваемость стали, так как способствует образованию трещин в металле шва и в зоне термического влияния. В процессе сварки легко окисляется и выгорает, поэтому требует специальных мер для надежной защиты от выгорания при сварке.

Ванадий содержится в сталях до 1,5%. Он придает стали высокую прочность, повышает ее вязкость и упругость. Ухудшает свариваемость, так как способствует образованию закалочных структур в металле шва и околошовной зоны. При сварке легко окисляется и выгорает.

Вольфрам содержится в сталях от 0,8 до 18%. Значительно повышает твердость стали и теплостойкость. Снижает свариваемость стали, в процессе сварки легко окисляется и выгорает.

Титан и ниобий содержатся в нержавеющей и жаропроч-

ных сталях в пределах 0,5—1,0%. Они являются хорошими карбидообразователями и препятствуют образованию карбидов хрома. При сварке нержавеющей сталей ниобий способствует образованию горячих трещин.

§ 44. Сварка низколегированных сталей

Низколегированные стали содержат углерода до 0,25% и легирующих примесей до 3%. Они относятся к категории удовлетворительно свариваемых сталей. Следует учитывать, что при содержании в стали углерода более 0,25% возможно образование закалочных структур и даже трещин в зоне сварного шва. Кроме того, выгорание углерода вызывает образование пор в металле шва.

Сталь марки 15ХСНД сваривают вручную электродами типа Э50А или Э55А. Наилучшие результаты дают электрод типа УОНИИ-13/55 и электрод ДСК-50. Сварку электродами типа ДСК-50 можно выполнять переменным током, но лучшие результаты дает сварка постоянным током обратной полярности. Многослойную сварку следует производить каскадным методом. Чтобы предупредить перегрев стали, следует выполнять сварку при токах 40—50 А на 1 мм диаметра электрода. Рекомендуется применять электроды диаметром 4—5 мм. Автоматическую сварку сталей 15ХСНД, 15ГС и 14Г2 производят проволокой типа Св-08ГА или Св-10ГА под флюсом АН-348-А или ОСЦ-45 при высоких скоростях, но при малой погонной энергии. В зимних условиях сварку конструкций из стали марки 15ХСНД можно производить при температурах не ниже 10°С. При более низких температурах применяют предварительный подогрев зоны сварки на ширине до 120 мм по обе стороны шва до температуры 100—150°С. При температуре -25°С сварка не допускается.

Стали марок 09Г2С и 10Г2С1 относятся к группе закаливающихся, не склонных к перегреву и стойких против образования трещин. Ручная сварка электродами типов Э50А и Э55А выполняется на режимах, предусмотренных для сварки низкоуглеродистой стали. Механические свойства сварного шва не уступают показателям основного металла. Автоматическая и полуавтоматическая сварки выполняются электродной проволокой типа Св-08ГА, Св-10ГА или Св-10Г2 под флюсом АН-348-А или ОСЦ-45.

Сварку листов толщиной до 40 мм производят без разделки кромок. При этом равнопрочность сваренного шва обеспечивается за счет перехода легирующих элементов из электродной проволоки в металл шва.

Стали хромокремнемарганцовистые, типа хромансиль, относятся к низколегированным (марки 20ХГСА, 25ХГСА, 30ХГСА и 35ХГСА). Они дают закалочные структуры и склонны к образованию трещин. При этом чем меньше толщина кромок, тем больше опасность закалки металла и образования трещин, особенно в околошовной зоне. Для сварки могут применяться электроды НИАТ-3М типов Э70, Э85. Для ответственных сварных швов рекомендуются электроды со стальными стержнями из проволоки типа Св-18ХГС или Св-18ХМА с покрытием следующих типов: ЦЛ-18—63, ЦК-18Мо, УОНИИ-13/65, УОНИИ-13/85, УОНИИ-13/НЖ.

При сварке рекомендуются следующие режимы:

Толщина металла, мм...	0,5—1,5	2—3	4—6	7—10
Диаметр электрода, мм.	1,5—2,0	2,5—3	3—5	4—6
Сварочный ток, А.....	20—40	50—90	100—160	200—240

При сварке более толстых металлов применяется многослойная сварка с малыми интервалами времени между наложением последующих слоев. При сварке кромок разной толщины сварочный ток выбирается по кромке боль-

шей толщины и на нее направляется большая часть зоны дуги. Для устранения закалки и повышенной твердости металла шва и околошовной зоны рекомендуется после сварки нагреть изделие до температуры 650—680°С, выдержать при этой температуре определенное время в зависимости от толщины металла (1 час на каждые 25 мм) и охладить на воздухе или в горячей воде.

Сварку низколегированных сталей в защитном газе производят при плотностях тока более 80 А/мм². Сварка в углекислом газе выполняется при постоянном токе обратной полярности. Рекомендуется электродная проволока диаметром 1,2—2,0 мм марки Св-08Г2С или Св-10Г2, а для сталей, содержащих хром и никель, Св-08ХГ2С, Св-08ГСМТ.

Электрошлаковая сварка сталей любой толщины успешно производится электродной проволокой марки Св-10Г2 или Св-18ХМА под флюсом АН-8 при любой температуре окружающего воздуха. Эффективной является сварка в углекислом газе с применением порошковой проволоки.

Газовая сварка отличается значительным разогревом свариваемых кромок, снижением коррозионной стойкости и более интенсивным выгоранием легирующих примесей. Поэтому качество сварных соединений ниже, чем при других способах сварки. При газовой сварке пользуются только нормальным пламенем при удельной мощности 75—100 л/(ч·мм) при левом способе, а при правом — 100—130 л/(ч·мм). Присадочным материалом служит проволока марок Св-08, Св-08А, Св-10Г2, а для ответственных швов — Св-18ХГС и Св-18ХМА. Проковка шва при температуре 800—850°С с последующей нормализацией повышает механические качества шва.

§ 45. Сварка средне- и высоколегированных сталей

Сварка этих видов сталей затруднена по ряду причин. В процессе сварки происходит частичное выгорание легирующих примесей и углерода. Вследствие малой теплопроводности возможен перегрев свариваемого металла. Эти стали отличает повышенная склонность к образованию закалочных структур, а больший, чем у низкоуглеродистых сталей, коэффициент линейного расширения может вызывать значительные деформации и напряжения, связанные с тепловым влиянием дуги. Причем, чем больше в стали углерода и легирующих примесей, тем сильнее проявляются эти свойства. Для устранения влияния перечисленных причин на качество сварного соединения рекомендуется:

- тщательно подготавливать изделие под сварку;
- сварку вести при больших скоростях с малой погонной энергией, чтобы не допускать перегрева металла;
- применять термическую обработку для предупреждения образования закалочных структур и снижения внутренних напряжений;
- применять легирование металла шва через электродную проволоку и покрытие с целью восполнения выгорающих в процессе сварки примесей.

Электроды для сварки высоколегированных сталей изготавливают из высоколегированной сварочной проволоки. Применяют покрытие типа Б. Обозначения типов электродов состоят из индекса Э и следующих за ним цифр и букв. Две или три цифры, следующие за индексом, указывают на количество углерода в металле шва в сотых долях процента. Следующие затем буквы и цифры указывают примерный химический состав металла. Сварку производят постоянным током обратной полярности. При этом свароч-

ный ток выбирают из расчета 25—40 А на 1 мм диаметра электрода. Длина дуги должна быть возможно короткой. Рекомендуется многослойная сварка малого сечения при малой погонной энергии.

Хромистые стали относятся к группе нержавеющей коррозионно-стойких и кислотостойких сталей. По содержанию хрома они делятся на среднелегированные (до 14% хрома) и высоколегированные (14—30% хрома). При сварке хромистых сталей возникают следующие затруднения. Хром при температуре 600—900°С легко вступает во взаимодействие с углеродом, образуя карбиды, которые, располагаясь в толще металла, вызывают межкристаллитную коррозию, снижающую механические свойства стали. Чем выше содержание углерода в стали, тем активнее образуются карбидные соединения. Кроме того, хромистые стали обладают способностью к самозакаливанию (при охлаждении на воздухе), вследствие чего при сварке металл шва и околошовной зоны получает повышенную твердость и хрупкость. Возникающие при этом внутренние напряжения повышают опасность возникновения трещин в металле шва. Усиленное окисление хрома и образование густых и тугоплавких оксидов являются также серьезными препятствиями при сварке хромистых сталей.

Среднелегированные хромистые стали, содержащие до 2% углерода, относятся к мартенситному классу. Они свариваются удовлетворительно, но требуют подогрева до 200—300°С и последующей термической обработки.

Высоколегированные хромистые стали ферритного класса сваривают с предварительным подогревом до 300—400°С. После сварки для снятия внутренних напряжений и восстановления первоначальных физико-механических свойств изделие подвергают высокому отпуску — нагреву до 650—750°С и медленному охлаждению. Electroды изготовляют из сварочной проволоки марок СВ-01Х19Н9,

СВ-04Х19Н9 и СВ-07Х25Н13 с покрытием, содержащим плавиковый шпат и оксид марганца. Это обеспечивает получение жидкого шлака, хорошо растворяющего окислы хрома. Рекомендуются покрытия типов ПЛ-2, ЦТ-2 и УОНИИ13/НЖ.

Хромистые стали, как и большинство легированных сталей, обладают малой теплопроводностью и легко подвергаются перегреву. Поэтому сварку их производят постоянным током обратной полярности при малых сварочных токах из расчета 25—30 А на 1 мм диаметра электрода.

Высоколегированные хромоникелевые аустенитные стали обладают рядом важных физико-химических и механических свойств: коррозионной стойкостью, кислотоупорностью, теплостойкостью, вязкостью, стойкостью против образования окалины. Важным качеством этих сталей является хорошая свариваемость.

Хромоникелевые стали марок 08Х18Н10 и 12Х18Н9 при нагреве до температуры 600—800°С теряют антикоррозионную стойкость. Выделение карбидов хрома по границам зерен приводит к межкристаллитной коррозии стали. Поэтому сварку выполняют при постоянном токе обратной полярности при малых сварочных токах, сокращая продолжительность нагрева металла. Применяют также меры по отводу теплоты, например при помощи медных подкладок или охлаждения. После сварки изделие рекомендуется подвергнуть нагреву до температуры 850—1100°С и закалке в воде или на воздухе (для малых толщин металла).

Хромоникелевые стали марок 12Х18Н9Т и 08Х18Н12Б содержат титан и ниобий, которые, являясь более сильными карбидообразователями, связывают углерод стали, предупреждая образование карбидов хрома. Поэтому эти стали после сварки не подвергают термообработке. Для сварки хромоникелевых сталей применяют Electroды типов ОЗЛ-7, ОЗЛ-8, ЦТ-1 и ЦТ-7. Рекомендуются Electroды

из сварочной проволоки типа Св-01Х19Н9, Св-06Х19Н9Т или Св-04Х19Н9С2 с покрытием ЦЛ-2, ЦЛ-4 (они содержат 35,5% мрамора, 41% плавикового шпата, 8,5% ферромарганца и 15% молибдена), УОНИИ-13/НЖ и др.

Тонколистовую сталь марки 12Х18Н9Т следует сваривать аргонодуговой сваркой, так как при сварке качественными электродами или под флюсом происходит науглероживание металла шва. Это снижает стойкость стали против межкристаллитной коррозии.

Хромоникелевые аустенитные стали сваривают газовой сваркой при толщине металла не более 3 мм нормальным пламенем удельной мощности 75 л/(ч·мм). Присадочным материалом служат проволоки марок Св-01Х19Н9, Св-04Х19Н9С2, Св-06Х19Н9Т и Св-07Х19Н10Б. Сварку следует вести быстро. Флюсом служат смесь буры (50%) и борной кислоты (50%) или плавиковый шпат (80%) и двуоксид кремния (20%).

Высоколегированная марганцовистая сталь, обладающая большой твердостью и износостойкостью, содержит 13—18% марганца и 1,0—1,3% углерода. Она применяется для изготовления зубьев экскаваторов, шеек камнедробилок и других рабочих органов дорожных и строительных машин, работающих при ударных нагрузках и на истирание. Для сварки применяют электроды со стержнями из углеродистой проволоки марок Св-08А, Св-08ГА, Св-10Г2 с покрытием, которое применяется для наплавочных электродов марки ОМГ, содержащим 23% мрамора, 15% плавикового шпата, 60% феррохрома, 2% графита, замешанных на жидком стекле (30% к общей массе сухих компонентов). Рекомендуются покрытия, применяемые для наплавочных электродов типа ОЗН (45—49% мрамора, 15—18% плавикового шпата, 26—33% ферромарганца, 3% алюминия, 4% поташа, замешанных на жидком стекле). Применяют также стержни электродов из проволоки марок Св-04Х19Н9

и Св-07Х25Н13 с покрытием ЦЛ-2, состоящим из 44% мрамора, 51% плавикового шпата, 5% ферромарганца, замешанных на жидком стекле (20—22% к массе сухих компонентов). Хорошие результаты дает также покрытие УОНИИ-13/НЖ.

Сварка выполняется постоянным током обратной полярности короткими участками. Сварочный ток определяется из расчета 30—35 А на 1 мм диаметра электрода. Для получения шва повышенной прочности и износостойкости следует сварной шов проковать в горячем состоянии. При этом металл шва следует интенсивно охлаждать холодной водой.

Стали молибденовые, хромомолибденовые и хромомолибденованадиевые относятся к теплоустойчивым сталям перлитного класса. Эти стали применяют при изготовлении сварных паровых котлов, турбин, различной аппаратуры в химической и нефтяной промышленности, для работы при высоких температурах и давлениях. Эти стали свариваются удовлетворительно при выполнении установленных технологических приемов: предварительного подогрева до 200—300°C и последующего отжига при температуре 680—780°C или отпуска при температуре 650°C. Температура окружающего воздуха должна быть не ниже 4—5°C. Сварка выполняется постоянным током обратной полярности. Рекомендуются электроды типов ОЗС-11, ТМЛ-1, ТМЛ-2, ТМЛ-3, ЦЛ-38, ЦЛ-39 и др.

Для автоматической и полуавтоматической сварки применяют сварочную проволоку марок Св-08ХМ, Св-10Х5М и Св-18ХМА. При сварке в углекислом газе практикуют предварительный и сопутствующий нагрев до температуры 250—300°C, используют присадочную проволоку типа Св-10ХГ2СМА. После сварки рекомендуется термообработка.

Газовая сварка выполняется нормальным пламенем при

удельной мощности 100 л/(ч·мм). Присадочный материал — сварочная проволока типов Св-08ХНМ, Св-18ХМА и Св-08ХМ. Рекомендуется предварительный подогрев до 250—300°С, а после сварки — термообработка (нормализация с температуры 900—950°С).

Высоколегированные стали с особыми свойствами успешно сваривают в защитных газах. Режимы сварки подобны тем, которые используются при ручной сварке и под флюсом (ток обратной полярности, малые токи, термообработка). Электродную проволоку и флюсы применяют с учетом повышенного выгорания марганца, титана, ниобия, молибдена, никеля, т. е. элементов, обеспечивающих сохранение свойств свариваемых сталей.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какое влияние оказывают легирующие примеси на свариваемость сталей?
2. Назовите особенности сварки деталей из низколегированных сталей.
3. Каковы трудности сварки средне- и высоколегированных сталей?
4. Какие электроды применяют для сварки легированных сталей?
5. Как сваривают высоколегированные хромистые стали?

..... Глава 13

СВАРКА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И ИХ СПЛАВОВ

.....

§ 46. Особенности сварки цветных металлов

Температуры плавления и кипения цветных металлов относительно невысокие, поэтому при сварке легко получить перегрев и даже испарение металла. Если сваривают сплав металлов, то перегрев и испарение его составляющих может привести к образованию пор и изменению состава сплава. Способность цветных металлов и их сплавов легко окисляться с образованием тугоплавких оксидов значительно затрудняет процесс сварки, загрязняет сварочную ванну оксидами, снижает физико-механические свойства сварного шва.

Ухудшению качества сварного соединения способствует также повышенная способность расплавленного металла (сплава) поглощать газы (кислород, азот, водород), что приводит к пористости металла шва. Большая теплоемкость и высокая теплопроводность цветных металлов и их сплавов вызывают необходимость повышения теплового режи-

ма сварки и предварительного нагрева изделия перед сваркой. Сравнительно большие коэффициенты линейного расширения и большая литейная усадка приводят к возникновению значительных внутренних напряжений, деформаций и к образованию трещин в металле шва и околошовной зоны. Резкое уменьшение механической прочности и возрастание хрупкости металлов при нагреве могут даже привести к непредвиденному разрушению изделия.

Для выполнения качественного сварного соединения применяют различные технологические меры, учитывающие особенности каждого металла (сплава).

§ 47. Сварка меди и ее сплавов

При дуговой сварке меди следует учитывать, что теплопроводность меди примерно в 6 раз больше теплопроводности железа. При температуре 500—600°C медь приобретает хрупкость, а при 700—800°C прочность меди настолько снижается, что уже при легких ударах образуются трещины. Медь плавится при температуре 1083°C.

Свариваемость меди в значительной степени зависит от наличия в металле примесей — висмута, свинца, сурьмы и мышьяка. Чистая электролитическая медь обладает наилучшей свариваемостью.

Расплавленная медь легко окисляется, образуя оксид меди Cu_2O , поглощает водород и оксид углерода. При охлаждении в объеме металла выделяются пузырьки паров воды и углекислого газа, которые не растворяются в меди. Эти газы, расширяясь, создают большое внутреннее давление и приводят к образованию мелких межкристаллитных трещин. Это явление получило название водородной болезни меди.

Сварку меди и ее сплавов производят только в нижнем положении или при очень малых углах наклона.

Ручная дуговая сварка меди выполняется угольным или металлическим электродом. При сварке угольным или графитовым электродом в качестве присадочного материала применяют прутки из меди М1, из бронзы БрОФ6,5—0,15 или латуни ЛК62—0,5, а также медные прутки МСр1, содержащие до 1% серебра.

Для предохранения меди от окисления и улучшения процесса сварки применяют флюсы, которые наносят на разделку шва и на присадочные прутки. Флюсы применяют следующих составов: 1) буры прокаленной — 68%, кислого фосфорнокислого натрия — 15%, кремниевой кислоты — 15%, древесного угля — 2%; 2) буры прокаленной — 50%, кислого фосфорнокислого натрия — 15%, кремниевой кислоты — 15%, древесного угля — 20%. Можно также применять одну буру, но лучше с присадкой 4—6% металлического магния.

Листы толщиной до 4 мм можно сваривать с отбортовкой без присадочного металла, а более 4 мм — со скосом кромок под углом 35—45°. Сборка под сварку должна обеспечить минимальные зазоры (до 0,5 мм), чтобы предупредить протекание расплавленного металла шва. Рекомендуются также использовать подкладки из графита, асбеста или керамики. По концам шва следует сделать формовку. Сварку производят постоянным током прямой полярности. Длина дуги должна составлять 10—13 мм, напряжение тока 45—60 В. Сварку ведут со скоростью не менее 0,2—0,3 м/мин и при возможности за один проход.

Режимы сварки угольным электродом зависят от толщины свариваемых кромок. При толщине листов до 4 мм используют угольные электроды диаметром 4—6 мм, а сварочный ток выбирают в пределах 140—320 А. Если толщина листов более 4 мм, применяют электроды диаметром 8—10 мм при сварочном токе 350—550 А. После сварки металл шва проковывают — тонкие листы в холодном, а толстые в нагретом до температуры 200—350°C состоянии.

Для повышения вязкости металла швов подвергают отжигу с нагревом до температуры 500—550°С с быстрым охлаждением в воде.

При сварке металлическим электродом подготовка кромок и обработка шва производится так же, как и при угольном электроде. Металлические электроды изготовляют из меди М1. Покрытие имеет следующий состав: ферромарганца — 50%, ферросилиция 75%-ного — 8%, полевого шпата — 12%, плавикового шпата — 10%, жидкого стекла — 20%. Толщина покрытия составляет 0,4 мм.

Применяют также электроды марки ЗТ со стержнем из бронзы БрКМц-3—1 и покрытием следующего содержания: марганцевой руды — 17,5%, ферросилиция 75%-ного — 32%, плавикового шпата — 32%, графита серебристого — 16%, алюминия — 2,5%. Связующим является жидкое стекло. Покрытие наносят на стержень диаметром 4—6 мм слоем толщиной 0,2—0,3 мм. Сварку выполняют возможно короткой дугой на постоянном токе обратной полярности. Сварочный ток определяют из расчета 50—60 А на 1 мм диаметра электрода.

