

СВАРОЧНЫЕ РАБОТЫ

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ



Алюминий,
нержавеющая сталь,
медь, чугун и другие
металлы и сплавы

КЛУБ
СЕМЕЙНОГО
ДОСУГА

Изготовление и монтаж решеток, заборов, ворот,
калиток, навесов, козырьков, перекрытий

Юрий Федорович Подольский

Сварочные работы. Практическое пособие

Текст предоставлен правообладателем

http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=17278099

*Сварочные работы. Практическое пособие / сост. Ю. Ф. Подольский.: ООО «Книжный клуб “Клуб семейного досуга”»; Харьков, Белгород; 2015
ISBN 978-617-12-0106-4, 978-5-9910-3430-2*

Аннотация

Книга познакомит вас с основными видами сварки: ручной дуговой, автоматической дуговой, электрошлаковой и газовой. Также подробно описаны особенности сварных соединений и швов, электродуговой и кислородной резки металлов: алюминия, нержавеющей стали, меди, чугуна. Кроме того, мастера-любители по приведенным расчетам смогут самостоятельно изготовить множество полезных в быту приспособлений.

Содержание

Введение	5
Основы теории сварочных процессов	7
Виды сварки	8
Сварочная терминология	14
Сварные соединения и швы	15
Химический состав сварного шва	20
Сварочные флюсы	22
Основы электродуговой сварки	24
Свойства сварочной дуги	29
Магнитное дутье	30
Образование сварочной ванны	32
Газы для защиты сварочной ванны	34
Оборудование для дуговой сварки	37
Источники сварочного тока	37
Виды сварочных аппаратов	39
Электроды для дуговой сварки	42
Маркировка импортных электродов	45
Характеристика, классификация и назначение сварочной проволоки	47
Держатели электрода и сварочные кабели	49
Экипировка сварщика	50
Основы газовой (газопламенной) сварки	52
Материалы, применяемые при газовой сварке	54
Горючие газы	54
Присадочные материалы	55
Оборудование для газовой сварки	57
Ацетиленовые генераторы	57
Баллоны	57
Газовые редукторы и манометры	60
Рукава	60
Сварочные горелки	61
Предохранительные устройства	63
Техника выполнения сварных швов	64
Технология ручной дуговой сварки	65
Выбор режимов сварки	65
Зажигание дуги	66
Угол наклона электрода	68
Скорость сварки	70
Конец ознакомительного фрагмента.	72

Сварочные работы. Практическое пособие Сост. Ю. Ф. Подольский

Никакая часть данного издания не может быть скопирована или воспроизведена в любой форме без письменного разрешения издательства

© Книжный Клуб «Клуб Семейного Досуга», издание на русском языке, 2015

© Книжный Клуб «Клуб Семейного Досуга», художественное оформление, 2015

© ООО «Книжный клуб “Клуб семейного досуга”», г. Белгород, 2015

Введение

Металлы – наиболее распространенные и широко используемые материалы в производстве и в быту человека. Их добыча и обработка возникли очень давно. Сначала человек использовал самородные металлы – золото, серебро, медь. Затем он научился сплавлять их друг с другом. Получение бронзы – прочного и твердого сплава меди с оловом, а позднее и с некоторыми другими элементами – открыло новую эпоху в развитии материальной культуры, называемую бронзовым веком. Позже была освоена выплавка железа, и наступил железный век.

Но если обработка металлов резанием была известна еще в глубокой древности, то обратный процесс сложнее давался человечеству. Только кузнецы высокой квалификации умели соединять два куска железа в единое целое, и лишь у считанных мастеров это получалось качественно.

Одним из революционных прорывов в технологии работы с металлом стало изобретение в XX веке электросварки. Впрочем, о возможности использования «электрических искр» для плавления металлов еще в 1753 г. говорил академик Российской академии наук Г. В. Рихман, занимавшийся исследованием атмосферного электричества. В 1802 г. профессор Санкт-Петербургской военно-хирургической академии В. В. Петров открыл явление электрической дуги и продемонстрировал возможность ее практического применения. Однако ученым и инженерам потребовались многие годы совместных усилий, направленных на создание источников энергии, необходимых для реализации процесса электрической сварки металлов. Важную роль в этих разработках сыграли открытия и изобретения в области магнетизма и электричества.

В 1882 г. российский инженер Н. Н. Бенардос, работая над созданием аккумуляторных батарей, открыл способ электродуговой сварки металлов неплавящимся угольным электродом. Им был разработан способ дуговой сварки в защитном газе и дуговая резка металлов.

В 1888 г. российский инженер Н. Г. Славянов предложил проводить сварку плавящимся металлическим электродом. С его именем связано развитие металлургических основ электрической дуговой сварки, разработка флюсов, предназначенных для воздействия на состав металла шва, создание первого электрического генератора. Затем, в 1907 г., шведский инженер О. Кьельберг разработал электроды из металлического стержня с нанесенным на него специальным покрытием, обеспечившие значительное повышение качества сварных соединений.