Сварку меди в защитных газах (аргон, гелий или азот) применяют для изделий толщиной 1,5—20 мм и выполняют постоянным током прямой полярности. При диаметре вольфрамового электрода 2,5—5 мм и присадочной проволоки марки М1 или БрКМц-3—1 диаметром 2—6 мм сварочный ток составляет 200—500 А.

Автоматическую сварку меди производят под флюсами АН-348-А или АН-20 проволокой диаметром 1,6—4 мм марки М1 или БрКМц-3—1. Напряжение составляет 38—40 В, сварочный ток принимают из расчета 100 А на 1 мм диаметра проволоки. Ток — постоянный обратной полярности, скорость сварки — 15—25 м/ч. Листы толщиной более 8 мм требуют предварительного подогрева.

При газовой сварке меди следует учитывать высокую теплопроводность меди и поэтому для сварки требуется пламя

повышенной мощности. Для листов толщиной до 10 мм удельная мощность пламени должна быть равна 150 л/(ч·мм), для листов толщиной свыше 10 мм — 200 л/(ч·мм). Рекомендуется производить сварку одновременно двумя горелками: одна служит для подогрева свариваемых кромок с удельной мощностью 150—200 л/(ч·мм) и вторая — для сварки с удельной мощностью 100 л/(ч·мм).

Для уменьшения отвода теплоты изделия закрывают листовым асбестом. Пламя должно быть строго нормальным. Избыток ацетилена вызывает появление пор и трещин, а окислительное пламя приводит к окислению металла шва. Мундштук горелки устанавливают под углом 80—90°. Нагрев и плавку меди производят восстановительной зоной в месте максимальной температуры. Сварку производят без перерывов, в один проход. В процессе сварки подогретый конец присадочного прутка периодически обмакивают во флюс и таким образом переносят налипший флюс в сварочную ванну. Для получения мелкозернистой структуры и уплотнения металла производят проковку шва. Металл толщиной до 5 мм проковывают в холодном состоянии, а при большей толщине — в горячем состоянии при температуре 200—300°С. После проковки производят отжиг с нагревом до температуры 500—550°С и охлаждением в воде.

Латунь (сплав меди с цинком) сваривают всеми способами, указанными для меди. Основное затруднение при сварке латуни связано с кипением и интенсивным испарением цинка, пары которого в воздухе образуют ядовитые оксиды.

При сварке латуни угольным электродом применяют присадочные прутки из латуни ЛМц-58—2 и флюс из того же борного шлака или буры. Применяют также прутки из латуни типа ЛК, содержащей, кроме меди и цинка, кремний.

При сварке плавящимся электродом применяют пров-

локу из латуни, содержащую цинка — 38,5—42,5%, марганца — 4—5%, алюминия — 9,5%, железа — 0,5—1,5%, остальное — медь. Покрытие наносят в два слоя. Первый слой толщиной 0,2—0,3 мм состоит из марганцевой руды — 30%, титанового концентрата — 30%, ферромарганца — 15%, мела — 20% и сернокислого калия — 5%. Связующим является жидкое стекло. Второй слой толщиной 0,8—1,1 мм состоит из борного шлака, замешанного на жидком стекле.

Автоматическая сварка латунных изделий производится электродной проволокой марки М1 под флюсом АН-348-А или ОСЦ-45 с добавкой 10 мас. ч. (массовых частей) борной кислоты и 20 мас. ч. кальцинированной соды на 100 мас. ч. флюса. Сварка ведется постоянным током прямой полярности. Напряжение тока — 38—42 В, сварочный ток при диаметре проволоки 2 мм составляет 300—480 А.

Латунь при газовой сварке нормальным пламенем выделяет пары, в результате чего шов получается пористым. Поэтому применяют пламя с избытком кислорода (до 30—40%). Кислород окисляет часть цинка. Образующаяся на поверхности сварочной ванны оксидная пленка защищает расплавленный металл от дальнейшего окисления. Свариваемые кромки зачищают до металлического блеска. Оксиды удаляют травлением с помощью 10%-ного водного раствора азотной кислоты, с последующей промывкой горячей водой и протиркой насухо. Удельная мощность пламени — 100—150 л/(ч·мм). Мундштук горелки устанавливают под углом 80—90°, а присадочный пруток — под углом 80° к мундштуку горелки. Чтобы не допустить интенсивного окисления, сварку производят быстро, без перерывов и в один проход. Расстояние ядра пламени от ванны 7—10 мм. Латунь толщиной более 15 мм рекомендуется предварительно подогревать до 500—550°C. После сварки шов проковывают. Если латунь содержит меди более 60%, то проковку шва производят в холодном состоянии. Если меди

менее 60%, то швы проковывают при температуре 700°C. После проковки швы подвергают отжигу при температуре 600—650°C с последующим медленным охлаждением.

Бронза — сплав меди с оловом, алюминием, кремнием, марганцем, цинком и свинцом. При сварке угольным электродом оловянистых бронз в качестве присадочного материала применяют прутки из сплава, содержащего меди — 95—96%, кремния — 3—4%, фосфора — 0,25%. Флюс — прокаленная бура или борный шлак.

При сварке специальных бронз применяют прутки, изготовленные из бронз свариваемых марок или близких им по химическому составу. Ток постоянный, прямой полярности. Сварку металлическим электродом фосфористой бронзы выполняют прутками следующего состава: олова — 10—12%, фосфора — 0,15—0,45%, остальное — медь. Для свинцовых бронз применяют прутки из сплава, содержащего, %: свинец — 21, олово — 8, цинк — 1,5; остальное — медь. Прутки покрывают различными защитными покрытиями. Ток постоянный, обратной полярности. При диаметре прутка 6—8 мм сварочный ток составляет 200—300 А.

Рекомендуется предварительный подогрев свариваемых деталей до температуры 250—300°C. Допускается легкая проковка сварного шва для улучшения качества наплавленного металла.

Газовую сварку бронзы производят нормальным пламенем. Удельная мощность горелки — 100—150 л/(ч·мм). Свариваемые кромки подготавливают так же, как и при сварке меди. Сварку ведут максимально быстро и в один проход. Конец ядра пламени должен быть на расстоянии 7—10 мм от поверхности сварочной ванны. Как и при сварке меди, допускается применение второй подогревающей горелки удельной мощности 100 л/(ч·мм). После сварки изделие нагревают до температуры 400—450°C и затем охлаждают в воде.

§ 48. Сварка алюминия и его сплавов

Трудности сварки алюминия и его сплавов вызываются наличием на поверхности свариваемых кромок тугоплавкой оксидной пленки (температура плавления 2050°C), препятствующей сплавлению основного и присадочного металлов. Удаление оксидной пленки производят тремя способами: механическим (наждачным инструментом, металлической щеткой, шабрением), химическим (травлением, применением при сварке флюсов, содержащих фтористые и хлористые соли) и электрическим (сварка постоянным током обратной полярности или переменным током, катодное распыление).

Следует иметь в виду, что при нагреве до температуры $400\text{--}500^{\circ}\text{C}$ прочность алюминия резко падает и деталь может разрушиться даже под действием собственного веса.

Дуговую сварку строительных конструкций производят угольным или плавящимся электродом. При сварке угольным электродом присадочным материалом служат прутки из алюминия А0, А1 или сплавов АМц, АК. Наличие кремния в присадочном материале повышает текучесть металла, снижает усадку и уменьшает опасность образования трещин в металле шва.

Сварку выполняют постоянным током прямой полярности. Диаметр электрода выбирают в пределах $6\text{--}15$ мм в зависимости от толщины свариваемых кромок. Сварочный ток соответственно составляет $150\text{--}500$ А. Перед сваркой присадочный прутки и свариваемые кромки покрывают флюсом. При сварке плавящимся электродом применяют стержни из сварочной проволоки марок СвА97, СвАМц, СвАК5 или проволоки из сплава того же состава, что и свариваемый металл. Сварку производят постоянным током обратной полярности с возможно короткой дугой. Сварочный ток определяют из расчета $15\text{--}30$ А на 1 мм диаметра электрода.

Для удаления пленки оксидов применяют флюс АФ-4А, содержащий хлористого натрия — 28% , хлористого калия — 50% , хлористого лития — 14% и фтористого натрия — 8% .

При сварке металлическим электродом применяют различные покрытия, которые содержат хлористый натрий, хлористый калий, фтористый калий, фтористый натрий, криолит, сернокислый натрий, хлористый литий и др. В качестве связующего вещества применяют декстрин или густой раствор поваренной соли. Покрытие наносят на стержень электрода слоем в $1\text{--}1,2$ мм. Листы толщиной до 3 мм сваривают с отбортовкой, а при толщине металла $4\text{--}8$ мм — без скоса кромок. Листы толщиной более 8 мм сваривают со скосом кромок с углом раскрытия $60\text{--}70^{\circ}$. Кромки листов толщиной более 8 мм перед сваркой подогревают до температуры $200\text{--}250^{\circ}\text{C}$. После сварки швы тщательно очищают от шлаков и остатков флюса — промывают горячей водой, протирают щеткой и ветошью. Для более полной очистки применяют травление 5% -ным раствором азотной кислоты с последующей промывкой горячей водой и сушкой.

Автоматическую и полуавтоматическую сварку по флюсу применяют для листов и деталей с толщиной кромок более 8 мм. Дуга горит не в слое флюса, а над флюсом. Тонкого слоя флюса достаточно, чтобы защитить сварочную ванну и удалить оксидную пленку. При большей толщине слоя флюса дуга шунтируется через шлак, обладающий высокой электропроводностью, и горит по слою флюса. Применяется электродная проволока марки СвА97 или СвАМц диаметром $2\text{--}3$ мм. Флюс АН-А1, состоящий из хлористого натрия — 20% , хлористого калия — 50% и криолита — 30% , наносят на свариваемый шов слоем толщиной $10\text{--}35$ мм. Сварку производят постоянным током обратной полярности при напряжении дуги $38\text{--}44$ В. Вылет электрода составляет $25\text{--}40$ мм, сварочный ток — $300\text{--}450$ А, скорость сварки — $12\text{--}20$ м/ч.

Аргонодуговая сварка алюминия и его сплавов получила наибольшее распространение. При этом нет необходимости применять относительно сложные флюсы и покрытия, остатки которых могут вызвать коррозию металла шва. Сварку производят постоянным током обратной полярности или переменным током, но с обязательным применением осциллятора и балластного реостата. Ручную сварку выполняют вольфрамовым электродом на установках УДГУ-301, УДГ-501 и ИСВУ-315.

При толщине свариваемых кромок до 6 мм применяют электроды диаметром до 4 мм, а для кромок больших толщин — до 6 мм. Сварочный ток определяют из расчета 30—45 А на 1 мм диаметра электрода. Расход аргона составляет 6—15 л/мин. Сварку производят при минимальной длине дуги (менее 2 мм), что обеспечивает энергичное разрушение оксидной пленки вследствие катодного распыления и улучшенную защиту сварки. Механизированную сварку выполняют на специализированном автомате типа АДСВ-6.

Полуавтоматическую и автоматическую сварки в среде аргона плавящимся электродом выполняют специальными шланговыми полуавтоматами и автоматами. Сварку производят постоянным током обратной полярности. Применяют сварочную проволоку СвА97, СвАМц, СвАК или того же состава, что и свариваемый металл. Металл толщиной до 10 мм сваривают без разделки кромок, при больших толщинах кромок применяют V- и X-образные разделки шва. Сварочный ток при электродной проволоке диаметром 2,0 мм составляет 250—300 А, скорость сварки достигает 30—40 м/ч.

Газовая сварка алюминия дает хорошие результаты при правильном выборе режима сварки и применении флюсов. Листы толщиной до 3 мм сваривают с отбортовкой кромок на высоту примерно утроенной толщины листа. При толщине листов до 5 мм сварку производят без скоса кромок с зазором до 0,5 мм. Листы толщиной 5—15 мм сваривают с

односторонним, а при большей толщине — с двусторонним скосом кромок. Угол разделки составляет 60—70°.

Сварку нахлесточных соединений применять не следует, так как флюс, затекающий в зазор между листами, вызывает коррозию и разрушение шва.

Кромки соединения и присадочную проволоку хорошо очищают от оксидной пленки механическим или химическим способом. Механическую очистку производят путем обезжиривания в щелочном растворе с последующей очисткой металлической щеткой. Сварку следует выполнять не позднее чем через 2 часа после очистки. Химическую очистку производят в такой последовательности: кромки обезжиривают и протравливают в 5%-ном растворе каустической соды, затем соединяемые части промывают водой, насухо протирают тряпкой и просушивают. Сварку следует выполнять не позднее чем через 8 часов после очистки. Флюс наносят на свариваемые кромки и присадочную проволоку в виде пасты или насыпают в разделку шва в виде порошка. Флюсы хранят в герметически закрытых сосудах, так как они очень интенсивно поглощают влагу из воздуха.

Сварку выполняют левым способом нормальным пламенем или с небольшим избытком ацетилена. Следует учесть, что большой избыток ацетилена способствует образованию пор в сварном шве. Большую опасность представляет избыток кислорода, который значительно затрудняет сварку, интенсивно окисляя алюминий. Угол наклона мундштука горелки в начале сварки устанавливают повышенный — 70—80°, а затем уменьшают до нормального значения — 30—45°.

Мощность сварочного пламени зависит от толщины металла:

Толщина металла, мм.....	1	1,5—2	3—4	6—8
Мощность горелки, л/ч ацетилена	75	150—300	300—500	750—1000

При сварке силуминов рекомендуется предварительно подогреть изделие до 200—250°С, а после сварки произвести отжиг при температуре 300—350°С с последующим медленным охлаждением. Швы сварных соединений из проката проковывают легкими ударами в холодном состоянии. Остатки флюса и шлака тщательно удаляют с помощью металлической щетки и промывкой горячей водой.

§ 49. Сварка титана и его сплавов

Титан получил широкое распространение благодаря своим особым свойствам: малой плотности (4,5 г/см³), высокой температуре плавления (1665°С), высокой коррозионной стойкости во многих агрессивных средах, высокой прочности. Высокое электрическое сопротивление и низкая теплопроводность создают условия, при которых для сварки титана затрачивается значительно меньше электроэнергии, чем при сварке алюминия и даже стали. Кроме того, титан маломagnитен, и поэтому значительно снижается влияние магнитного дутья. Основной трудностью сварки титана и его сплавов является большая химическая активность титана при высоких температурах в отношении кислорода, азота и водорода. Поэтому для получения качественных соединений при сварке необходима хорошая защита от взаимодействия с атмосферой не только сварочной ванны, но и всей зоны металла, нагретого свыше 500°С.

Подготовку кромок к сварке производят травлением раствором, состоящим из 350 см³ соляной кислоты, 50 см³ плавиковой кислоты и 600 см³ воды. Допускается механическая обработка кромок до металлического блеска с последующим обезжириванием.

Сварка производится в защитных газах ручным и механизированным способом неплавящимся электродом и титановой проволокой, а также под флюсом. Ручная аргоно-

дуговая сварка вольфрамовым электродом производится постоянным током прямой полярности. Сварочный ток при толщине металла 0,5—4,0 мм составляет 40—170 А, вылет вольфрамового электрода — 6—8 мм, дуга — 1—2 мм. Расход аргона — 20—25 л/мин.

При автоматической сварке в аргоне применяют титановую сварочную проволоку диаметром 1,5—3,0 мм. При сварке под флюсом необходима защита обратной стороны шва хорошо подогнанными стальными или медными подкладками, применяются также остающиеся титановые подкладки. При сварке используются бескислородные фторидно-хлоридные флюсы марки АН-Т различного назначения. Вылет электродной проволоки должен быть не более 20—25 мм, а высота слоя флюса — не менее вылета электрода. Шлаковую корку удаляют после охлаждения металла ниже 400°С.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему медь и ее сплавы свариваются хуже большинства сталей?
2. Чем объясняется, что газовая сварка латуни обеспечивает лучшее качество, чем дуговая?
3. Как химический состав бронзы влияет на ее свариваемость?
4. Какие свойства алюминия определяют его свариваемость?
5. В чем заключаются особенности сварки титана?

ГЛАВА 14

СВАРКА ЧУГУНА

§ 50. Особенности сварки чугуна

Чугуны — это железоуглеродистые сплавы, в которых присутствуют следующие примеси, %: углерода — 2,0—4,0; марганца — 0,5—1,6; кремния — 0,5—4,0; серы — 0,02—0,2 и фосфора — 0,02—0,2. Специальные чугуны имеют также легирующие примеси: никель, хром, медь, титан и алюминий.

Углерод в чугуне может находиться в виде карбида Fe_3C . Такой чугун, называемый белым, обладает повышенной твердостью и плохо поддается механической обработке. В сером чугуне углерод находится в свободном состоянии в виде прослоек графита и только частично может быть в виде вторичных карбидов.

Кремний способствует графитизации чугуна и увеличению размеров графитовых включений. Марганец при содержании в чугуне до 0,7% слабо способствует графитизации, а при содержании свыше 1% препятствует распаду карбида железа. Сера является вредной примесью: повышает густотекучесть чугуна, ухудшает литейные качества и дает соединение Fe_3S , способствующее образованию трещин

при сварке. Сера препятствует распаду карбида железа и выделению свободного углерода. Фосфор является слабым графитизатором: улучшает литейные качества чугуна, повышая жидкотекучесть.

Из легирующих примесей сильным графитизатором является алюминий. Выделению графита способствуют также никель, кобальт, медь, титан. Хром, ванадий и молибден, препятствуя распаду карбида железа, действуют как размельчители зерна.

Широкое применение получают модифицированные и высокопрочные чугуны, имеющие ферритную или перлитную основу или их сочетание. Эти чугуны обладают высокими механическими свойствами и применяются при изготовлении ответственных деталей машин. Их высокие механические свойства обусловлены тем, что вместо вытянутых пластинок и прожилок графита, нарушающих целостность металлической основы, графит в высокопрочном чугуне имеет глобулярную форму, обеспечивающую наибольшую однородность металлической основы.

Трудности сварки чугунов обусловлены их физико-механическими свойствами:

- быстрое охлаждение жидкого металла в зоне сварки, а также выгорание кремния из расплава шва способствуют местному «отбеливанию» металла шва и околошовной зоны, т. е. переходу графита в химическое соединение с железом — цементит, который трудно поддается механической обработке;
- отсутствие периода пластического состояния и высокая хрупкость приводят, вследствие неравномерного нагрева и охлаждения, а также неравномерной усадки металла, к появлению больших внутренних напряжений и трещин как в самом сварном шве, так и в околошовной зоне;
- низкая температура плавления, непосредственный переход чугуна из твердой фазы в жидкую, и наоборот,

затрудняют выход газов из металла шва, и шов получается пористым;

- высокая жидкотекучесть чугуна не позволяет производить сварку не только в вертикальном, но и в наклонном положении шва.

§ 51. Горячая сварка

Горячей сваркой чугуна называют сварку с предварительным нагревом. Предварительный нагрев уменьшает разность температур основного металла и металла в зоне соединения и тем самым снижает температурные напряжения при сварке. Вместе с этим снижается скорость охлаждения сплава после сварки, что способствует предупреждению отбела и получению шва хорошего качества.

Подготовка к сварке состоит из вскрытия, вырубки и тщательной зачистки разделки шва до чистой поверхности металла. Вскрытие и очистку разделки шва (дефектного места) выполняют механическим путем — вырубкой или сверлением. Трещины разделяют Y- или U-образной формы. Разделка дефектного участка должна иметь плавные формы. Для предупреждения вытекания металла и придания шву нужного очертания вокруг разделки выкладывают форму из плотно прилегающих к изделию графитовых или угольных пластин. Применяют также кварцевый песок, замешанный на жидком стекле (100—150 г на 1 кг песка) и просушенный при температуре 40—60°C. При сварке излома необходимо применять приспособления, фиксирующие относительное расположение свариваемых частей и обеспечивающие точность сварки.

Применяют общий или местный подогрев. При массовом производстве для общего подогрева деталей и последующего их охлаждения после сварки применяют методические печи конвейерного типа. Для подогрева отдельных

крупных деталей применяют нагревательные колодцы или ямы, выложенные огнеупорным кирпичом. Если подогреву подвергается только часть детали, т. е. производится местный подогрев в зоне соединения, подлежащего сварке (полугорячая сварка), то используют горны, газовые и сварочные горелки, индукционные нагреватели и др. Температура нагрева должна находиться в пределах 400—700°C. Подогрев производят медленно и равномерно, чтобы не вызвать в детали больших внутренних напряжений и не создать трещин.

Для сварки чугунов применяют чугунные прутки следующих марок: ПЧ1 и ПЧ2 — для газовой сварки серого чугуна с перлитной и перлитно-ферритной основой; ПЧ3 — для газовой сварки серого чугуна с ферритной структурой; ПЧН1 и ПЧН2 — для пайкосварки; ПЧИ — для износостойкой наплавки; ПЧВ — для газовой сварки высокопрочных чугунов с шаровидным графитом. Прутки марок ПЧ1, ПЧ2, ПЧ3 и ПЧВ применяются с покрытием толщиной 1—1,5 мм, состоящим из графита серебристого (25%), плавикового шпата (30%), карбида кремния (40%) и алюминиевого порошка (5%), замешанных на жидком стекле (60% от сухих компонентов). Прутки изготовляют диаметром от 4 до 16 мм и длиной 250—700 мм.

Применяют графитизирующие покрытия, содержащие графит, ферросилиций, мрамор, титановую руду, замешанные на жидком стекле. Иногда в покрытие вводят термит, что замедляет остывание металла шва. Толщина покрытия — 2 мм.

Сварку выполняют на постоянном токе прямой полярности, однако можно сваривать и переменным током. При толщине металла до 20 мм сварку производят электродами диаметром 6 мм, при толщине 20—40 мм применяют электроды диаметром 8 мм, а при толщине свыше 40 мм можно рекомендовать электроды диаметром 10 мм. Сварочный ток определяется из расчета 50—60 А на 1 мм диаметра

электрода. Сварку можно выполнять угольными электродами диаметром 6—12 мм в зависимости от толщины свариваемой детали. Сварочный ток составляет 200—450 А. Присадочным материалом служат прутки марок ПЧ1, ПЧ2, ПЧ3 и ПЧВ, а флюсом — бура или смесь буры (50%) и соды (50%). Ток постоянный, прямой полярности или переменный.

Важным условием качественной сварки является поддержание ванны наплавленного металла в жидком состоянии в течение всего периода сварки. Для этого весь объем сварочных работ выполняют без перерыва. После окончания сварки деталь подвергают медленному охлаждению. Для этого заваренные участки засыпают слоем мелкого древесного угля и накрывают асбестом, что предупреждает отбел чугуна и исключает возникновение больших внутренних напряжений и трещин.

Сварка с предварительным нагревом является самым надежным способом предупреждения дефектов чугунных изделий любого размера и конфигурации. При точном соблюдении технологического процесса можно получить плотный и прочный шов.

§ 52. Холодная сварка

Холодной сваркой чугуна называют сварку без предварительного нагрева. Ее применяют тогда, когда трудно или экономически нецелесообразно производить сварку с предварительным подогревом из-за больших габаритов изделия, опасности коробления и возникновения больших внутренних напряжений.

Рекомендуются следующие режимы сварки:

Диаметр, мм	4	6	8	10—16
Длина, мм	250	350	450	450 500 600 700

Хорошие результаты дают электроды из аустенитных высоколегированных чугунов (никелевых, никелькремнистых).

Никель, не вступая в реакцию с углеродом, хорошо сплавляется с железом и как графитизатор препятствует отбеливанию чугуна. Электроды имеют покрытие, состоящее из 70% карборунда и 30% углекислого стронция или углекислого бария, замешанных на жидком стекле (30 г на 100 г сухой смеси). Толщина покрытия — 0,6—0,8 мм. Электроды из никелевых чугунов применяют при сварке и наплавке поверхностей, подлежащих последующей механической обработке. Качество шва невысокое из-за склонности металла шва к образованию трещин.

Сварка стальными электродами. Большая разница в усадке чугуна и стали не позволяет получить прочное сцепление между наплавленным и основным металлом при сварке стальными электродами. Поэтому таким способом сваривают швы, не работающие на растяжение или слабо нагруженные. Для повышения стойкости и снижения твердости металла шва уменьшают долю основного металла в металле шва, уменьшая глубину проплавления. Для этого сварку выполняют при малых сварочных токах электродами малого диаметра.

Чтобы металл в зоне сваренного шва имел структуру серого чугуна, применяют электродные стержни из низкоуглеродистой стали с толстым графитизирующим покрытием, состоящим из, %: из ферросилиция — 33, графита — 37, мела — 7 и натриевого жидкого стекла — 23. Однако полная графитизация происходит лишь при большом объеме наплавленного металла и при заварке крупных деталей с малой скоростью охлаждения металла шва.

Для усиления связи металла шва с основным металлом применяют сварку стальными электродами с поставкой шпилек (ввертышей). Завариваемый шов тщательно очищают от грязи и масла и в зависимости от толщины

металла и назначения шва применяют V- или X-образную разделку. На обработанной поверхности ставят стальные шпильки диаметром 6—12 мм в шахматном порядке на расстоянии друг от друга в 4—6 диаметров шпильки. Иногда для усиления связи применяют стальные соединительные планки, ребра, косынки.

Заварку шва начинают с обварки шпилек кольцевыми валиками, а затем накладывают круговые швы и окончательно заполняют завариваемый шов металлом. Сварку производят короткими участками (40—60 мм) вразброс с перерывами, чтобы не допустить нагрева детали выше 60—80°С. Сварочный ток составляет 30—40 А на 1 мм диаметра электрода. Диаметр электродов — 3—4 мм с покрытием типа УОНИ-13. Ток постоянный, обратной полярности. В целях повышения графитизирующего действия производят сварку пучком электродов малого диаметра. Такой прием обеспечивает более полное взаимодействие капель наплавляемого металла с покрытием и хорошую графитизацию металла шва. В зависимости от толщины свариваемого металла пучок электродов составляется из 5—20 стержней диаметром 1—2 мм. Сварочный ток определяют из расчета 10—12 А на 1 мм сечения пучка электродов. Покрытие состоит из 40% графита и 60% ферросилиция, замешанных на жидком стекле.

Сварка электродами из цветных металлов и сплавов.

Большее применение получили электроды из меди и ее сплавов. Медь, обладая графитизирующей способностью, снижает общую твердость металла и уменьшает отбел чугуна. Хорошие результаты дают электроды марки МНЧ с покрытием основного типа. Стержень электрода изготавливают из проволоки типа НМЖМц-28—2,5—1,5 (монельметалл), а покрытие состоит из смеси, содержащей 55—60% мела и 40—45% графита. Применяют также покрытие, содержащее 45% графита, 15% кремнезема, 20% огнеупорной глины, 10% соды и 10% древесной золы. Сварку вы-

полняют постоянным током обратной полярности. Рекомендуются электроды диаметром 3 мм при сварочном токе 90—120 А. Сварку ведут возможно короткой дугой небольшими участками — 20—25 мм. После сварки производят проковку металла шва.

Комбинированные электроды для холодной сварки чугуна состоят из меди и железа. Применяют следующие сочетания: а) стержень из меди марки М1, железо вводят в покрытие электрода в виде железного порошка; б) медный стержень покрывают тонкой оболочкой из жести толщиной 0,3 мм (в виде ленты шириной 6—7 мм или в виде трубки); в) стержень из низкоуглеродистой стали покрывают оболочкой из тонкой медной ленты (медной трубкой) или применяют электролитическое покрытие медью толщиной 0,7—1,0 мм; г) пучок электродов составляют из одного стального электрода с покрытием типа УОНИИ-13 и нескольких тонких медных стержней. Широкое применение получили электроды ОЗЧ-1 (стержень медный М1) и АНЧ-1 (стержень типа Св-04Х19Н9 с медной оболочкой), покрытия которых содержат мрамор, кварцевый песок и ферросплавы.

Сварка производится постоянным током обратной полярности. Сварочный ток определяют из расчета 30—40 А на 1 мм диаметра электрода. Успешно применяется механизированный способ сварки и наплавки порошковой проволокой. Он обеспечивает высокую производительность и хорошие условия труда сварщика. Для сварки чугуна с пластинчатым графитом применяют проволоку типа ПП-АНЧ2, а для высокопрочных чугунов — типа ПП-АНЧ5. Сварку выполняют на полуавтоматах марок А-765, А-1035, А-1197 проволокой диаметром 3 мм, постоянным током прямой полярности.

Газовая сварка чугуна применяется как удобный и сравнительно простой способ. Сварку выполняют с предварительным местным или общим подогревом. Скол кромок

делают односторонний Y-образный с углом разделки 90°. Присадочным материалом служат чугунные прутки диаметром 6—12 мм и длиной 350—500 мм марок ПЧ1, ПЧ2, ПЧ3 и ПЧВ. Флюс марки ФСЧ-1 (23% прокаленной буры, 27% безводного углекислого натрия и 50% азотнокислого натрия) в порошкообразном виде периодически подсыпается в расплавленный металл шва. В процессе сварки прутки погружают во флюс и переносят его в сварочную ванну. Допускается также применять в качестве флюса только прокаленную буру. Удельная мощность пламени должна составлять 100—120 л/(ч·мм). Пламя должно быть нейтральным или с небольшим избытком ацетилен. Можно производить сварку двумя горелками: первой подогревают сварочную ванну, второй производят сварку и расплавление присадочного прутка. После сварки необходимо обеспечить медленное охлаждение изделия. Для этого его покрывают асбестом или слоем песка. Рекомендуется произвести отжиг заваренных деталей и охлаждение вместе с печью.

Применяют также низкотемпературную сварку чугуна, сущность которой заключается в том, что свариваемые кромки изделия подогревают не до расплавления, а до температуры 800—850°C. В разделку кромок вводят флюс, а затем наплавляют металл. Присадочными стержнями служат прутки марки ПНЧ-1 или ПНЧ-2, покрытые флюсом. Флюсы-пасты содержат 5% диоксида титана, 10 — азотнокислого калия, 12 — фтористого натрия, 40 — плавлевой буры, 11 — ферротитана, 15 — углекислого лития, 7% — железного порошка и 7 массовых частей керосина на 50 частей сухой смеси. Допускается применение флюса ФСЧ-1 при использовании прутков ПЧН-1 и флюса ФСЧ-2 (18% буры, 25 — кальцинированной соды, 56,5 — натриевой селитры, 0,5% — углекислого лития) при сварке прутками типа ПЧН-2.

Место сварки тщательно очищают, после чего изде-

лия подвергают местному или общему подогреву до температуры 300—400°C восстановительным пламенем горелки. Свариваемые кромки покрывают слоем пасты и нагревают нормальным пламенем горелки до температуры 750—790°C. Паста плавится и покрывает тонким слоем поверхность кромок. Сварку ведут справа налево. После заварки сварное соединение медленно охлаждают. Шов получается плотным и хорошо поддается механической обработке. Применяют также низкотемпературную пайкосварку латунными припоями. Кромки подготавливают методом механической обработки и очищают от жировых пятен растворителем (бензин, ацетон и др.). После предварительного нагрева до 300—400°C на кромки наносят флюс марки ФПСН-1, содержащий 25% углекислого лития, 25% кальцинированной соды, 50% борной кислоты. Процесс пайкосварки ведут нормальным пламенем. Используют припой марки ЛОК-59—1-0,3. Пламенем горелки расплавляют конец прутка припоя и заполняют разделку шва. После затвердевания металл шва проковывают медным молотком.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему свариваемость чугунов хуже свариваемости сталей?
2. В каких случаях применяют сварку чугунов с подогревом и в каких без подогрева?
3. Какие электроды и присадочные материалы применяют при сварке чугунов?
4. Какие флюсы используют при сварке чугунов?
5. В чем отличие пайки от сварки?

Глава 15

НАПЛАВОЧНЫЕ РАБОТЫ

§ 53. Виды наплавочных работ

Наплавкой называется процесс нанесения с помощью сварки на поверхность детали слоя металла для восстановления ее первоначальных размеров либо для придания поверхности специальных свойств.

Для получения заданных свойств наплавленного слоя применяют легирование присадочного металла в процессе наплавки, а чаще всего используют специальные наплавочные электроды.

Применяют следующие виды наплавки.

Ручная дуговая наплавка выполняется покрытым плавящимся или неплавящимся электродом. Плавящиеся наплавочные электроды применяются в соответствии с назначением каждого типа и марки. Неплавящиеся электроды применяют при наплавке на поверхность детали порошковых смесей. Применяются электроды из литых твердых сплавов и в виде трубки, заполненной легирующей порошкообразной смесью. Ручная наплавка малопроизводи-

тельна и применяется при наплавке деталей сложной конфигурации.

Автоматическая и полуавтоматическая наплавка под флюсом производится проволокой сплошного сечения, ленточным электродом или порошковой проволокой. Легирование наплавляемого слоя осуществляют через электродную проволоку, легированный флюс (при проволоке из низкоуглеродистой стали) или совместным легированием через проволоку и флюс. Иногда в зону дуги вводят легирующие вещества в виде пасты или порошка.

Наплавку в защитных газах применяют при наплавке деталей в различных пространственных положениях и деталей сложной конфигурации. Возможность наблюдать за процессом формирования валика позволяет корректировать его, что очень важно при наплавке сложных поверхностей. Наплавку производят чаще всего в аргоне или углекислом газе плавящимся или неплавящимся электродом. Наибольшее распространение получила наплавка в углекислом газе постоянным током обратной полярности. Однако следует учесть, что углекислый газ окисляет расплавленный металл, и поэтому необходимо применять наплавочную проволоку с повышенным содержанием раскислителей. Недостатком этого вида наплавки является относительно большое разбрызгивание металла.

Наплавка самозащитной порошковой проволокой или лентой открытой дугой не требует защиты наплавляемого металла и по технике выполнения в основном не отличается от наплавки в защитном газе. Преимуществом этого вида является возможность наплавки деталей на открытом воздухе. Сварщик, наблюдая за процессом, может обеспечить хорошее формирование наплавляемых валиков. Наплавка самозащитной проволокой менее сложна, хорошо поддается механизации.

Плазменная наплавка производится плазменной (сжа-

той) дугой прямого или косвенного действия. Присадочным материалом служит наплавочная проволока и порошкообразные смеси. Существуют различные схемы наплавки, которые получили широкое распространение благодаря высокой производительности (7—30 кг/ч), возможности наплавки тонких слоев при малой глубине проплавления основного металла. При этом получают гладкую поверхность и высокое качество наплавленного слоя.

Вибродуговая наплавка выполняется специальной автоматической головкой, обеспечивающей вибрацию и подачу электродной проволоки в зону дуги. При вибрации электрода происходит чередование короткого замыкания сварочной цепи и разрыва цепи (паузы). В зону наплавки подается охлаждающая жидкость. Она защищает наплавленный металл от воздействия воздуха и, охлаждая деталь, способствует уменьшению зоны термического влияния, снижает сварочные деформации и повышает твердость наплавленного слоя. В качестве охлаждающей жидкости применяют водные растворы солей, содержащих ионизирующие вещества (например, кальцинированной соды), облегчающие периодическое возбуждение дуги после разрыва цепи (паузы).

Электрошлаковая наплавка характеризуется высокой производительностью. Способ позволяет получать наплавленный слой любого заданного химического состава на плоских поверхностях и на поверхностях вращения (наружных и внутренних). Наплавка выполняется за один проход независимо от толщины наплаваемого слоя.

Газовая наплавка имеет ограниченное применение, так как при наплавке возникают большие остаточные напряжения и деформации в наплаваемых деталях. Для наплавки применяют литые твердые сплавы.

Для наплавки деталей экскаваторов, землеройных машин, работающих при ударных нагрузках, применяют элект-

роды марки 12АН/ЛИВТ (тип Э-95Х7Г5С), дающие наплаваемый слой твердостью до 32HRC. Наплавку стальных и чугунных деталей, подверженных абразивному износу без ударной нагрузки, производят электродами марки Т-590 тип Э-320Х25С2ГР. Детали, работающие в условиях сильного износа и при ударных нагрузках, рекомендуется наплавливать электродами марки Т-620 (тип Э-320Х23С2ГТР) диаметром 4—5 мм.

Механизированную наплавку производят наплавочной проволокой. Она маркируется буквами Нп и цифрами и буквами, характеризующими химический состав металла проволоки. Подбираются проволоки в зависимости от объекта наплавки и требуемой твердости наплаваемого слоя. Марки углеродистой проволоки в зависимости от содержания углерода дают слой твердости от 160НВ (Нп-25) до 340НВ (Нп-85). Проволока легированная и высоколегированная позволяет получать слой твердости от 180НВ (Нп-40Г) до 52HRC (Нп-40Х13).

При наплавке используют флюсы. Допускается производить наплавку рабочих поверхностей деталей электродной проволокой марки Св-08 под легирующим керамическим флюсом марки АНК-18 и АНК-19. Механизированную наплавку производят также наплавочной порошковой проволокой или лентой под слоем флюса АН-348-А, АН-20 (С, СП и П), АН-22, АН-60 и др. Для наплавки деталей машин из углеродистой стали под флюсом типа АН-348-А применяют порошковую проволоку марок ПП-АН-120, ПП-АН-121 (твердость слоя 300—350 НВ) или ПП-АН-122 (твердость слоя 50—56 HRC); для наплавки высокомарганцовистых сталей применяют проволоку ПП-АН-105 (твердость слоя 20—25 HRC), для наплавки высокохромистых сталей рекомендуют порошковую проволоку марок ПП-АН-170 и ПП-АН-171. Порошковые ленты марок ПЛ-АН-101, ПЛ-АН-102 и ПЛ-АН-112 применяют для наплавки под флюсом и открытой дугой.

§ 54. Технология наплавки

Процесс наплавки начинается с тщательной очистки детали от грязи, масла, краски. Рекомендуется поверхность, подлежащие наплавке, обжигать газовыми горелками. Применяют также промывку горячим раствором щелочи с последующей промывкой горячей водой, очистку стальной щеткой. Для предупреждения больших внутренних напряжений и образования трещин наплавляемые детали часто подогревают до температуры, зависящей от основного и наплавляемого металлов. Приемы и режимы наплавки зависят от формы и размеров деталей, толщины и состава наплавляемого слоя.

Большое значение для качества и формирования наплавляемого слоя имеет доля основного и присадочного металла. Влияние основного металла на качество наплавляемого слоя пропорционально доле его участия в образовании слоя. Эта доля зависит не только от способа наплавки, но особенно от режима наплавки. Например, при наплавке под флюсом влияние режима на качество наплавляемого слоя больше, чем при ручной наплавке покрытыми электродами, что объясняется большим проплавлением основного металла. Преимуществом наплавки порошковой проволокой (или лентой) является меньшая плотность тока, что обеспечивает меньшую глубину проплавления основного металла и, как следствие, меньшее перемешивание его с наплавляемым металлом. При нанесении слоя в виде отдельных валиков должно быть обеспечено оптимальное перекрытие валиков при ручной наплавке на 0,30—0,35 ширины, а при механизированной — на 0,4—0,5 ширины валика.

Ручную дуговую наплавку производят электродами с диаметром стержня 4—5 мм. Сварочный ток составляет 160—250 А. Напряжение дуги — 22—26 В. Наплавку про-

изводят короткой дугой постоянным током обратной полярности. При наплавке перегрев наплавленного слоя не допускается. Для этого слой наплавляют отдельными валиками с полным последовательным охлаждением каждого валика.

По химическому составу и физико-механическим свойствам наплавленный металл будет отличаться как от основного, так и от присадочного металла.

Одним из важных параметров процесса наплавки является глубина проплавления основного металла: чем меньше глубина проплавления, тем меньше доля основного металла в наплавленном. Химический состав наплавленного металла будет ближе к присадочному. Обычно химический состав присадочного металла и металла наплавки выравнивается во втором-третьем слое.

С другой стороны, на глубине проплавления располагается переходная зона от основного металла к наплавленному. Эта зона считается наиболее опасной, с точки зрения разрушения металла. Металл переходной зоны охрупчен из-за большой скорости охлаждения металла шва, имеет повышенную склонность к образованию холодных трещин по причине большой неоднородности химического состава металла и соответственно большой разности коэффициентов линейного расширения. Отсюда следует, что чем больше глубина проплавления, тем больше зона ослабленного участка и тем ниже прочность детали. И, наоборот, чем меньше глубина проплавления, тем в меньшей мере теряется прочность детали. Металл наплавки по химическому составу приближается к присадочному, при этом отпадает необходимость в наложении второго слоя.

Исходя из изложенного, выбор оборудования для наплавки, режимов и технологии должен проводиться из условия обеспечения минимальной глубины проплавления основного металла $h_{пр}$ и заданной величины наплавленного слоя.