Газовая сварка возникла после разработки в 1893–1895 гг. промышленного способа производства карбида кальция. Из последнего легко получается горючий газ – ацетилен, который имеет преимущественное применение при газовой сварке. Первые газовые горелки для сварки появились в 1900–1902 гг., а промышленное применение ацетиленокислородная сварка получила в 1906 г., когда появились достаточно надежные конструкции ацетиленовых генераторов и инжекторные сварочные горелки.

С первых лет XX века сварка начала победное шествие по заводам и мастерским всего мира. Новые технологии сделали волшебство сварного металла всеобщим достоянием. А нынче даже начинающий домашний мастер в состоянии создавать из металла сложные конструкции.

Многие люди знакомы со сваркой лишь заочно, большинство из них видели, как сваривают металлы, но сами ни разу не пробовали. Некоторые варили один-два раза и давно об этом забыли, а кое-кто зарабатывает сваркой на жизнь. Однако время от времени у каждого возникает необходимость использовать сварку в бытовых целях. Да и тем, кто недавно

перестал пугаться расплавленного металла, хочется усовершенствовать свои навыки. Этим вопросам и посвящена данная книга.

Основы теории сварочных процессов

Согласно ГОСТ 2601–84, сваркой называется процесс получения неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между соединяемыми частями при их нагревании и (или) пластическом деформировании. Для получения сварных, т. е. полученных с помощью сварки, соединений не требуется применения каких-либо специальных соединительных элементов (заклепок, накладок и т. п.). Сварные соединения применяют для соединения деталей из разных материалов, в том числе неметаллов – пластмасс, керамики, стекла или их сочетаний. Но чаще всего с помощью сварки соединяют металлические детали. Образование неразъемного соединения в них обеспечивается за счет проявления действия внутренних сил системы. Для сварных соединений характерно возникновение металлической связи, обусловленной взаимодействием ионов и обобществленных электронов.

Для соединения двух металлов в единое целое недостаточно простого соприкосновения поверхностей соединяемых деталей. Необходимо настолько сократить расстояние между их атомами, чтобы преодолеть существующий между ними энергетический барьер и чтобы силы взаимного притяжения начали активизироваться. Для этого соединяемые атомы должны получить энергию извне. Благодаря ей атомы получают соответствующее смещение, позволяющее им занять в общей атомной решетке устойчивое положение, т. е. достигнуть равновесия между силами притяжения и отталкивания. Энергию извне называют энергией активации. Ее при сварке вводят путем нагрева (термическая активация) или пластического деформирования (механическая активация). Соприкосновение свариваемых частей и применение энергии активации являются необходимыми условиями для образования неразъемных сварных соединений.

Виды сварки

При классификации процессов сварки выделяют три основных физических признака: форму вводимой энергии, наличие давления и вид инструмента – носителя энергии. Остальные признаки условно отнесены к техническим и технологическим. Такая классификация использована в ГОСТ 19521–74. По виду вводимой в изделие энергии все основные сварочные процессы, включая сварку, пайку и резку, разделены на термические (Т), термомеханические, или термопрессовые (ТМ), и механические (М). Т-процессы осуществляются без давления (сварка плавлением), остальные – обычно только с давлением (сварка давлением). Форма энергии, применяемой в источнике энергии для сварки (электрическая, химическая и др.), как классификационный признак в стандарте не использована, так как она характеризует главным образом не процесс, а оборудование для сварки.

Все известные в настоящее время процессы сварки металлов осуществляются за счет введения только двух видов энергии – термической и механической или при их сочетании. Соответственно различают два вида сварки: сварку плавлением и сварку давлением.

Сварка давлением. Образование сварного соединения при сварке давлением происходит за счет пластического деформирования свариваемых частей без расплавления металла и перехода его в жидкое состояние.

Пластическое деформирование стыка свариваемых кромок производится статической либо ударной нагрузкой, например сваркой взрывом. Для осуществления холодной сварки достаточно применить механическое усилие сжатия. Иногда при сварке давлением применяют местный нагрев. Из рис. 1 видно, что при увеличении температуры нагрева металла для сварки давлением требуются меньшие усилия.



Рис. 1. Схемы возможных областей сварки давлением и плавлением в зависимости от температуры (T) и давления (P)

При пластической деформации в зоне свариваемых кромок разрушаются окисные пленки и поверхности сближаются до расстояний возникновения межатомных связей. Зона, где образовались межатомные связи соединяемых частей при сварке давлением, называется зоной соединения.

Характер процесса сварки давлением с нагревом может быть и другим. Например, при контактной стыковой сварке оплавлением свариваемые кромки первоначально оплавляются, а затем пластически деформируются. При этом часть пластически деформированного металла совместно с некоторыми загрязнениями выдавливается наружу, образуя грат.

Сварка плавлением. Сущность сварки плавлением состоит в том, что при температурах выше $T_{пл}$ (рис. 1) жидкий металл одной оплавленной кромки самопроизвольно соединяется и в какой-то мере перемешивается с жидким металлом второй оплавленной кромки. Так создается общий объем жидкого металла – сварочная ванна. Плавление основного и присадочного материалов в процессе сварки происходит под действием концентрированной энергии, вызванной сварочной дугой, пламенем горелки или каким-либо другим способом. Если в зону сварки не подается дополнительный металл, то сварочная ванна образуется только за счет основного соединения. Но чаще сварочная ванна получается смешиванием основного и присадочного металла, вносимого непосредственно в зону сварки электродом, сварочной проволокой и т. д.