Высота наплавленного слоя h_n складывается из величины износа $h_{и}$, толщины дефектного слоя $h_{д.с}$ и высоты неровностей $h_{нep}$ (рис. 70).

$$h_n = h_{и} + h_{д.с} + h_{нep}$$

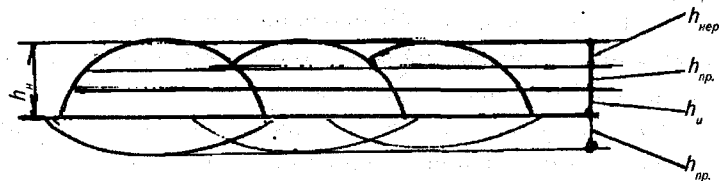


Рис. 70. Схема наплавки

На практике величина дефектного слоя принимается равной 1,5—2,0 мм, высота неровностей — 1,0—1,5 мм:

$$h_n = h_{и} + (2,5—3,5) \text{ мм.}$$

При толщине наплавленного слоя больше 5 мм наплавку желательно вести в два слоя для уменьшения глубины проплавления.

Выбор режимов наплавки зависит от толщины наплавленного слоя.

Выбор наплавочных материалов производится исходя из требований, предъявляемых к металлу трущихся поверхностей в зависимости от вида изнашивания. Например, для условий абразивного изнашивания требуется высокая твердость наплавленного металла, которая обеспечивается использованием наплавочных материалов с повышенным содержанием углерода, хрома, марганца, вольфрама.

Для условий коррозионного изнашивания коррозионностойкость достигается легированием металла хромом в количестве больше 12% (нержавеющие стали).

Режимы и технология наплавки назначаются в зависимости от требуемой высоты наплавленного слоя. В понятие режима входит выбор силы тока, напряжения и скоро-

сти наплавки. Сила тока и напряжение должны быть минимальными, но обеспечивать стабильное горение дуги.

Величина силы тока определяется в основном диаметром электрода. Для наплавочных работ, применяются электроды малых диаметров (4,0—5,0 мм).

Выбор сварочного оборудования производится в соответствии с режимом наплавки. Параметры источника тока должны обеспечивать заданные режимы наплавки.

Ручная дуговая наплавка применяется при индивидуальном способе выполнения ремонтных работ.

Выбор марки электродов производится исходя из требований, предъявляемых к металлу поверхности в зависимости от условий работы деталей (табл. 30).

Для восстановления деталей типа валов, работающих при нормальных условиях, рекомендуются электроды ОЗН-400, обеспечивающие твердость НВ 375—425 без термической обработки.

Наплавка деталей, работающих при коррозионном изнашивании, выполняется электродами ЦП-6М, химический состав наплавленного металла 08Х17Н8С6Г или ЦН-5 (24Х12). Для деталей, работающих в условиях абразивного износа, рекомендуются электроды Т-590 (Э-320Х25С2ГР).

Режимы наплавки указываются на пачках электродов.

Для наплавки могут применяться и сварочные электроды, но механические свойства наплавленного металла низкие.

Наплавка плоских поверхностей выполняется в наклонном положении способом сверху вниз.

Наплавка цилиндрических поверхностей выполняется по винтовой линии или продольными валиками. Порядок наложения швов приводится на рис. 71.

Таблица 30

Наиболее распространенные типы и марки электродов для наплавки и основные области их применения

Тип	Марка	Область применения
Э-10Г2 Э-11Г3 Э-12Г4 Э-15Г5 Э-30Г2ХМ	ОЗН-250У ОЗН-300У ОЗН-350У ОЗН-400У НР-70	Детали, работающие в условиях интенсивных ударных нагрузок (оси, валы, автосцепки, железнодорожные крестовины, рельсы)
Э-16Г2ХМ Э-35Г6 Э-30В8Х3 Э-35Х12В3СФ Э-90Х4М4ВФ	ОЗШ-1 ЦН-4 ЦШ-1 Ш-16 ОЗН-3	Штампы для горячей штамповки
Э-37Х9С2 Э-70Х3СМТ Э-24Х12 Э-20Х13 Э-35Х12Г2С2 Э-100Х12М Э-120Х12Г2СФ Э-10М9Н8К8Х2СФ	ОЗШ-3 ЭН-60М ЦН-5 48Ж-1 НЖ-3 ЭН-Х12М Ш-1 ОЗШ-4	Штампы для холодной штамповки
Э-80В18Х4Ф Э-90В10Х5Ф2 Э-105В6Х5М3Ф3 Э-10К18В11М10Х3Ф Э-300Х28Н4С4 Э-225Х10Г10С Э-110Х14В13Ф2 Э-175В8Х6СТ	ЦИ-1М ЦИ-2У И-1 ОЗИ-5 ЦС-1 ЦН-11 ВСН 6 ЦН-16	Металлорежущий инструмент, а также штампы для горячей штамповки в тяжелых условиях (осадка, вытяжка, прошивки). Детали, работающие в условиях интенсивного абразивного изнашивания с ударными нагрузками
Э-08Х17Н8С6Г Э-09Х16Н9С5Г2М2ФТ Э-09Х31Н8АМ2 Э-13Х16Н8М5С5Г4Б Э-15Х15Н10С5М3Г Э-15Х28Н10С3ГТ Э-15Х28Н10С3М2ГТ Э-200Х29Н6Г2 НЭ-190К62Х29В5С2	ЦН-6М, ЦН-6Л ВПИ-1 УОНИ-13/Н1-БК ЦН-12М, ЦН-12Л ЦН-18 ЦН-19 ЦН-20 ЦН-3 ЦН-2	Уплотнительные поверхности арматуры для котлов, трубопроводов и нефтеаппаратуры
Э-65Х11Н3 Э-65Х25ПН3	ОМГ-Н ЦНИИН-4	Износенные детали из высокомарганцовистых сталей типов 110Г13 и 110Г13Л
Э-95Х7Г5С Э-30Х5В2Г2СМ	12АН/ЛИВТ Ткз-Н	Детали, работающие в условиях интенсивных ударных нагрузок с абразивным изнашиванием
Э-80Х4С Э-320Х23С2ГТР Э-320Х25С2ГР Э-350Х26Г2Р2СТ	13КН/ЛИВТ Т-620 Т-590 Х-5	Детали, работающие преимущественно в условиях абразивного изнашивания

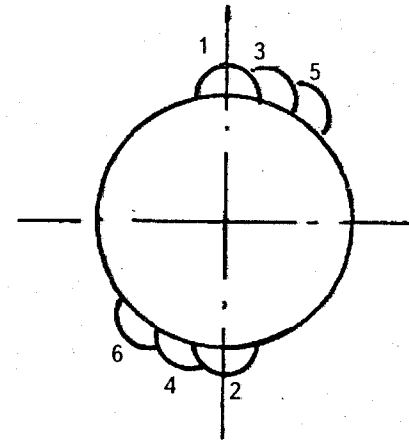


Рис. 71. Порядок наложения швов при наплавке деталей цилиндрической формы продольными валиками

Зернистые порошковые смеси наплавляют с помощью угольного электрода. На подготовленную поверхность насыпают тонкий слой флюса — прокаленной буры (0,2—0,3 мм) и слой порошковой смеси толщиной 3—7 мм и шириной не более 50 мм. При большей ширине наплавляют несколько полос. Слой разравнивают и слегка уплотняют гладилкой. Наплавку производят плавными поперечными движениями угольного электрода вдоль наплавляемой поверхности. Скорость перемещения должна обеспечивать сплавление наплавляемого сплава с основным металлом. Ток постоянный прямой полярности. При диаметре электрода 10—16 мм сварочный ток составляет 200—250 А, напряжение дуги — 24—28 В. Длину дуги поддерживают в пределах 4—8 мм.

Автоматическая наплавка под флюсом рекомендуется при большом объеме работ.

Сущность процесса наплавки состоит в том, что дуга горит под слоем флюса. Под действием тепла дуги рас-

плавляются электродная проволока, основной металл и часть флюса. Расплавленный металл электрода переносится на основной, образуя слой наплавленного металла. Перенос происходит в зоне расплавленного флюса, который надежно защищает жидкий металл от контакта с воздухом.

По мере удаления сварочной дуги расплавленный флюс затвердевает, образует шлаковую корку, легко отделяющуюся от металла наплавки. Неизрасходованная часть флюса собирается и возвращается в дальнейшем для наплавки.

Процесс наплавки осуществляется с помощью наплавочных установок, конструкция которых зависит от конфигураций наплавляемых деталей. При ремонте автомобилей чаще всего встречаются детали цилиндрической формы типа валов. Для восстановления размеров таких деталей промышленностью выпускается наплавочная установка типа А-580М, которая легко монтируется на месте резцедержателя на переоборудованном токарном станке, имеющем частоту вращения 0,2—5 об/мин (рис. 72).

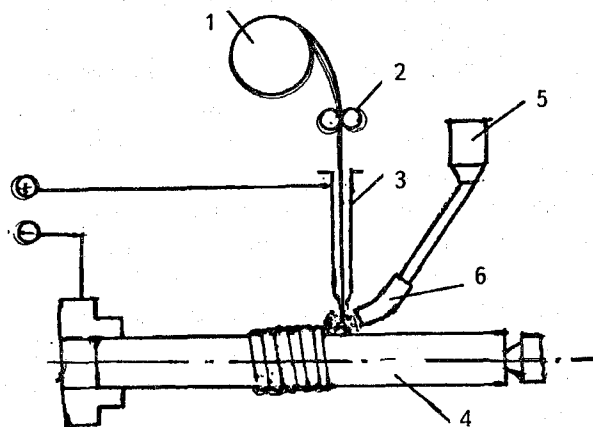


Рис. 72. Схема механизированной наплавки под флюсом

Проволока из кассеты 1 подающими роликами 2 через направляющую 3 подается в зону горения дуги на деталь 4, закрепленную в патроне токарного станка. Флюс из бункера 5 подается на дозатор 6. Наплавка на вал осуществляется по винтовой линии с заданным шагом.

Выбор марки наплавочной проволоки производится в зависимости от требуемых физико-механических свойств наплавленного металла. Легирование наплавленного слоя при наплавке под флюсом производится в основном через электродную проволоку, реже — через проволоку и флюс. Для наплавки чаще всего применяют плавленный флюс АН-348А.

Для наплавки деталей из малоуглеродистых сталей применяют проволоку Св-08А, Св-08ГС, Св-1-Г2; для деталей из среднеуглеродистых сталей — Нп-65, Нп-30ХГСА.

Выбор режимов наплавки производится исходя из толщины наплавляемого слоя, диаметр наплавочной проволоки принимается в пределах 1,6—2,5 мм, при этом сила тока колеблется 150—200 А, напряжение — 25—35 В, скорость подачи сварочной проволоки — 75—180 м/ч, скорость наплавки — 10—30 м/ч.

При выборе источника питания предпочтение отдается источникам постоянного тока, преобразователям и выпрямителям с падающей характеристикой. Наплавку ведут на обратной полярности.

Наплавка под флюсом по сравнению с ручной дуговой наплавкой имеет следующие преимущества: высокая производительность процесса, возможность получения наплавленного металла с заданными физико-механическими свойствами, высокое качество наплавленного металла, лучшие условия труда сварщиков, отсутствие ультрафиолетового излучения.

К недостаткам процесса относятся: большая глубина проплавления из-за высокого нагрева детали, невозмож-

ность наплавки деталей диаметром менее 50 мм из-за трудности удержания флюса на поверхности детали.

Механизированная наплавка под флюсом применяется для наплавки коленчатых валов, полуосей и других деталей.

Наплавка в среде углекислого газа довольно широко применяется для восстановления размеров изношенных деталей.

Оборудование для наплавки в среде углекислого газа деталей цилиндрической формы состоит из вращателя — модернизированного токарного станка и наплавочной головки А-580М, смонтированной на суппорте токарного станка (рис. 73).

Наплавочная проволока из кассеты 1 тянущими роликами 2 через мундштук 3 подается в зону горения дуги с основным металлом. Дуга горит в среде углекислого газа, подаваемого из углекислотного баллона 5 через подогреватель 6, редуктор 7, осушитель 8 в сопло 4, установленное

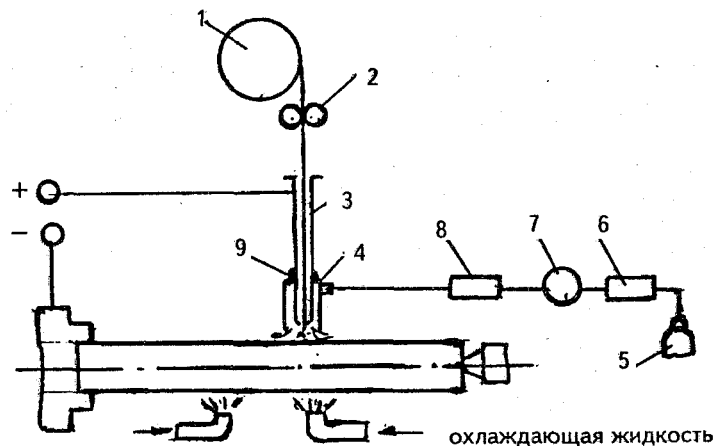


Рис. 73. Схема механизированной наплавки в среде углекислого газа

на конце мундштука через изоляционную втулку 9. Вытекающая из сопла, углекислый газ оттесняет воздух и предохраняет расплавленный металл от окисления. Давление газа 0,15—0,20 МПа. Деталь типа вала устанавливается в патроне токарного станка с поджатием центром задней бабки.

Наплавка осуществляется по винтовой линии с определенным шагом. Снизу на деталь подается жидкость (3—5% водный раствор кальцинированной соды) для охлаждения детали в процессе наплавки. Охлаждающая жидкость может подаваться непосредственно на наплавленный металл или рядом с ним, создавая различные скорости охлаждения.

Таким образом происходит совмещение процесса наплавки с термической обработкой металла шва. Кроме того, охлаждение значительно снижает коробление деталей, что очень важно при наплавке валов значительной длины.

Выбор режимов наплавки в среде углекислого газа производится в том же порядке, что и при наплавке под флюсом.

Однако имеется особенность назначения марки наплавочной проволоки: содержание марганца и кремния в ней должно быть не менее чем по 1% для предотвращения образования пор. Для наплавки у малоуглеродистых сталей применяют сварочную проволоку марок Св-С8Г2С, Св-12ГС и др.

Для среднеуглеродистых низколегированных сталей используют проволоку Св-18ХГСА, Нп-30ХГСА. При наплавке проволокой Нп-30ХГСА без охлаждения твердость наплавленного металла составляет 30—35 НRC, с охлаждением — 50—52 НRC.

Для наплавки в среде углекислого газа используются малые диаметры проволок в пределах 0,8—1,6 мм. Сила сварочного тока колеблется от 70 до 200 А, скорость наплавки — до 100 м/ч. Для наплавки в среде углекислого

газа применяются источники постоянного тока (преобразователи и выпрямители) с жесткой характеристикой.

Механизированная наплавка в среде углекислого газа по сравнению с наплавкой под флюсом имеет следующие преимущества: меньший нагрев детали, возможность совмещения наплавки с термической обработкой, более высокая производительность процесса, возможность наплавки деталей малых размеров.

К недостаткам процесса относится то обстоятельство, что легирование наплавленного металла ограничено только химическим составом электродной проволоки.

Для расширения диапазона легирования наплавленного металла применяется порошковая проволока, представляющая собой металлическую оболочку, внутри которой располагаются легирующие, раскисляющие, ионизирующие и шлакообразующие элементы. Такой комплекс легирования позволяет проводить сварку и наплавку как с защитой сварочной дуги, например — углекислым газом, так и без всякой внешней защиты наплавленного металла от окисления. Наличие шлакообразующих компонентов в составе порошковой проволоки обеспечивает надежную защиту от окисления расплавленного металла.

Для наплавки и сварки малоуглеродистых сталей применяют порошковую самозащитную проволоку ПП-АН2М, ПП-11 и др., выпускаемую диаметром 1,6—2,0 мм.

Выбор марки порошковой проволоки для наплавки среднеуглеродистых низколегированных сталей производится в зависимости от условий работы деталей. Например, металл, наплавленный порошковой проволокой ПП-3Х2В8, сохраняет высокую твердость и прочность при повышенных температурах.

Выбор режимов наплавки порошковыми проволоками проводится в том же порядке, что и при наплавке в среде углекислого газа. Параметры режимов наплавки следую-

щие: диаметр электродов 1,6—2,0 мм, сила тока 160—200 А, скорость наплавки 10—40 м/ч. Оборудование для наплавки — то же самое, что и в среде углекислого газа. В качестве источника тока применяются преобразователи и выпрямители.

Достоинства наплавки порошковой проволокой состоят в меньшей стоимости процесса и возможности выполнения наплавочных работ во всех положениях.

Вибродуговая наплавка рекомендуется для наплавки деталей типа валов, схема которой приводится на рис. 74.

Проволока из кассеты 1 тянущими роликами 2 через мундштук 3 разрезной конструкции подается в зону горения на детали 5. При вращении эксцентрика 4 проволоке придаются возвратные продольные колебания. Наплавочная установка устанавливается на суппорте токарного станка на место резцедержателя. Деталь крепится в патроне токарного станка. Снизу на деталь подается охлаждающая

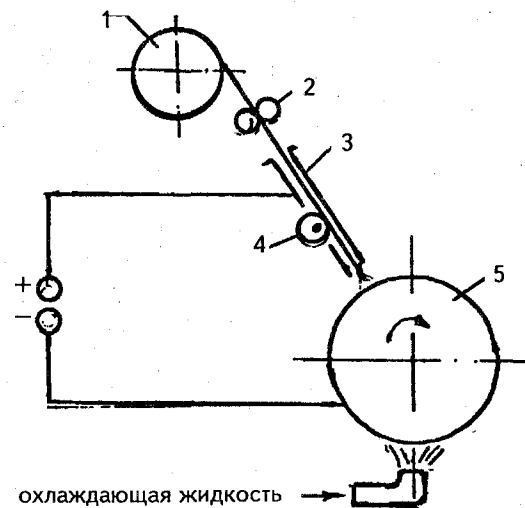


Рис. 74. Схема вибродуговой наплавки

жидкость (3—5% раствор кальцинированной соды) для отвода тепла.

Выбор марки наплавочной проволоки ведется в зависимости от требований, предъявляемых к рабочей поверхности. Для обеспечения твердости 50—55 HRC применяется проволока Нп-65 или Нп-30ХГСА с охлаждением. Меньшая твердость 35—40 HRC достигается наплавкой проволокой Нп-30ХГСА без охлаждения наплавленного слоя.

Наплавка выполняется как без внешней защиты для неответственных деталей, так и в среде углекислого газа — для ответственных.

Режимы наплавки должны обеспечить получение наплавленного слоя заданной толщины. Диаметр электрода принимается равным 1,2—2,0 мм. Напряжение дуги составляет 16—18 В. Сила тока колеблется в пределах 100—200 А. Скорость наплавки 1—2 м/мин.

Источниками питания дуги служат преобразователи и выпрямители с жесткой внешней характеристикой. Полярность обратная.

Достоинством вибродуговой наплавки является то, что это один из немногих способов восстановления деталей малых, размеров. Кроме того, вибродуговая наплавка отличается малой глубиной зоны термического влияния и незначительным нагревом детали.

Плазменная наплавка является одним из эффективных способов, позволяющим наносить металл различного химического состава различной толщины с минимальной глубиной проплавления. Выполняется с помощью плазмотронов (рис. 75).

Принцип работы следующий. Вначале зажигают так называемую дежурную дугу 3, которая горит между вольфрамовым электродом 1 (катод) и медным водоохлаждаемым соплом 2 в газовой среде. В качестве плазмообразующих газов применяются чаще всего аргон или азот. Для ионизации

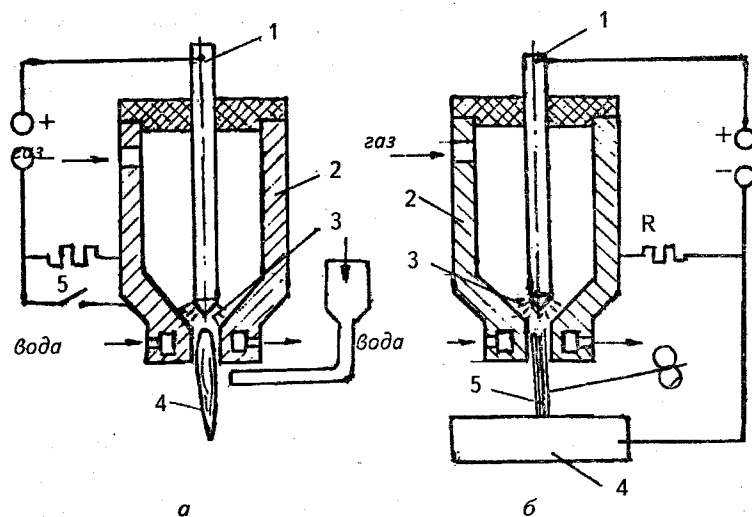


Рис. 75. Схема плазменной наплавки дугой косвенного а и прямого б действия

аргона напряжение дежурной дуги должно быть не менее 90 В, сила тока — 40—50 А, для чего в сварочную цепь включается сопротивление R. Расход аргона при горении дежурной дуги незначительный (давление 0,03—0,05 МПа).

При использовании в качестве ионизирующего газа азота напряжение для горения дежурной дуги должно быть не ниже 180 В, давление азота — 0,03—0,05 МПа. Дежурная дуга выдувается из канала сопла в виде газового пламени. Диаметр канала сопла 4—5 мм. Для зажигания основной плазменной дуги прямого действия 5 газовым пламенем дежурной дуги касаются основного металла 4 (рис. 75, б). Происходит переброс дуги с сопла на основной металл, минуя сопротивление R. Ток резко возрастает до 300—500 А. В этот момент необходимо резко увеличить расход газа (давление газа 0,3—0,4 МПа). Температура внутри столба дуги

при использовании в качестве плазмообразующего газа аргона до 20 000 °С.

Для осуществления процесса наплавки электродную проволоку подают в зону плазменной дуги, металл электрода плавится и переносится на деталь.

Для прекращения процесса наплавки плазматрон отрывают от детали, основная дуга гаснет, но продолжает гореть дежурная дуга.

В качестве наплавляемого материала могут использоваться не только порошки металлов, но и неметаллов (керамический порошок). Это позволяет нанести керамику на металлы.

Режимы наплавки выбираются в зависимости от толщины наплавляемого слоя, толщины основного металла и др.

Для наплавки на неметаллические поверхности и детали с небольшой толщиной стенки применяются плазматроны с плазменной дугой косвенного действия (рис. 75, а).

Зажигание дежурной дуги и обеспечение ее устойчивого горения осуществляется так же, как и для плазматрона с плазменной дугой прямого действия. Для зажигания основной плазменной дуги косвенного действия 4 замыкаются контакты 5 (рис. 75, а) и включается основная сварочная цепь. Резко возрастает ток, увеличивается мощность дуги, одновременно включается и повышенный расход газа. Плазменная струя ионизированного газа выходит из сопла в виде мощного газового пламени.

Для осуществления наплавки электродный материал в виде порошка подается в струю плазмы, разогревается до температуры плавления и в виде капель переносится на основной металл. Подача порошков в струю плазмы производится с помощью инертных газов: аргона, азота и др.

В состав оборудования для наплавки входят плазматрон со шкафом управления, источник питания постоянного тока

(обычно выпрямитель) с падающей характеристикой. Для наплавки деталей цилиндрической формы плазматрон устанавливается на суппорт токарного станка, переоборудованного на низкое число оборотов.

К достоинствам плазменной наплавки относятся возможность регулирования температуры нагрева металла, высокая производительность процесса, малая глубина зоны термического влияния, высокое качество наплавленного металла.

К недостаткам процесса необходимо отнести более высокие требования по электробезопасности при выполнении наплавочных работ.

Газовая наплавка применяется сравнительно редко, в основном при индивидуальном способе выполнения работ, из-за трудности механизации процесса, и др.

Плавление металла осуществляется газовым пламенем, образующимся при сгорании кислорода в среде ацетилена. Температура пламени в зоне ядра составляет 3100—3200 °С.

Защита расплавленного металла от окисления осуществляется самим газовым пламенем и флюсами. В качестве флюса используют буру или смесь буры и борной кислоты.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется наплавкой?
2. Какие наплавочные материалы вы знаете?
3. Какие виды наплавочных работ применяются в производстве?
4. Как производят наплавку покрытыми электродами?
5. Как выполняется наплавка под флюсом, в среде углекислого газа, порошковыми проволоками?
6. Укажите область применения плазменной наплавки.

..... ГЛАВА 16

ЭЛЕКТРОДУГОВАЯ РЕЗКА

.....

§ 55. Резка плавящимся электродом

Резка стальным электродом основана на выплавлении металла из зоны резания теплотой электрической дуги, возбуждаемой между электродом и разрезаемым металлом. Этот способ широко применяется для грубой разделки металла. Резку производят стальными электродами с качественным покрытием, но более тугоплавким, чем для сварки. Такое покрытие обеспечивает при резке образование небольшого козырька, закрывающего зону дуги. Козырек предохраняет электрод от короткого замыкания на разрезаемый металл, а также способствует более сосредоточенному нагреву металла.

Электроды изготовляют из проволоки марки Св-08 или Св-08А диаметром 2,5—6 мм и длиной 250—350 мм. Применяют покрытие, способствующее улучшению процесса резки, состоящее из марганцевой руды (98%) и поташа (2%) или марганцевой руды (94%), мрамора (3%) и каолина (3%). Толщина покрытия — 1—1,5 мм. Ток посто-

янный или переменный. Напряжение холостого хода — не менее 65 В. При толщине разрезаемого металла 6—25 мм и диаметре электрода 2,5 мм применяют ток 130—140 А. Скорость резки составляет 3—12 м/ч. При диаметре электрода 5 мм ток достигает 300—350 А, а скорость резки — 7—25 м/ч. Рекомендуют электроды типа ОЗР-1, позволяющие резать металлы в любом пространственном положении.

Кислородно-дуговая резка отличается от обычной дуговой тем, что на нагретый до плавления участок поверхности металла подают струю чистого кислорода. Кислород прожигает металл участка резания и выдувает образовавшиеся оксиды и расплавленный металл из полости реза. При сгорании металла выделяется дополнительная теплота, которая ускоряет процесс плавки и резки металла. Такой способ применяется для выполнения коротких разрезов в различных строительных конструкциях.

Способ ручной кислородно-дуговой резки резаком типа РГД. При этом способе резчик в правой руке держит электрододержатель, а в левой — резак. Возбудив дугу и нагрев металл до плавления, резчик нажимает на рукоятку кислородного клапана и направляет струю кислорода на разогретый металл. Затем в процессе резки дугу и резак перемещают вдоль линии реза. Электродами служат стальные стержни диаметром 4—5 мм с покрытием ЦМ-7, ОММ-5, ОЗС-3 и др. Сварочный ток в зависимости от диаметра электрода достигает 250 А. Этим способом можно разрезать металл толщиной до 50 мм. Металл толщиной 10—20 мм режут электродом диаметром 4 мм со скоростью 450—550 мм/мин. Расход кислорода составляет 100—160 л/мин. Углеродистые и низколегированные стали толщиной 50 мм режут электродом диаметром 5 мм со скоростью 200 мм/мин при расходе кислорода до 400 л/мин.

§ 56. Резка неплавящимся электродом

Применяются следующие виды дуговой *резки неплавящимся электродом*: разделительная, воздушно-дуговая и плазменно-дуговая.

Разделительная резка металла неплавящимся электродом производится с помощью угольного, графитового или вольфрамового электрода. Угольные и графитовые электроды диаметром 12—25 мм позволяют разрезать металл толщиной до 100 мм. Резку производят постоянным током прямой полярности. Сварочный ток в зависимости от диаметра электрода составляет 40—1000 А. Угольные электроды в процессе резки науглероживают кромки разреза и этим затрудняют последующую механическую обработку. Графитовые электроды дают более чистый разрез, дольше сохраняются и допускают большие плотности тока.

Воздушно-дуговая резка используется как для разделительной, так и для поверхностной резки. При этом способе между неплавящимся электродом и разрезаемым металлом возбуждают дугу. Теплом дуги расплавляют металл участка резания, а струей сжатого воздуха непрерывно удаляют его из полости реза. Для воздушно-дуговой резки низкоуглеродистой и нержавеющей стали толщиной до 20 мм применяют универсальный резак типа РВД-4А-66. Резак имеет сменные угольные электроды диаметром 6—12 мм. Сварочный ток достигает 400 А, а при кратковременном форсированном режиме — до 500 А. Давление воздуха составляет 0,4—0,6 МПа. Расход воздуха при давлении 0,5 МПа не превышает 20 м³/ч. Масса резака — 1 кг. Процесс резки протекает устойчиво при питании резака постоянным током обратной полярности. При постоянном токе прямой полярности и при переменном токе процесс идет неустойчиво, производительность низкая при плохом качестве поверхности резания.

Производительность резки зависит от тока. При сварочном токе 200 А за 1 ч работы можно удалить до 7 кг низкоуглеродистой стали, при токе 300 А — до 10 кг, при токе 500 А — около 20 кг. С повышением тока снижается удельный расход электроэнергии с 3 кВт·ч/кг при токе в 300 А до 2 кВт·ч/кг при 500 А.

Плазменно-дуговая резка (рис. 76) осуществляется путем глубокого проплавления металлов сжатой дугой в зоне резания и удаления частиц расплавленного металла газовым потоком.

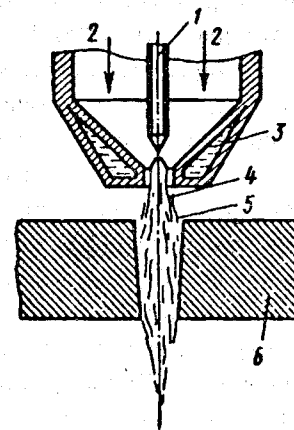


Рис. 76. Плазменная резка: 1 — вольфрамовый электрод; 2 — плазмообразующий газ; 3 — медное водоохлаждаемое сопло; 4 — электрическая дуга; 5 — струя плазмы; 6 — разрезаемый металл

Дуга возбуждается и горит между вольфрамовым электродом и разрезаемым металлом. Сварочный ток постоянный, прямой полярности. Электрод находится внутри охлаждаемого медного мундштука. В канал мундштука под давлением подается плазмообразующий газ, струя которого сжимает столб дуги. Под действием дуги газ разогревается до высокой температуры, образуя плазму с темпера

турой более 10 000°С. Струя плазмы, имея высокую температуру и большую скорость истечения, проплавляет металл по линии реза и выдувает расплавленный металл из полости реза.

Плазменно-дуговую резку можно применять для резки легированных и углеродистых сталей, чугуна, цветных металлов и их сплавов. Наиболее рационально и экономично ее применение при резке высоколегированных сталей, цветных металлов и их сплавов.

Электроды изготовляют из лантанированного (ВЛ-15) или торированного (ВТ-15) вольфрама. Плазмообразующими газами служат чистый аргон высшего сорта, технический азот 1-го сорта, смеси аргона с техническим водородом, воздух.

Источники питания для плазменной обработки должны обладать жесткой или крутопадающей внешней характеристикой. Для получения повышенного напряжения холостого хода используют последовательное включение двух-трех генераторов на одну дугу. К специализированным источникам питания относится ИПР-120/600, используемый в установке ОПР-6, ВНР-402 — в установке АПР-401. Наиболее часто применяются источники питания на тиристорах.

Толщина разрезаемого металла в значительной степени зависит от напряжения. Например, при рабочем напряжении 75 В максимальная толщина резки алюминия достигает 25 мм, при напряжении 250 В — 300 мм. Ток составляет 150—800 А.

Для ручной плазменно-дуговой резки используют плазморез марки РДМ-2—66-А, работающий на смеси аргона, водорода и азота и позволяющий резать металлы толщиной до 80 мм при максимальной силе тока до 450 А.

Широко применяют универсальную аппаратуру «Плазморез», состоящую из двух комплектов: КДП-1 и КДП-2. Комплект КДП-1 имеет резак РДП-1 с водяным охлажде-

нием, предназначенный для резки алюминия толщиной до 80 мм, нержавеющей стали — до 60 мм и меди — до 40 мм. В качестве газа используется аргон, азот и водород. Комплект КДП-2 допускает резку алюминия толщиной до 50 мм, стали — до 40 мм и меди — до 20 мм. Резак этого комплекта РДП-2 имеет воздушное охлаждение и может быть использован на монтажных работах при любых температурах. Источником питания дуги для всех комплектов служат 2-3 последовательно соединенных однопостовых источника постоянного тока.

Для машинной резки применяют установки марок АПР-402, АПР-404, УВПР «Киев», ОПР-6 и др. Установка АПР-402 может производить резку черных и цветных металлов и их сплавов толщиной до 160 мм. Она предназначена для комплектования стационарных машин термической резки и обеспечивает раскрой листового материала, резку труб и круглого проката. Сила тока устанавливается в пределах 100—450 А. Напряжение холостого хода — 300 В, рабочее напряжение на дуге — 250 В. Плазмообразующий газ — воздух. Максимальное давление воздуха 0,4 МПа. Замена дорогостоящих газовых смесей обычным воздухом экономически выгодна, значительно упрощает конструкцию установки и повышает производительность в 3—5 раз.

Для дуговой сварки и плазменной резки легированных сталей, цветных металлов и их сплавов в строительномонтажных условиях используют монтажный передвижной пост КПМ-1. Оборудование состоит из сварочного выпрямителя ВКС-500—1, компрессора, двух балластных реостатов типа РБ-300—1, горелки ГДС-150, резака РДП-2, баллонов с аргоном и азотом. Пост снабжен коллектором, допускающим переход от сетевых коммуникаций к кабельшланговому пакету. Вентиляция на режиме резки — принудительная. Пост выполняет сварку металла толщиной до

2,5 мм и резку меди толщиной до 20 мм, стали — до 40 мм и алюминия — до 50 мм.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В каких случаях применяют резку стальными электродами?
2. Какие электроды используются для резки?
3. В чем сущность кислородно-дуговой резки?
4. Назовите виды дуговой резки неплавящимся электродом.
5. Как производится плазменная резка?
6. Какие аппараты применяются для плазменно-дуговой резки?

..... Глава 17

**МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ
СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

.....

§ 57. Общие сведения

Одной из главных задач в сварочном производстве является замена ручного труда сварщиков механизированной и автоматизированной сваркой. Эта задача решается заменой ручной сварки механизированной для конструкций, где сложно использовать автоматическую сварку (короткие швы, сложное пространственное положение), широким использованием робототехники, применением механизированных и автоматизированных сварочных установок с использованием усовершенствованных и новых сварочных процессов.

Вместе с тем трудоемкость сварки составляет примерно одну треть общей трудоемкости изготовления сварной конструкции. Поэтому дальнейшее сокращение времени на изготовление сварных конструкций наряду с механизацией и автоматизацией сварки предусматривается за счет комплексной механизации и автоматизации сварочного произ-

водства, т. е. механизации и автоматизации всех производственных процессов, составляющих технологический цикл изготовления сварной конструкции.

Эффективность механизации и автоматизации технологических процессов зависит от серийности изготавливаемых на конкретном предприятии конструктивно и технологически подобных сварных конструкций.

В сварочном производстве различают следующие типы производства:

- мелкосерийное, характеризуемое широкой номенклатурой изготавливаемых изделий и малым объемом выпуска изделий;
- серийное, характеризуемое ограниченной номенклатурой изделий, изготавливаемых периодически повторяющимися партиями, и сравнительно большим объемом выпуска;
- крупносерийное производство, характеризующееся установившейся номенклатурой изделий, выпускаемых в больших количествах на протяжении длительного времени.

Строгих границ между типами производства нет.

Каждому типу производства соответствуют свои оптимальные технологические процессы, оборудование и организация производства. С увеличением серийности сварных конструкций возрастает степень механизации и автоматизации технологических процессов и операций, применяемых при их изготовлении.

§ 58. Механизация сборочных работ

Сборка под сварку — это технологическая операция, обеспечивающая подлежащим сварке деталям необходимое

взаимное расположение с закреплением их специальными приспособлениями или прихватками.

Сборку выполняют на плите, стеллаже, стенде или в специальном приспособлении, которые предназначены для размещения и закрепления собираемого и свариваемого изделия.

Сборочно-сварочная плита — опорное приспособление в виде горизонтальной металлической плиты с пазами, стеллаж — простейшее опорное приспособление с плоской горизонтальной поверхностью для размещения крупногабаритных изделий в цехе. Сборочно-сварочные стенды — более сложные устройства для размещения деталей собираемых и свариваемых крупногабаритных изделий и фиксации их в нужном положении. Примерами сборочно-сварочных стендов могут служить электромагнитные стенды при изготовлении плоскостных секций судовых корпусов, резервуаров, вагонов и других листовых конструкций.

В условиях единичного производства расположение деталей в свариваемом узле задается разметкой, для их закрепления используют струбцины, планки, скобы с клиньями и другие простейшие универсальные приспособления.

Использование специальных сборочных приспособлений-кондукторов позволяет повысить производительность труда и качество сборки. Сварочный кондуктор — приспособление для сборки и закрепления относительно друг друга свариваемых частей в определенном положении. Основой сборочного приспособления является жесткий каркас, несущий упоры, фиксаторы и прижимы. При сборке детали заводят в приспособление, укладывают по упорам и фиксаторам и закрепляют прижимами. Применяют стягивающие и распорные прижимы с ручным и механическим приводом. Прижимы с ручным приводом (винтовые, рычажные, эксцентриковые) просты, но требуют непосредственного ручного труда сборщика. Использование пнев-

матических, гидравлических, электромагнитных и вакуумных прижимов значительно сокращает время, особенно если требуется зажать изделие в нескольких местах.

Фиксацию собранных деталей для придания требуемой жесткости собранному узлу наиболее часто осуществляют на прихватке. Прихватки должны иметь ограниченное поперечное сечение и располагаться в местах, обеспечивающих их полную переварку при укладке основного шва.

Последовательность выполнения сборочно-сварочных операций может быть различной:

- сварку выполняют после полного завершения сборки;
- сборку и сварку ведут попеременно, например при изготовлении конструкции наращиванием отдельных элементов;
- общей сборке и сварке конструкции предшествуют сборка и сварка узлов.

Для удобства выполнения тех или иных швов изделие приходится устанавливать в различные положения. Это осуществляется с помощью приспособлений — позиционеров, вращателей, кантователей, роликовых стендов, манипуляторов. Подобного рода приспособления могут быть как установочные, предназначенные только для поворота изделия в положение, удобное для сварки того или иного шва, так и сварочные, обеспечивающие, кроме установки изделия, его вращение (перемещение) с заданной скоростью, равной скорости сварки.

Позиционер — приспособление, предназначенное для установки изделия в удобное для сборки и сварки пространственное положение. Позиционер не вращает изделие со скоростью сварки, а только удерживает его в заданном положении.

Вращатель — приспособление для вращения изделия при сварке.

Кантователь — приспособление для поворота тяжелых нецилиндрических изделий вокруг одной или нескольких фиксированных осей вращения. Кантователь позволяет устанавливать изделие в удобное для работы положение. Используются роликовые, цевочные, цапфовые и цепные кантователи.

Манипулятор — устройство карусельного типа для вращения заготовок при сборке и сварке с различными углами наклона оси вращения.

Широко применяют универсальные роликовые опоры, у которых подшипники оси одного из роликов могут перемещаться перпендикулярно оси станда, чем достигается возможность установки необходимого расстояния между обоими роликами, соответствующего диаметру собираемого или свариваемого изделия.

Универсальные приспособления общего назначения (сборочные плиты, стеллажи, манипуляторы, кантователи, роликовые стенды) используют для сборки и сварки изделий широкой номенклатуры и различных размеров.

Для изделий определенного типа, но разных размеров используют универсальные приспособления специального назначения, которые конструируют в индивидуальном порядке. Универсальные приспособления применяют в единичном и мелкосерийном производстве. Помимо универсальных и специальных приспособлений в мелкосерийном и единичном производстве применяют универсально-сборочные приспособления, представляющие собой набор различных конструктивных элементов: универсальные плиты с продольными и поперечными пазами, типовые сменные упоры, фиксаторы, штыри, прихваты, планки, крепежные детали и т. п.

В условиях крупносерийного и массового производства используют специальные приспособления одноцелевого на-

значения для выполнения определенных операций при изготовлении конкретного изделия.

С целью уменьшения сварочных деформаций и напряжений при сборке применяют ряд мер. Эффективной мерой снижения остаточных деформаций является жесткое закрепление свариваемых деталей в специальных приспособлениях — кондукторах. Часто применяют дополнительную деформацию заготовок, которая должна быть противоположной ожидаемой сварочной деформации. Метод предварительного изгиба свариваемых деталей используют для борьбы с угловыми деформациями при сварке стыковых и нахлесточных соединений. При сварке листов небольшой ширины с Y-образной разделкой кромок их располагают с предварительным выгибом в сторону, обратную ожидаемой деформации. Листы большой ширины можно укладывать с предварительным изгибом свариваемых кромок. С целью устранения деформаций при сварке тавровых и двутавровых балок применяют приспособления, которые изгибают балку в сторону, обратную ожидаемой деформации. Эффективной мерой предотвращения выпучивания стойки в двутавровых балках, вызванной сваркой поясных швов, является сборка с предварительным натяжением стенки. Для натяжения стенки используют сборочные стенды с домкратными устройствами.

§ 59. Поточные линии

Поточная линия — комплекс оборудования, взаимно связанного и работающего согласованно с определенным заданным ритмом по единому технологическому процессу. В сборочно-сварочные механизированные поточные

линии входит оборудование для выполнения сборки, сварки, а иногда и операций подготовки металла, его раскромки, контроля готовой продукции и т. д.

Первая поточная линия с применением автоматической сварки под флюсом была создана в годы Великой Отечественной войны для производства корпусов танков Т-34.

По признаку механизации и автоматизации различают несколько типов поточных линий:

- с частичной механизацией, при которой используется ручная и полуавтоматическая сварка, а остальные процессы производственного цикла — раскрой металла, резка, сборка, окраска и др. — выполняются вручную;
- с комплексной механизацией, когда механизированы несколько операций, например применяется механизированная резка и полуавтоматическая сварка;
- с частичной автоматизацией, при которой основные процессы (резка, сварка) автоматизированы, а остальные работы (сборка, контроль качества, окраска) выполняются с применением механизированного инструмента и приспособлений;
- с комплексной автоматизацией — автоматические линии.

Автоматические линии представляют собой комплекс машин, выполняющих в заданной технологической последовательности весь цикл операций по производству изделий, с общими для всей линии механизмами управления и автоматическими транспортными устройствами, перемещающими объект обработки от одной машины к другой. Примером автоматической линии могут служить сборочно-сварочные автоматические линии для производства сварных труб большого диаметра со спиральным швом, на которых с помощью автоматов под наблюдением небольшого коли

чества операторов осуществляются все операции по изготовлению труб из стальной ленты.

В сварочном производстве используют сборочно-сварочные линии с различной степенью механизации и автоматизации оборудования и применяемой оснастки с учетом массовости, серийности и индивидуальности производства для многих видов сварных изделий — при сборке и сварке полотнищ, при изготовлении обечаек, труб, сосудов, балок, решетчатых и комплексных конструкций, сварных заготовок для деталей машин.

Мелкосерийное (единичное) производство сварных конструкций является наиболее распространенным в промышленности и строительстве. Эффективность мелкосерийного производства сварных конструкций повышают следующими путями:

- сосредоточением однотипных сварных конструкций (плоскостных, балочных, цилиндрических, решетчатых, рамочных, корпусных, сферических, конических и пр.) и созданием для их изготовления типовых участков. Это приближает мелкосерийное производство к серийному и создает условия для применения средств механизации и автоматизации;
- заменой ручной сварки механизированной и автоматической. В настоящее время около 70% всех швов в сварных конструкциях составляют короткие и угловые швы, поэтому основной путь механизации сварки таких швов — полуавтоматическая сварка в среде защитных газов. В случаях, где целесообразна автоматическая сварка, перспективно применение, наряду с обычными сварочными головками и тракторами, легких переносных тракторов и самоходных тележек к полуавтоматам для перемещения горелки во время сварки. Такие участки и цеха созданы на судостроительных заводах (для сборки и сварки полот-

нищ и приварки набора, изготовления тавровых профилей), на машиностроительных заводах и заводах металлоконструкций (для сборки и сварки балок и полотнищ);

- механизацией заготовительных операций. Созданы полуавтоматические линии для изготовления деталей из листового проката с применением газовой и плазменной резки почти на всех судостроительных заводах. Линии и участки холодной обработки листового проката, прокатных уголков, швеллеров, двутавров и труб созданы на многих машиностроительных заводах и предприятиях, изготавливающих металлические строительные конструкции;
- применением в раскройно-заготовительных отделениях заводов автоматизированных участков комплектации, в которых учет и выдача поступающих деталей, а также управление штабелерами и подъемно-транспортными устройствами осуществляется с помощью ЭВМ. Такие автоматизированные участки позволяют не только сократить число обслуживающего персонала, занятого комплектацией, но и обеспечить своевременное поступление деталей в сборочно-сварочные отделения. В этом случае детали хранят и подают на сборку в контейнерах и поддонах (в зависимости от размеров деталей), являющихся общей оснасткой раскройно-заготовительных и сборочно-сварочных отделений;
- путем расширения механизации вспомогательных операций. В раскройно-заготовительных и сборочно-сварочных отделениях, наряду с мостовыми кранами, применяют автономные грузоподъемные средства (консольные и полупортальные краны, кран-балки, поворотные консоли с тельферами и т. п.), обо-

рудованные быстродействующими захватами и выносными пультами, обслуживаемыми не крановщиками и стропальщиками, а рабочими основного производства.

При серийном изготовлении сварных конструкций сборочные и сварочные операции, как правило, выполняются на специализированных поточных линиях с отдельно расположенными рабочими местами, а при необходимости связанными между собой единой транспортной системой. Ритмичная работа таких линий обеспечивается за счет размещения накопителей и промежуточных складов между рабочими местами и линиями.

Особое место в серийном производстве занимают высокомеханизированные и автоматизированные переналаживаемые линии, предназначенные для изготовления определенных, но незначительно отличающихся по форме и размерам сварных конструкций. В таких линиях сборочные и сварочные установки переналаживаются за счет изменения положения основных узлов на станинах этих установок в период подготовки линии к изготовлению новой сварной конструкции. Оборудование переналаживаемых линий конструктивно не изменяется, поэтому основные узлы сборочных (базы, фиксаторы, прижимы и т. п.) и сварочных (автоматы, их рельсовые пути и т. п.) установок, а также вспомогательное оборудование для выполнения подъемно-транспортных операций и системы автоматизации этих линий могут быть высокопроизводительными и выполнять технологические операции с высоким уровнем механизации и автоматизации. Переналаживаемые линии имеются в краностроении, изготовлении корпусов электродвигателей, производстве полотнищ в судостроении, сварных двутавровых балок в строительстве. Но таких линий еще недостаточно, в связи с чем и в серийном производстве многие

конструкции изготовляют с применением методов, характерных для мелкосерийного производства.

Крупносерийное производство сварных конструкций является специализированным и предназначается для изготовления определенной конструкции и входящих в нее узлов (например, сварных кузовов автомобилей различных марок, магистральных полувагонов, шахтных вагонеток, оконных переплетов и т. д.). В этом случае автоматические линии или агрегаты для изготовления сварных подузлов соединяют внутрицеховым транспортом с линией для изготовления из них узлов и далее с линиями общей сборки и сварки выпускаемой конструкции, а сами сварные конструкции изготовляют машины, которые управляются оператором. Такие линии имеются на многих автомобильных, тракторных и других заводах с крупносерийным производством.

Отличительной особенностью полностью автоматических сборочно-сварочных линий является то, что рабочие места этих линий соединяются между собой транспортной системой, которая по своей конструкции и работе увязана с основным и вспомогательным оборудованием рабочих мест. Связь между рабочими местами автоматических линий может быть жесткой и гибкой. Гибкую связь на линиях обеспечивают за счет применения межоперационных накопителей деталей и узлов, что обеспечивает бесперебойную работу линии при отказе какого-либо элемента.

В крупносерийном производстве операции по сварке швов, расположенных во всех пространственных положениях, должны выполняться автоматами. Это могут быть автоматы для дуговой сварки, машины для контактной и точечной дуговой сварки, промышленные роботы, а также различные сварочные устройства, в которых перемещение изделия осуществляется механическим оборудованием линии. В зависимости от требуемой производительности на

одном рабочем месте линии вместо одного устанавливается несколько автоматически работающих сварочных аппаратов, одновременно сваривающих определенные швы или участки этих швов. В связи с большими возможностями промышленных роботов их можно эффективно использовать в качестве единого универсального оборудования, которое настраивается по определенной программе и предназначено для автоматической сварки различных по форме и размерам швов. Автоматизированные линии с роботами для сварки работают на ряде автомобильных заводов.

Автоматические линии могут быть созданы при условии автоматизации сборки изделий. Это достигается расчленением операций сборки, т. е. сборка выполняется не на одном рабочем месте, а на нескольких, как правило, с совмещением приварки устанавливаемой детали. В этом случае сварные конструкции изготовляют методом постепенного наращивания, и сборка превращается в простую и относительно легко выполняемую операцию.

При массовом производстве сварных конструкций наиболее целесообразно использовать подвесные толкающие конвейеры для обслуживания автоматических линий и агрегатов в заготовительных, сборочно-сварочных и отделочных отделениях. Применение подвесных конвейеров и автоматических линий и агрегатов в сочетании с управлением ими с помощью ЭВМ позволит в сварочном производстве перейти к созданию комплексных автоматизированных предприятий и заводов-автоматов.

Образцом комплексной механизации и автоматизации сварочного производства в крупносерийном производстве может служить изготовление узлов легкового автомобиля на ВАЗе. Сборку и сварку узлов автомобиля ведут на комплексно-механизированных и автоматизированных линиях. Крупные детали подаются на линии системой конвейеров, мелкие — в контейнерах автопогрузчиками. Узлы с

одной позиции на другую передаются автоматическими транспортерами. В конце каждой автоматической линии имеются посты перегрузки, с которых с помощью подвесного конвейера узел передают на следующую автоматическую линию или на место складирования межоперационных заделов. Высокая производительность труда достигнута за счет применения быстродействующих машин и механизмов, безотказной работы всего оборудования и четкой организации обслуживания. Сварочные машины имеют быстродействующие разъемы для снабжения их электроэнергией, сжатым воздухом, водой. Переналадку, ремонт, замену оснастки ведут в нерабочее время или с минимальными потерями рабочего времени. Почти 40% от общего числа сварных точек автомобиля на этом заводе выполняется на многоэлектродных машинах. Сборку и сварку основных узлов кузова (крыши, боковин, пола, передних крыльев и дверей) ведут на комплексно-механизированных и автоматизированных линиях, состоящих из многоэлектродных машин.

Основной тип многоэлектродных машин — прессы со съемными сварочными штампами. Сварочные штампы для части переналаживаемых машин располагаются на запасной позиции загрузочных направляющих и их можно установить в рабочее положение за несколько минут. Универсальные сварочные машины укомплектованы быстросъемными легкодоступными устройствами.

Дуговой полуавтоматической и автоматической сваркой на ВАЗе выполняется 75% всех швов. Устройство автоматических дуговых сварочных установок также предусматривает быструю смену отдельных частей.

§ 60. Промышленные роботы в сварочном производстве

Промышленным роботом называют автоматический манипулятор с программным управлением, который может быстро перенастраиваться для выполнения различных операций, обычно выполняемых вручную. Основное отличие этого нового типа автоматической машины от других автоматов — применение принципов ручного труда и универсальность, что делает его использование выгодным и в крупносерийном производстве и особенно в условиях частой смены видов продукции, т. е. в серийном и мелкосерийном производстве.

Промышленный робот имеет механическую «руку» и «кисть», обеспечивающие несколько независимых перемещений инструмента (продольных, поперечных, вращательных, угловых) в любую точку пространства в пределах его рабочей зоны по команде встроенной системы управления, которая содержит запоминающее устройство для хранения заданной программы.

В настоящее время в промышленности в основном используются роботы первого поколения с жесткой программой действия и отсутствием обратной связи с окружающей средой. Вторым поколением являются роботы с нежесткой программой и датчиками обратной связи. Третье поколение роботов — роботы с искусственным интеллектом, способные полностью заменить человека в области квалифицированного труда.

Робот может заменить рабочего, особенно на однообразных операциях, — он не утомляется, не совершает ошибок, способен развивать большие усилия, может работать во вредных условиях. Применение роботов повышает однородность качества изделий, делает возможным

переход производства на непрерывную круглосуточную работу.

В сварочном производстве роботы нашли преимущественное применение при контактной точечной сварке в следующих случаях:

- при разгрузке и загрузке специализированной сварочной машины, рассчитанной на определенный тип изделия. Здесь робот устанавливает заготовку в машину, а после сварки вынимает и заменяет следующей;
- при обслуживании стационарной сварочной машины, которое состоит в том, что робот подает очередную деталь, устанавливает ее, включает машину, перемещает деталь и убирает ее;
- при сварке с помощью автоматически работающих клещей, укрепленных на конце руки робота.

В первом случае используется позиционный транспортирующий робот обычного типа, во втором и третьем случаях — специальный сварочный робот.

Робот используется в качестве носителя сварочных клещей для контактной сварки в автомобильной промышленности. Перед работой в запоминающее устройство робота вводится программа его действия. Для этого опытный сварщик на первом узле последовательно перемещает инструмент от одного рабочего положения к другому, вводя координаты каждой из этих точек в запоминающее устройство нажатием кнопки «Память». Если на пути между соседними свариваемыми точками оказывается препятствие, например элементы зажимного приспособления, то в память робота вводят координаты дополнительных точек, определяющих траекторию движения инструмента в обход препятствия. Выполнение программы начинается после того, как собираемый или свариваемый узел займет требуемое исходное положение и сигнал об этом поступит в запоми-

нающее устройство, после чего робот в соответствии с запрограммированной программой производит необходимые действия.

В отличие от точечной сварки, когда промышленный робот берет на себя чисто физический труд по перемещению сварочных клещей, при дуговой сварке его движения определяются самим технологическим процессом сварки. Роботы, предназначенные для дуговой сварки, должны осуществлять непрерывное движение электрода при регулируемых величинах перемещения. Это усложняет его конструкцию и требует значительно большего объема памяти программирующих устройств.

Существенным недостатком роботов первого поколения является требование высокой точности сборки свариваемых деталей и их расположение в рабочем пространстве робота. В настоящее время создаются сварочные роботы второго поколения с системами обратной связи, с помощью которых рабочая программа и манипуляции робота будут автоматически корректироваться при изменении положения изделия или его отдельных элементов. Такие роботы, оборудованные специальными датчиками, смогут, например, обеспечить автоматический обход встречающихся на пути элементов зажимных приспособлений. Наряду с совершенствованием обычных промышленных роботов создаются роботы, действующие в экстремальных (сложных, труднодоступных, опасных для человека) условиях — в агрессивных средах, под водой, в космосе, при действии радиации.

Основная перспектива современного производства — полная автоматизация технологических процессов при возможности частого изменения номенклатуры производимых изделий. Для процессов сварки эти требования удовлетворяются с помощью сварочных робототехнических комплексов. Робототехнический комплекс включает в себя технические средства — датчики, дающие необходимую инфор-

мацию, и системы ввода их сигналов в ЭВМ, программные средства — алгоритмы и реализующие их программы, позволяющие вычислять необходимые траекторию сварочной горелки и режимы сварки.

В качестве ЭВМ робототехнических комплексов целесообразно использовать микропроцессорные системы. Подобные системы, имея небольшую стоимость, позволят осуществить сварку изделий разных размеров, конфигураций из различных материалов, причем автоматически выбирать режимы, которые являются наилучшими для реальных параметров свариваемого соединения.

Микропроцессорные системы, или микро-ЭВМ, строят из микропроцессоров. Микропроцессор — это универсальный программирующий элемент, представляющий собой большую интегральную схему, содержащий несколько тысяч транзисторов, со структурой, аналогичной структуре ЭВМ. Благодаря малым размерам и стоимости микропроцессорные системы могут встраиваться непосредственно в аппаратуру, что значительно расширяет ее возможности.

Микропроцессор со вспомогательными схемами образует процессорный модуль, к которому с помощью системных шин подключаются периферийные модули. Системные шины — набор соединительных проводников-линий, объединяющих выходы всех периферийных модулей.

Системные шины делятся на три группы: шину данных, шину адресов и шину управления. Периферийными модулями могут быть запоминающие устройства, дисплей, датчики и исполнительные механизмы.

Работа микропроцессора заключается в обработке исходных данных по заданному алгоритму. Алгоритм — набор последовательно выполняемых команд по обработке исходных данных с целью получения требуемого результата.

Каждый микропроцессор характеризуется определенной системой команд. Система команд — полный перечень эле-

ментарных действий, которые способен производить микропроцессор.

Составляя программу из таких команд, можно запрограммировать выполнение алгоритма любой сложности при выполнении сварочных и других работ.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. *Какие основные операции включает в себя технологический процесс изготовления сварной конструкции?*
2. *Что предусматривает комплексная механизация и автоматизация сварочного производства?*
3. *Какие сборочно-сварочные приспособления применяются при изготовлении сварных конструкций?*
4. *Что такое поточная линия, какова классификация поточных линий?*
5. *Каковы особенности механизации и автоматизации в зависимости от серийности сварочного производства?*
6. *Что такое сварочный промышленный робот и как используются роботы в сварочном производстве?*

..... **Глава 18**

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРКИ

.....

§ 61. Классификация дефектов

В процессе образования сварного соединения в металле шва и зоне термического влияния могут возникать дефекты, т. е. отклонения от установленных норм и требований, приводящие к снижению прочности, эксплуатационной надежности, точности, а также ухудшению внешнего вида изделия. Дефекты сварных соединений (рис. 77) различают по причинам возникновения и месту их расположения.

В зависимости от причин возникновения их можно разделить на *две группы*. К первой группе относятся дефекты, связанные с металлургическими и тепловыми явлениями, происходящими в процессе образования, формирования и кристаллизации сварочной ванны и остывания сварного соединения: горячие и холодные трещины в металле шва и околошовной зоне, поры, шлаковые включения, неблагоприятные изменения свойств металла шва и зоны термического влияния.

Ко второй группе дефектов, которые называют дефектами формирования швов, относят дефекты, происхождение которых связано в основном с нарушением режима сварки, неправильной подготовкой и сборкой элементов конструкции под сварку, неисправностью оборудования, небрежностью и низкой квалификацией сварщика и другими нарушениями технологического процесса. К дефектам этой группы относятся несоответствие швов расчетным размерам, непровары, подрезы, прожоги, наплывы, незаваренные кратеры и др.

Дефекты сварных швов являются следствием неправильного выбора или нарушения технологического процесса, применения некачественных сварочных материалов и низкой квалификации сварщика.

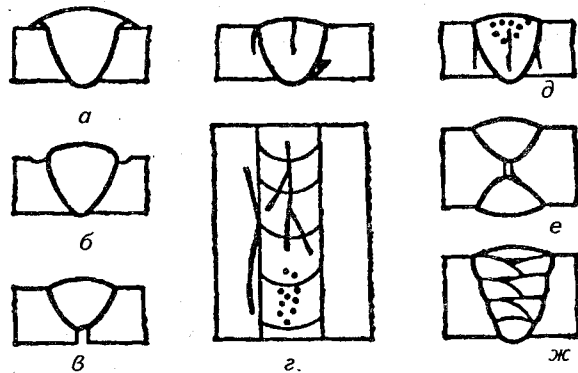


Рис. 77. Виды дефектов в сварных соединениях: а — наплыв; б — подрез; в — непровар; г — наружные трещины и поры; д — внутренние трещины и поры; е — внутренний непровар; ж — шлаковые включения

Дефекты подразделяются на внешние и внутренние. К внешним относятся: нарушение установленных размеров и формы шва, непровар, подрез зоны сплавления, поверх-

ностное окисление, прожог, наплыв, поверхностные поры, незаваренные кратеры и трещины на поверхности шва. К внутренним дефектам относятся следующие: внутренние поры, неметаллические включения, непровар и внутренние трещины.

Нарушение установленных размеров и формы шва выражается в неполномерности ширины и высоты шва, в чрезмерном усилении и резких переходах от основного металла к наплавленному. Эти дефекты при ручной сварке являются результатом низкой квалификации сварщика, плохой подготовки свариваемых кромок, неправильного выбора сварочного тока, низкого качества сборки под сварку. Дефекты формы шва могут быть и следствием колебания напряжения в сети. При автоматической сварке нарушения формы и размеров шва являются следствием неправильной разделки шва или нарушения режима в процессе сварки — скорости сварки, скорости подачи электродной проволоки, сварочного тока.

Непровар (местное несплавление свариваемых кромок основного и наплавленного металла) — следствие низкой квалификации сварщика, некачественной подготовки свариваемых кромок (малый угол скоса, отсутствие зазора, большое притупление), смещения электрода к одной из кромок, быстрого перемещения электрода по шву.

Подрез зоны (узкие углубления в основном металле вдоль края сварного шва) образуется при сварке большим током или удлиненной дугой, при завышенной мощности горелки, неправильном положении электрода или горелки и присадочного прутка.

Поверхностное окисление — окисление металла шва и прилегающего к нему основного металла. Причины: сильно окисляющая среда, большая длина дуги, чрезмерно большая мощность сварочной горелки или слишком большой

сварочный ток, замедленное перемещение электрода или горелки вдоль шва.

Прожег — сквозное отверстие в сварном шве. Основные причины прожога: большой сварочный ток, завышенная мощность сварочной горелки, малая толщина основного металла, малое притупление свариваемых кромок и неравномерный зазор между ними по длине.

Наплывы — результат натекания наплавленного металла на непрогретую поверхность основного металла или ранее выполненного валика без сплавления с ним. Такие дефекты могут быть при низкой квалификации сварщика, недоброкачественных электродах и несоответствии скорости сварки и сварочного тока разделке шва.

Поверхностные и внутренние поры возникают вследствие попадания в металл шва газов (водород, азот, углекислый газ и др.), образовавшихся при сварке. Водород образуется из влаги, масла и компонентов покрытия электродов. Азот в металл шва попадает из атмосферного воздуха при недостаточно качественной защите расплавленного металла шва. Оксид углерода образуется в процессе сварки стали при выгорании углерода, содержащегося в металле. Если свариваемая сталь и электроды имеют повышенное содержание углерода, то при недостатке в сварочной ванне раскислителей и при большой скорости сварки оксид углерода не успевает выделиться и остается в металле шва. Таким образом, пористость является результатом плохой подготовки свариваемых кромок (загрязненность, ржавчина, замасленность), применения электродов с сырым покрытием, влажного флюса, недостатка раскислителей, больших скоростей сварки.

Неметаллические включения образуются при сварке малым сварочным током, при применении недоброкачественных электродов, сварочной проволоки, флюса, загрязненных кромок и плохой очистке шва от шлака при многослой-

ной сварке. При неправильно выбранном режиме сварки шлаки и оксиды не успевают всплыть на поверхность и остаются в металле шва в виде неметаллических включений.

Трещины, наружные и внутренние, являются опасными и недопустимыми дефектами сварных швов. Они образуются вследствие напряжений, возникающих в металле от его неравномерного нагрева, охлаждения и усадки. Высокоуглеродистые и легированные стали после сварки при охлаждении закаляются, в результате чего могут образоваться трещины. Причина возникновения трещин — повышенное содержание в стали вредных примесей (серы и фосфора).

§ 62. Методы устранения дефектов сварных швов

Неполномерность швов устраняется наплавкой дополнительного слоя металла. При этом наплавляемую поверхность необходимо тщательно очистить до металлического блеска абразивным инструментом или металлической щеткой. Чрезмерное усиление шва устраняют с помощью абразивного инструмента или пневматического зубила.

Непровар, кратеры, пористость и неметаллические включения устраняют путем вырубki пневматическим зубилом или расчистки абразивным инструментом всего дефектного участка с последующей заваркой. Часто применяют выплавку дефектного участка резакoм поверхностной кислородной или воздушно-дуговой резки.

Подрезы заваривают тонкими валиковыми швами. Наплывы устраняются обработкой абразивным инструментом или с помощью пневматического зубила.

Наружные трещины устраняются разделкой и последующей заваркой. Для предупреждения распространения трещины по концам ее сверлят отверстия. Разделку трещины

выполняют зубилом или резаком. Кромки разделки зачищают от шлака, брызг металла, окалины и заваривают. Швы с внутренними трещинами вырубают и заваривают заново. При наличии сетки трещин дефектный участок вырезают и взамен сваркой накладывают заплату.

§ 63. Способы контроля сварных соединений

Сварные соединения считают качественными, если они не имеют недопустимых дефектов и их свойства удовлетворяют требованиям, предъявляемым к ним в соответствии с условиями эксплуатации сварного узла или конструкции.

Качество сварных соединений контролируют следующими видами контроля:

- предварительным, в процессе которого выполняют проверку качества исходных материалов (свариваемого металла и сварочных материалов), контроль подготовки деталей под сварку и сборку узлов, а также состояния оснастки, сварочного оборудования и приборов, квалификации сборщиков и сварщиков; на стадии предварительного контроля выполняют испытания на свариваемость, включающие в себя механические испытания, металлографические исследования сварных соединений и испытания на сопротивляемость образованию горячих и холодных трещин;
- текущим (в процессе выполнения сварочных работ), предусматривающим проверку соблюдения технологии сварки, зачистки промежуточных швов, заварку кратеров и т. д.;
- окончательным контролем готовых сварных конструкций, который проводится в соответствии с требованиями, предъявляемыми к изделию.

Трудоемкость контрольных операций может достигать до 30% общей трудоемкости изготовления сварной конструкции.

Итак, контроль надо осуществлять, начиная с проверки качества подготовки шва и кончая проверкой полученного сварного соединения. Качество основного металла, электродной проволоки, присадочного металла, флюса и других материалов проверяют по сертификатам и заводским документам. Маркировка и качество должны соответствовать установленным техническим условиям и технологическому процессу сварки. Сборку под сварку и разделку шва проверяют по стандартам и техническим условиям.

Сварное соединение проверяется внешним осмотром, металлографическими исследованиями, химическим анализом, механическими испытаниями, просвечиванием рентгеновскими лучами и гамма-излучением, магнитными методами и с помощью ультразвука. Предварительно сварное соединение очищают от шлака, окалины и металлических брызг.

Внешний осмотр выявляет наружные дефекты шва. Осмотр производят невооруженным глазом или с помощью лупы с десятикратным увеличением. Размеры сварных швов проверяют шаблонами и мерительным инструментом.

Металлографические исследования начинают с засверливания и последующего травления поверхности отверстия в течение 1—3 минут 10%-ным водным раствором двойной соли хлорной меди и аммония. Осадок меди удаляют водой. Засверленная поверхность должна захватывать шов и основной металл. Протравленную поверхность осматривают невооруженным глазом или с помощью лупы. При этом выявляют качество провара и отсутствие внутренних дефектов. Для ответственных сварных конструкций производят более полные металлографические исследования. Для

этой цели готовят макро- и микрошлифы из специально сваренных контрольных пластин или из пластин, вырезанных из сварных соединений.

Химический анализ определяет состав основного и наплавленного металла и электродов, а также их соответствие установленным техническим условиям на изготовление сварного изделия. Методы отбора проб для химического и спектрального анализов предусмотрены ГОСТ.

Механические испытания сварного соединения производят либо на специально сваренных контрольных образцах, либо на образцах, вырезанных из сварного соединения. Определяют предел прочности на растяжение, ударную вязкость, твердость и угол загиба.

Рентгенодефектоскопия основана на различном поглощении лучей металлом и неметаллическими включениями. Этим методом обнаруживают поры, трещины, непровары, шлаковые включения (рис. 78). Рентгеновские лучи направляют на сварной шов, а с обратной стороны прикладывают рентгеновскую или фотографическую пленку со светочувствительной эмульсией. Дефектные места шва пропускают лучи с меньшим поглощением, чем сплошной металл. После проявления на пленке хорошо видны очертания дефектов шва.

Рентгеновская трубка изолируется защитным свинцовым кожухом, в котором имеется узкая щель для выхода лучей, направляемых на контролируемое изделие. Для контроля в монтажных условиях очень удобны малогабаритные отечественные рентгеновские аппараты типов РУП-120—5-1, ИРА-1Д, ИРА-2Д, РИНА-3Д и др. Толщина металла, которая может контролироваться этими аппаратами, находится в пределах 25—100 мм.

Просвечивание гамма-излучением также основано на различном поглощении лучей металлом и неметаллическими включениями. Гамма-излучение действует на пленку так же, как рентгеновские, показывая очертания дефектов сварного шва.

ку так же, как рентгеновские, показывая очертания дефектов сварного шва. Гамма-излучение получается при ядерном распаде естественных и искусственных радиоактивных веществ (радия, мезотория, кобальта, цезия, иридия и др.). Наибольшее распространение получили более дешевые радиоактивные изотопы кобальта-60, цезия-137 и иридия-192. Гамма-излучение обладает большой проникающей способностью и позволяет контролировать металл толщиной до 350 мм. Гамма-просвечивание значительно проще, чем просвечивание рентгеновскими лучами, однако гамма-излучение вредно для человека. Поэтому ампула с радиоактивным веществом помещается в специальные переносные свинцовые контейнеры или в стационарные аппараты с дистанционным управлением. Контейнер устанавливают против контролируемого участка, а с обратной стороны сварного шва помещают кассету с пленкой. Затем с помощью дистанционного управления выдвигают ампулу из аппарата или открывают щель в контейнере для выхода гамма-излучения.

Магнитные методы контроля основаны на создании неоднородного магнитного поля с образованием потоков рассеяния в местах расположения дефектов шва при намагничивании контролируемого изделия. Применяются метод порошковой дефектоскопии, магнитографический метод, индукционный и др.

Метод порошковой дефектоскопии является наиболее простым, но и менее четким. После намагничивания изделия сварной шов опыливают магнитным порошком из железной окалины или покрывают суспензией магнитного порошка (смесь с керосином, маслом или другими веществами). На поверхности изделия порошок распределяется неравномерно, а по скоплениям порошка определяют расположение дефектов в сварном шве. Для большей нагляд-

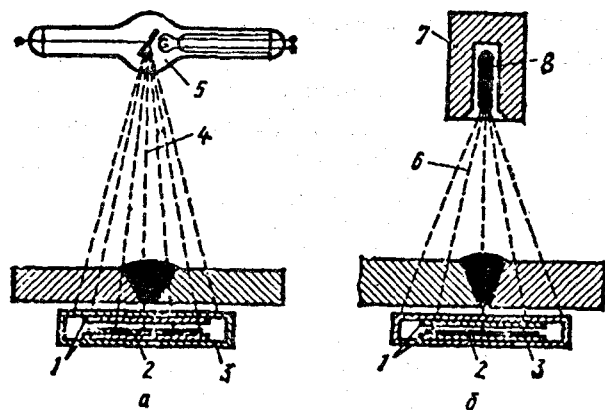


Рис. 78. Схемы просвечивания сварных швов: *а* — рентгеновским излучением; *б* — гамма-излучением; 1 — усиливающие экраны; 2 — рентгеновская пленка; 3 — кассета; 4 — рентгеновское излучение; 5 — рентгеновская трубка; 6 — гамма-излучение; 7 — свинцовый кожух; 8 — ампула радиоактивного вещества

ности магнитный порошок или суспензию окрашивают в яркие цвета.

Магнитографический контроль применяется при контроле сварных швов магистральных трубопроводов. Метод заключается в следующем: состояние сварного шва записывают на специальную пленку, применяемую для магнитной звукозаписи. Для этого на сварной шов трубы накладывают ферромагнитную пленку, а затем намагничивают шов соленоидом или обкатывают дисковым магнитом. В зависимости от вида и дефектов шва в соответствующих местах пленки будет та или иная степень намагниченности. Для воспроизведения записанных на пленку дефектов ее пропускают через специальное устройство, преобразующее магнитную запись в звуковую (магнитофон) или электрическую (электрофонный осциллограф). Наиболее совершенные аппараты для магнитографичес-

кого контроля содержат осциллографы, они позволяют проверять сварные швы со скоростью 0,5—1 м/мин. Кроме высокой производительности, этот метод отличается большой точностью (не уступающей рентгеновскому и гамма-просвечиванию), простотой выполнения, дешевизной применяемых материалов, возможностью проверки швов в различных пространственных положениях и безопасностью работы.

Индукционный метод контроля основан на использовании магнитного потока, рассеиваемого в местах расположения дефектов шва, для наведения электродвижущей силы в специальной катушке, передвигаемой вдоль свариваемых кромок изделия. Наведенный индукционный ток усиливается и подается на телефон, сигнальную лампу или специальный магнитоэлектрический прибор. По звуку, отклонению стрелки прибора или зажиганию специальной лампы определяют расположение дефекта. Индукционный контроль производят дефектоскопом типа МД-138.

Ультразвуковой метод контроля основан на способности ультразвуковых колебаний проникать в толщу металла на значительную глубину и отражаться от неметаллических включений и других дефектных участков шва. Ультразвуковые дефектоскопы работают по следующему принципу. Пластика из кварца или сегнетовой соли под действием переменного электрического поля высокой частоты дает ультразвуковые колебания, которые с помощью щупа направляются на проверяемое сварное соединение. На границе между однородным металлом и дефектом эти волны частично отражаются и воспринимаются второй пластиной. Под действием переменного давления ультразвуковой волны на гранях этой пластинки появляется переменная разность потенциалов, зависящая от интенсивности отраженной волны. Электрические колебания от граней пластинки усиливаются и направляются в осциллограф. На экране ос-

циллографа одновременно изображаются импульсы излучаемой и отражаемой от дефектов волн. По относительному расположению этих импульсов и по интенсивности отраженного импульса можно судить о местонахождении и характере дефекта в сварном шве.

В настоящее время выпускают ультразвуковые дефектоскопы, работающие на одной пластинке, которая подает короткими импульсами ультразвуковые волны на контролируемый шов. Отраженные волны воспринимаются этой же пластинкой в промежутки времени между импульсами излучения. При этом получается высокая четкость излучаемых и отраженных ультразвуковых волн. Ультразвуковой метод контроля позволяет обнаружить все основные дефекты сварных швов. Кроме того, ультразвуковые дефектоскопы типа УЗД-7н имеют специальное приспособление для настройки на заданную толщину шва и определения глубины расположения обнаруженного дефекта. Недостатками ультразвукового контроля являются трудности проверки швов толщиной менее 10 мм и определения характера дефекта.

Для контроля деталей из цветных металлов и сплавов, пластмассы и других материалов применяют капиллярный метод дефектоскопии.

Сущность капиллярной дефектоскопии заключается в том, что на контролируемую поверхность наносят слой специального цветоконтрастного жидкого индикаторного вещества.

Поверхностные дефекты представляют собой капиллярные сосуды, способные «всасывать» смачивающие их жидкости; в результате такие дефекты оказываются заполненными индикаторным веществом. Избыток индикаторной жидкости удаляют с поверхности. Затем с помощью проявителей индикаторную жидкость извлекают и на поверхности появляются очертания дефекта.

Одним из способов капиллярного метода контроля является «керосиновая проба». На поверхность детали наносят слой керосина и выдерживают в течение 15—20 мин. Затем ветошью тщательно протирают поверхность насухо. Далее на поверхность наносят проявитель, представляющий собой водно-меловой раствор. При высыхании мел вытягивает керосин и на поверхности появляется керосиновое пятно. Способ весьма прост, но образующееся пятно не дает полных сведений о форме и размерах дефекта.

Поэтому более широко для выявления поверхностных дефектов применяется способ красок. В качестве индикаторной жидкости рекомендуются растворы: 50% бензола, 50% скипидара с краской судан IV (судан III); 40% керосина, 40% бензола, 20% скипидара с краской судан IV.

Судан прибавляют к индикаторной жидкости в количестве до 1%.

На контролируемую поверхность наносят мягкой кистью индикаторную жидкость и выдерживают 3—5 мин. Затем поверхность очищают от остатков индикаторной жидкости ветошью, смоченной 5%-ным раствором кальцинированной соды, и протирают насухо. Далее на контролируемую поверхность с помощью пульверизатора наносят проявитель. Состав проявителя: 300 г мела (зубной порошок), 0,5 л воды, 0,5 л этилового спирта.

Первое наблюдение следов дефекта проводится через 3—5 мин после высыхания мела. Трещины проявляются в виде красных полос, поры — в виде пятен. Второе наблюдение ведется через 20—30 мин. За это время жидкость растекается, ширина полос увеличивается. При ширине дефекта 0,01 мм ширина цветного следа равна 1 мм.

Разновидностью капиллярного метода служит люминесцентный способ контроля дефектов, основанный на свойстве некоторых веществ светиться при облучении их ультрафиолетовыми лучами.

Очищенные и обезжиренные детали помещают на 10 — 15 мин в ванну с флюоресцирующей жидкостью, имеющей состав 50% керосина, 25 — бензина и 25% трансформаторного масла с добавкой флюоресцирующего красителя. Жидкость проникает в дефекты и там задерживается. Остатки жидкости смывают холодной водой, деталь сушат сжатым воздухом и припудривают порошком селикагеля. При освещении детали ультрафиолетовым излучением порошок селикагеля, пропитанный флюоресцирующей жидкостью, будет ярко светиться желто-зеленым светом. Трещины будут видны в виде широких полос, поры — в виде пятен.

Люминесцентные дефектоскопы позволяют выявить трещины шириной 0,01 мм.

§ 64. Испытания сварных швов на непроницаемость

Испытание керосином применяют для контроля сварных швов емкостей, работающих без избыточного давления. Сварной шов с внешней стороны покрывают водным раствором мела. После высыхания покрытия шов с внутренней стороны смачивают керосином. При наличии даже мельчайших пор, трещин или неплотностей керосин просачивается через них, и на покрытой мелом поверхности появляются темные пятна. Время выдержки (0,5—1 ч) зависит от толщины металла и температуры воздуха. Для ответственных швов время выдержки составляет 12—24 ч.

Испытание сжатым воздухом производят нагнетанием в испытываемый резервуар сжатого воздуха до давления, указанного в технических условиях на изготовление резервуара. Швы покрывают мыльной эмульсией и по мыльным пузырям определяют наличие в них дефектов.

Если габариты позволяют погрузить испытываемый резервуар в ванну с водой, то дефекты определяются по пузырькам воздуха. Трубопроводы и большие резервуары испытывают сжатым воздухом на потерю давления за время, установленное техническими условиями.

Вакуум-аппарат применяют при контроле сварных швов, имеющих односторонний доступ, когда невозможно использовать керосин, воздух или воду. Аппарат состоит из камеры с вакуумметром и насоса. Контролируемый сварной шов покрывают мыльной эмульсией, на нее устанавливают камеру и включают насос, который создает вакуум в камере. Для герметичности камера имеет в торце мягкую резиновую прокладку. Если шов имеет дефекты (поры, трещины, неплотности), то образуются мыльные пузыри, которые наблюдаются через стекло камеры.

Испытание аммиаком производят путем нагнетания в испытываемый резервуар воздуха до рабочего давления или давления, указанного в технических условиях на изготовление изделия. Затем добавляют 1% аммиака от объема воздуха в резервуаре при нормальном давлении. Контролируемые сварные швы обертывают бумагой, пропитанной 5%-ным водным раствором азотнокислой ртути. При наличии неплотности (поры, трещины и др.) аммиак проходит через них и, взаимодействуя с азотнокислой ртутью, дает на бумаге черные пятна.

Гидравлическое испытание производят с целью проверки не только плотности швов, но и их прочности. Такому испытанию подвергают сварные трубопроводы, сосуды и резервуары для газа или жидкости, работающие под давлением. Для этой цели все отверстия изделия плотно закрывают заглушками и заполняют его водой. С помощью гидравлического пресса создают давление, в 1,5 раза превышающее рабочее давление изделия, и выдерживают в течение времени, указанного в технических условиях на изго-

говление изделия. Затем снижают давление до рабочего значения и проверяют наличие потения и пропусков воды в швах. При этом производят обстукивание изделия молотком на расстоянии 20 мм от сварного шва. Вертикальные цилиндрические резервуары обстукивать при испытании водой не разрешается.

Для контроля сварных соединений магистральных трубопроводов используют передвижную лабораторию РМЛ2В, смонтированную на автомашине. Оборудование состоит из рентгеновской установки, позволяющей просвечивать стыки трубопроводов диаметром 720—1420 мм, гамма-дефектоскопа и установки для магнитографического контроля. За смену лаборатория проверяет при гамма-просвечивании 6 стыков, при рентгеновском — 12; при магнитографическом контроле — до 20.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите основные внешние дефекты сварных швов и причины их возникновения.
2. Назовите основные внутренние дефекты сварных швов.
3. Как исправляют сварные соединения с дефектами?
4. Какие виды контроля сварных соединений вы знаете?
5. Как испытывают сварные швы на непроницаемость?

..... Глава 19

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

.....

§ 65. Техника безопасности при электрической сварке

При электросварочных работах возможны следующие виды производственного травматизма: поражение электрическим током; поражение зрения и открытой поверхности кожи лучами электрической дуги; ожоги от капель металла и шлака; отравление организма вредными газами, пылью и испарениями, выделяющимися при сварке; ушибы, ранения и поражения от взрывов баллонов сжатого газа и при сварке сосудов из-под горючих веществ.

Защита от поражения электрическим током. При исправном состоянии оборудования и правильном выполнении сварочных работ возможность поражения током исключается. Однако в практике возможны поражения электрическим током вследствие неисправности сварочного оборудования или сети заземления; неправильного подключения сварочного оборудования к сети; неисправности электропроводки и неправильного ведения сварочных работ. Пора-

жение от электрического тока происходит при прикосновении к токонесущим частям электропроводки и сварочной аппаратуры.

Напряжение холостого хода источников питания дуги достигает 90 В, а при плазменно-дуговой резке — 200 В. Учитывая, что сопротивление человеческого организма в зависимости от его состояния (утомленность, состояние здоровья, влажность кожи) может изменяться в пределах от 1000 до 20 000 Ом, указанные выше напряжения являются очень опасными для жизни. Поражение током более 0,05 А может вызвать тяжелые последствия и даже смерть.

Опасность поражения сварщика и подсобных рабочих током особенно велика при сварке крупногабаритных резервуаров, во время работы внутри емкостей лежа или полулежа на металлических частях свариваемого изделия или при выполнении наружных работ в сырую погоду, в сырых помещениях, котлованах, колодцах и др.

Во избежание поражения электрическим током необходимо соблюдать следующие условия. Корпуса источников питания дуги, сварочного вспомогательного оборудования и свариваемые изделия должны быть надежно заземлены. Заземление осуществляют медным проводом, один конец которого закрепляют к корпусу источника питания дуги к специальному болту с надписью «Земля», второй конец присоединяют к заземляющей шине или к металлическому штырю, вбитому в землю.

Заземление передвижных источников питания производится до их включения в силовую сеть, а снятие заземления — после отключения от силовой сети.

Для подключения источников сварочного тока к сети используются настенные ящики с рубильниками, предохранителями и зажимами. Длина проводов сетевого питания не должна быть более 10 м. Для того чтобы нара-

тить провод, применяют соединительную муфту с прочной изоляционной массой или провод с электроизоляционной оболочкой. Провод подвешивают на высоте 2,5—3,5 м. Спуски заключают в заземленные металлические трубы. Вводы и выходы должны иметь втулки или воронки, предохраняющие провода от перегибов, а изоляцию — от порчи.

Сварочное оборудование должно находиться под навесом, в палатке или в будке для предохранения от дождя и снега. При невозможности соблюдения таких условий сварочные работы не производят, а сварочную аппаратуру укрывают от воздействия влаги.

Присоединять и отсоединять от сети электросварочное оборудование, а также наблюдать за его исправным состоянием в процессе эксплуатации обязан электротехнический персонал. Сварщикам запрещается выполнять эти работы.

Все сварочные провода должны иметь исправную изоляцию и соответствовать применяемым токам. Применение проводов с ветхой и растрепанной изоляцией категорически запрещается.

При сварке швов резервуаров, котлов, труб и других закрытых и сложных конструкций необходимо пользоваться резиновым ковриком, шлемом и галошами. Для освещения следует пользоваться переносной лампой напряжением 12 В.

Все сварочные установки при работе в условиях, требующих особой электробезопасности, должны иметь устройство для автоматического отключения сварочной цепи или снижения напряжения холостого хода при обрыве дуги до 12 В с выдержкой не более 5 секунд. Большое применение получили устройства типа УСНТ (УСНТ-05, УСНТ-06 и др.). При холостом ходе первичная обмотка трансформатора питается через ограничительные резисторы типа УСНТ, и напряжение питания

снижается до 60—80 В, а вторичное напряжение холостого хода — до 12 В. При возбуждении дуги коротким замыканием резисторы шунтируются тиристорами, и на трансформатор подается полное сетевое напряжение. После прекращения сварки через 0,5—1 секунду снова включаются ограничительные резисторы, и напряжение холостого хода снижается до 12 В.

При работах внутри резервуара или при сварке сложной конструкции, а также при сварке емкостей из-под горючих и легковоспламеняющихся жидкостей к сварщику назначается дежурный наблюдатель, который обязан обеспечить безопасность работ и при необходимости оказать первую помощь. При поражении электрическим током пострадавшего необходимо освободить от электропроводов, обеспечить доступ свежего воздуха и, если пострадавший потерял сознание, немедленно вызвать скорую медицинскую помощь. При необходимости до прибытия врача надо производить искусственное дыхание.

Защита зрения и открытой поверхности кожи от лучей электрической дуги. Горение сварочной дуги сопровождается излучением видимых ослепительно ярких световых лучей и невидимых ультрафиолетовых и инфракрасных лучей.

Яркость видимых лучей значительно превышает норму, допускаемую для человеческого глаза, и поэтому, если смотреть на дугу невооруженным глазом, то она производит ослепляющее действие. Ультрафиолетовые лучи даже при кратковременном действии в течение нескольких секунд вызывают заболевание глаз, называемое электрофтальмией. Оно сопровождается острой болью, резью в глазах, слезотечением, спазмами век. Продолжительное облучение ультрафиолетовыми лучами вызывает ожоги кожи.

Инфракрасные лучи при длительном воздействии вы-

зывают помутнение хрусталиков глаза (катаракту), что может привести к временной частичной и даже полной потере зрения. Тепловое действие инфракрасных лучей вызывает ожоги кожи лица.

Для защиты зрения и кожи лица от световых и невидимых лучей дуги электросварщика и их подручные должны закрывать лицо щитком, маской или шлемом, в смотровые отверстия которых вставлено специальное стекло — светофильтр. Светофильтр выбирают в зависимости от сварочного тока и вида сварочных работ.

Для защиты от воздействия излучений в стационарных цехах устанавливают закрытые сварочные кабины, а при строительных и монтажных работах применяются переносные щиты или ширмы.

Защита от брызг металла и шлака. В процессе сварки и при уборке и обивке шлака капли расплавленного металла и шлака могут попасть в складки одежды, карманы, ботинки, прожечь одежду и причинить ожоги. Во избежание ожогов сварщик должен работать в спецодежде из брезента или плотного сукна, в рукавицах и головном уборе. Куртку не следует заправлять в брюки. Карманы должны быть плотно закрыты клапанами. Брюки надо носить поверх обуви. При сварке потолочных, горизонтальных и вертикальных швов необходимо надевать брезентовые рукавники и плотно завязывать их поверх рукавов у кистей рук. Зачищать швы от шлака и флюса следует лишь после их полного остывания и обязательно в очках с простыми стеклами.

Защита от отравлений вредными газами. Особенное загрязнение воздуха вызывает сварка электродами. Состав пыли и газов определяется содержанием покрытия и составом свариваемого и электродного (или присадочного) металла. При автоматической сварке количество газов и пыли значительно меньше, чем при ручной сварке.

Сварочная пыль (аэрозоль) представляет собой смесь мельчайших частиц окислов металлов и минералов. Основными составляющими являются оксиды железа (до 70%), марганца, кремния, хрома, а также фтористые и другие соединения. Наиболее вредными веществами, входящими в состав покрытия, флюса и металла электрода, являются хром, марганец и фтористые соединения. Кроме аэрозолей, воздух в рабочих помещениях при сварке загрязняется различными вредными газами, например, оксидами азота, углерода, фтористым водородом и др. На рабочем месте допускаются следующие предельные концентрации веществ в воздухе (мг/м³): марганец и его соединения — 0,3; хром и его соединения — 0,1; свинец и его соединения — 0,01; цинковые соединения — 5,0; оксид углерода — 20,0; фтористый водород — 0,5; окись азота — 5,0; бензин, керосин — 300,0.

Концентрация нетоксичной пыли более 10 мг/м³ не допускается. Однако если содержание кварца в пыли превышает 10%, то концентрация нетоксичной пыли допускается только до 2 мг/м³.

Удаление вредных газов и пыли из зоны сварки, а также подача чистого воздуха осуществляются местной и общей вентиляцией. При оборудовании сварочных кабин обязательно предусматривается местная вытяжная вентиляция с верхним, боковым или нижним отсосом, удаляющая газы и пыль непосредственно из зоны сварки. Общая вентиляция должна быть приточно-вытяжной, производящей отсос загрязненного воздуха из рабочих помещений и подачу свежего. В зимнее время воздух подогревают до температуры 20—22°C с помощью специального нагревателя-калорифера.

При сварке в закрытых резервуарах и замкнутых конструкциях необходимо обеспечить подачу свежего воздуха под небольшим давлением по шлангу непосредственно

в зону дыхания сварщика. Объем подаваемого свежего воздуха должен быть не менее 30 м³/ч. Без вентиляции сварка в закрытых резервуарах и конструкциях не разрешается.

Вентиляционные устройства должны обеспечить воздухообмен при ручной электродуговой сварке электродами с качественными покрытиями 4000—6000 м³ на 1 кг расхода электродов, при автоматической сварке под флюсом — около 200 м³ на 1 кг расплавляемой проволоки, при сварке в углекислом газе до 1000 м³ на 1 кг расплавляемой проволоки.

Предотвращение взрывов. Взрывы возможны при неправильных транспортировке, хранении и использовании баллонов со сжатыми газами, при сварочных работах в различных емкостях без предварительной тщательной их очистки от остатков горючих веществ.

Баллоны транспортируют с накрученными предохранительными колпаками на подрессоренном транспорте или на специальных тележках. При этом толчки и удары недопустимы. Нельзя устанавливать баллоны вблизи нагревательных приборов или под солнечными лучами. На рабочем месте баллоны должны быть надежно укреплены в вертикальном положении, так чтобы исключалась всякая возможность ударов и падений. Категорически запрещается отогревать влагу в редукторе баллона с углекислотой и любых баллонов со сжатым газом открытым пламенем, так как это, безусловно, вызывает взрыв баллона. Отогревать можно только тряпками, смоченными горячей водой.

Емкости из-под нефтепродуктов необходимо перед сваркой тщательно очистить от остатков продуктов и 2—3 раза промыть горячим 10%-ным раствором щелочи с продувкой паром или воздухом до удаления запаха. Ремонт газо-

проводов сварки также производится только после тщательной продувки.

§ 66. Техника безопасности при контактной сварке

При работе на контактных машинах возможны поражения электрическим током, ожоги нагретым металлом, брызгами и выплесками расплавленного металла, отравление испарениями металла и его покрытий в зоне сварки, а также травматизм от движущихся частей привода сжатия и подачи. Поэтому к работе на контактных машинах допускаются только после экзамена по конструкции машины и технологии сварки, а также по технике безопасности при электросварочных работах.

Машины контактной сварки подключают к сети с напряжением 220, 380 или 500 В. Такие напряжения опасны для жизни человека. Вторичное напряжение не превышает 25 В. Сварочная цепь всегда соединена с корпусом машины, а корпус машины должен быть надежно заземлен подключением к общей сети заземления. При отсутствии заземления в случае пробоя первичной обмотки сварочного трансформатора возникает опасность поражения электрическим током. Подводящие электрические провода высокого напряжения должны быть надежно защищены от механических повреждений, поэтому проводку ведут в металлических трубах или применяют бронированный кабель. Трубы и броневая защита кабеля подлежат заземлению.

Переключение ступеней сварочного трансформатора разрешается производить только после отключения машины от питающей током сети. Арматура и шланги, подводящие воду или охлаждающую смесь, должны быть исправны. Работа-

ющие на контактных машинах должны надевать очки с простыми стеклами и головной убор. Для защиты от брызг металла необходимо работать в брезентовых рукавицах и спец-одежде, а при стыковой сварке методом оплавления применяют защитный экран в виде металлического откидного кожуха с застекленным смотровым окном.

Для защиты от вредных газов и паров рабочее место должно быть оборудовано отсасывающей вентиляцией (особенно при сварке деталей, покрытых оксидами, маслом и другими загрязнениями). Усиленная местная вентиляция необходима при сварке деталей с антикоррозионными покрытиями (оцинкованные, освинцованные листы, луженая жечь и др.).

§ 67. Техника безопасности при газовой сварке и резке

Техника безопасности при работе с газосварочным оборудованием заключается в выполнении следующих требований:

1. Запрещается устанавливать оборудование и производить сварочные работы вблизи огнеопасных материалов. Подвижные ацетиленовые генераторы должны устанавливаться не ближе 10 м от очагов огня. Во время работы запрещается оставлять генератор без надзора.

2. Сварка внутри резервуаров, котлов, цистерн должна производиться с перерывами при непрерывной вентиляции и низковольтном освещении в присутствии постоянного наблюдающего. Перед производством работ необходимо убедиться в отсутствии в указанных емкостях взрывоопасных смесей.

3. Карбид кальция необходимо хранить только в герметически закрытых барабанах в сухих и хорошо проветрива-

емых помещениях. Вскрывать барабаны разрешается только специальным ножом, при этом крышку на участке резания покрывают маслом (можно просверлить отверстие, а затем сделать вырез ножницами). Запрещается пользоваться стальным зубилом и молотком. Эти меры предупреждают образование искр, опасных для ацетиленовоздушных смесей. Опасно применять также медные инструменты, так как при наличии влаги ацетилен образует с медью ацетиленовую медь, которая легко взрывается от незначительных ударов.

4. Ацетиленовые генераторы должны быть установлены строго вертикально и заправлены водой до установленного уровня. Разрешается применять карбид кальция только той грануляции, которая установлена паспортом генератора. После загрузки карбида следует произвести продувку генератора от остатков воздуха. При работе на открытом воздухе и при низких температурах следует пользоваться ватным чехлом. Во избежание замерзания генератора после прекращения работ необходимо слить воду. Отогреть замерзший генератор открытым пламенем категорически запрещается. Отогреть его можно только ветошью, смоченной горячей водой, или паром. Ил следует выгружать только после полного разложения карбида и только в иловые ямы с надписью о запрещении курения и предупреждения о взрывоопасности.

Важным условием безопасности работы генератора являются наличие, исправность и заправленность водяного затвора. При температуре воздуха ниже 0°C затворы заправляются незамерзающей смесью. Перед началом работы необходимо обязательно проверять уровень воды или незамерзающей смеси в затворе через его контрольный кран.

5. Баллоны допускаются к эксплуатации только исправные, прошедшие установленные по срокам освидетельство-

вания. Их хранят закрепленными в вертикальном положении в помещениях или на открытом воздухе, но при обязательной защите от воздействия солнечных лучей. Перевозка баллонов допускается при накрученных предохранительных колпаках. Перевозка на большие расстояния производится на машинах и подрессоренных повозках, а на небольшие расстояния — при помощи специальных носилок или тележек. Для укладки баллонов пользуются деревянными подкладками с гнездами, обитыми войлоком или другим мягким материалом. Совместная транспортировка ацетиленовых и кислородных баллонов запрещена.

При эксплуатации баллон закрепляют хомутиком в вертикальном положении на расстоянии не менее 5 м от рабочего места. Перед началом работы необходимо продуть выходное отверстие баллона. Крепление редуктора к вентилю баллона должно быть надежным и плотным. Открывать вентиль следует медленно и плавно. Расходовать газ следует до остаточного давления кислорода не менее 0,05 МПа, а ацетилена — 0,05—0,1 МПа. После окончания работ необходимо плотно закрыть вентиль баллона, выпустить газ из редуктора и шлангов, снять редуктор, надеть заглушку на штуцер и накрутить колпак.

Необходимо своевременно проводить освидетельствование баллонов; сроки освидетельствования для баллонов — 5 лет, а для пористой массы ацетиленовых баллонов — 1 год.

6. Редукторы применяются только с исправными манометрами. Кислородные редукторы должны предохраняться от попадания масел и жиров. Установка редуктора на баллон производится с осторожностью, чтобы не повредить резьбу. Подача кислорода в редуктор производится при полностью ослабленной регулировочной пружине редуктора. Вентиль открывают медленно и следят, чтобы не было утечки газа. При обнаружении неисправности вентиль бал-

лона надо закрыть и устранить неисправности редуктора или соединений.

7. Крепление газоподводящих шлангов на ниппелях должно быть выполнено специальными стяжными хомутами. Необходимо обеспечить надежность присоединения и герметичность. Исправность газопроводов и шлангов подлежит постоянному контролю.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. *Какие виды производственного травматизма возможны при проведении электросварочных работ?*
2. *Какие виды сварочных работ представляют особую опасность и требуют специальных мер для предупреждения травматизма?*
3. *В каких случаях к сварщику назначается дежурный наблюдатель?*
4. *Как сварщик защищается от брызг расплавленного металла и шлака?*
5. *Какие требования техники безопасности надо соблюдать при работе с газосварочным оборудованием?*

ЛИТЕРАТУРА

1. *Глизманенко Д. Л.* Сварка и резка металлов. М.: Высшая школа, 1975.
2. *Фоминых В. П., Яковлев А. П.* Электросварка. М.: Высшая школа, 1976.
3. *Чернышов Г. Г., Мордынский В. Б.* Справочник молодого электросварщика по ручной сварке. М.: Машиностроение, 1987.
4. Справочник строителя: Сварка и резка в промышленном строительстве. Т. 1. М.: Стройиздат, 1989.
5. Справочник сварщика / Под ред. д. т. н., профессора Степанова В. В. М.: Машиностроение, 1982.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава 1. Общие сведения о сварке, сварных соединениях и швах	3
§ 1. Классификация сварки и наплавки	3
§ 2. Сварные соединения и швы	8
§ 3. Свариваемость металлов	22
§ 4. Подготовка металла под сварку	31
Глава 2. Электрическая сварка плавлением	38
§ 5. Дуговая сварка	38
§ 6. Особые виды сварки	41
Глава 3. Сварочная дуга	45
§ 7. Определение и строение дуги. Условия зажигания и горения дуги	45
§ 8. Тепловая мощность дуги	54
§ 9. Перенос электродного металла	56
Глава 4. Источники питания дуги	61
§ 10. Требования к источникам питания	61
§ 11. Сварочные преобразователи	64
§ 12. Сварочные аппараты переменного тока	76
§ 13. Сварочные выпрямители	84
§ 14. Обслуживание сварочного оборудования	91
Глава 5. Металлургические процессы при сварке ...	100
§ 15. Взаимодействие металла с газами	100
§ 16. Кристаллизация металла сварочной ванны	105
Глава 6. Сварочная проволока и электроды	111
§ 17. Сварочная проволока	111
§ 18. Металлические электроды	116

Глава 7. Технология ручной дуговой сварки	133
§ 19. Сборка сварного соединения	133
§ 20. Техника выполнения швов	143
§ 21. Эффективные методы сварки	153
§ 22. Деформации и напряжения при сварке	156
Глава 8. Газовая сварка и резка и оборудование для нее	161
§ 23. Оборудование и аппаратура для газовой сварки	161
§ 24. Газы для сварки и резки металлов	173
§ 25. Сварочное пламя	175
§ 26. Техника газовой сварки	178
§ 27. Сущность процесса кислородной резки	185
§ 28. Оборудование для кислородной резки	188
§ 29. Техника резки	190
Глава 9. Технология сварки под флюсом и оборудование для нее	196
§ 30. Сущность сварки под флюсом	196
§ 31. Сварочные флюсы	199
§ 32. Оборудование для автоматической сварки ..	203
§ 33. Технология сварки под флюсом	216
§ 34. Электрошлаковая сварка	228
Глава 10. Технология дуговой сварки в защитных газах	233
§ 35. Сущность дуговой сварки в защитных газах ..	233
§ 36. Защитные газы	237
§ 37. Сварочные полуавтоматы и автоматы	239
§ 38. Аргонодуговая сварка	246
§ 39. Сварка в углекислом газе	250
Глава 11. Контактная сварка	254
§ 40. Сущность контактной сварки	254

§ 41. Виды контактной сварки	257
§ 42. Оборудование для контактной сварки	266
Глава 12. Сварка легированных сталей	272
§ 43. Легирующие элементы	272
§ 44. Сварка низколегированных сталей	274
§ 45. Сварка средне- и высоколегированных сталей	277
Глава 13. Сварка цветных металлов и их сплавов ...	283
§ 46. Особенности сварки цветных металлов	283
§ 47. Сварка меди и ее сплавов	284
§ 48. Сварка алюминия и его сплавов	290
§ 49. Сварка титана и его сплавов	294
Глава 14. Сварка чугуна	296
§ 50. Особенности сварки чугуна	296
§ 51. Горячая сварка	298
§ 52. Холодная сварка	300
Глава 15. Наплавочные работы	306
§ 53. Виды наплавочных работ	306
§ 54. Технология наплавки	310
Глава 16. Электродуговая резка	326
§ 55. Резка плавящимся электродом	326
§ 56. Резка неплавящимся электродом	328
Глава 17. Механизация и автоматизация сварочного производства	333
§ 57. Общие сведения	333
§ 58. Механизация сборочных работ	334
§ 59. Поточные линии	338
§ 60. Промышленные роботы в сварочном производстве	346

Глава 18. Контроль качества сварки	351
§ 61. Классификация дефектов	351
§ 62. Методы устранения дефектов сварных швов	355
§ 63. Способы контроля сварных соединений	356
§ 64. Испытания сварных швов на непроницаемость	364
Глава 19. Техника безопасности	367
§ 65. Техника безопасности при электрической сварке	367
§ 66. Техника безопасности при контактной сварке	374
§ 67. Техника безопасности при газовой сварке и резке	375