Энергия теплового источника (электрической дуги, газового пламени и т. п.) расходуется на нагрев металла детали, на расплавление электрода или присадочного материала, на плавление защитного флюса (покрытия электрода) и на тепловые потери. Распределение температуры в свариваемом металле зависит от мощности источника тепла, физических свойств металла (теплоемкость, температура плавления и др.), размеров конструкции, скорости перемещения и т. д.

На рис. 2 показаны изотермы – овалы, сгущающиеся впереди движущегося при сварке источника тепла (электрической дуги, пламени горелки). Изотерма $1600\text{ }^{\circ}\text{C}$ – это температура плавления стали, она определяет ориентировочный размер сварочной ванны. Изотерма $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ указывает на зону перегрева металла, изотерма $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ показывает зону закалочных явлений, а $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ – зону отпуска.

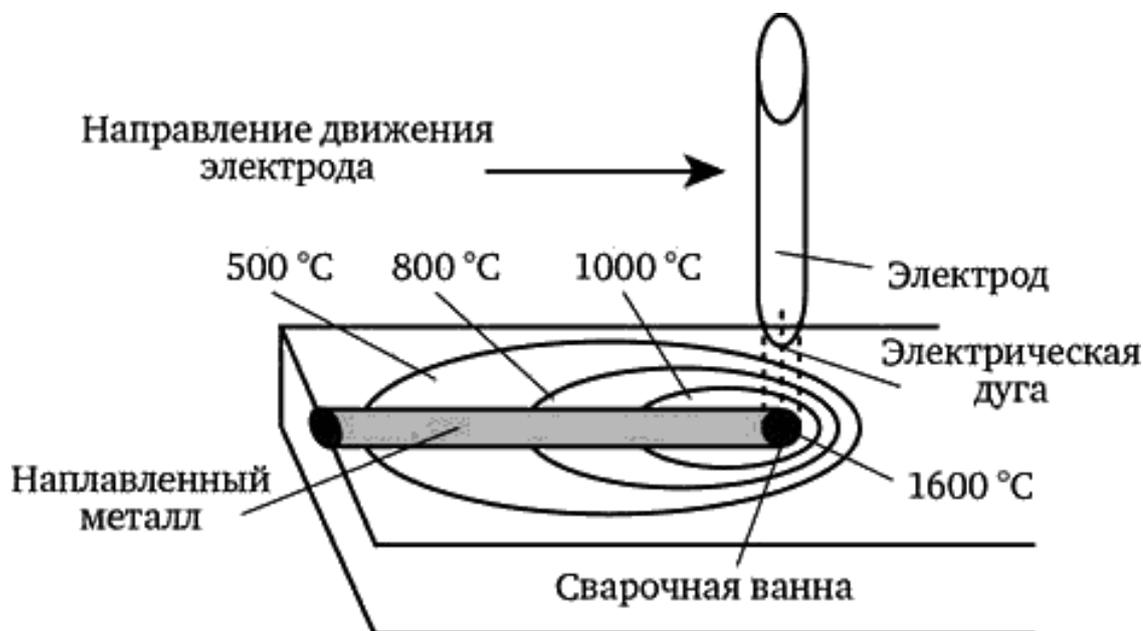


Рис. 2. Схема изотерм при сварке

Затвердевание расплавленного металла, происходящее в хвостовой части ванны, называется кристаллизацией. Динамика этого процесса такова: сварочная дуга, направленная в головную часть ванны, повышает в этой области температуру, в результате чего происходит плавление основного и электродного металлов. Механическое давление, оказываемое

дугой на жидкую фазу основного и дополнительного металлов, вызывает их перемешивание и перемещение в хвостовую часть ванны. Таким образом, давление, вызванное дугой, приводит к вытеснению металла из основания ванны и открывает доступ к следующим слоям, где поддерживается необходимая для плавления температура. По мере удаления металла от зоны плавления отвод тепла начинает преобладать над его притоком, и температура жидкой фазы снижается. Расплавленные фазы основного и электродного металлов перемешиваются между собой и, затвердевая, образуют общие кристаллы, что обеспечивает монолитность сварного соединения.

Снижение температуры в хвостовой части ванны происходит за счет усиленного теплоотвода в прилегающий холодный металл, так как его масса по сравнению с ванной значительно преобладает. Кристаллы металла начинают формироваться от готовых центров основного металла в направлении ведения сварки и принимают форму кристаллических столбов, вытянутых в сторону, противоположную теплоотводу.

После охлаждения и кристаллизации металла сварочной ванны получается металл сварного шва, соединяющий детали. Поскольку сварной шов образуется за счет расплавления металла электрода и частично основного металла, в зоне сплавления кристаллизуются зерна, принадлежащие как основному, так и присадочному металлу (рис. 3, а).

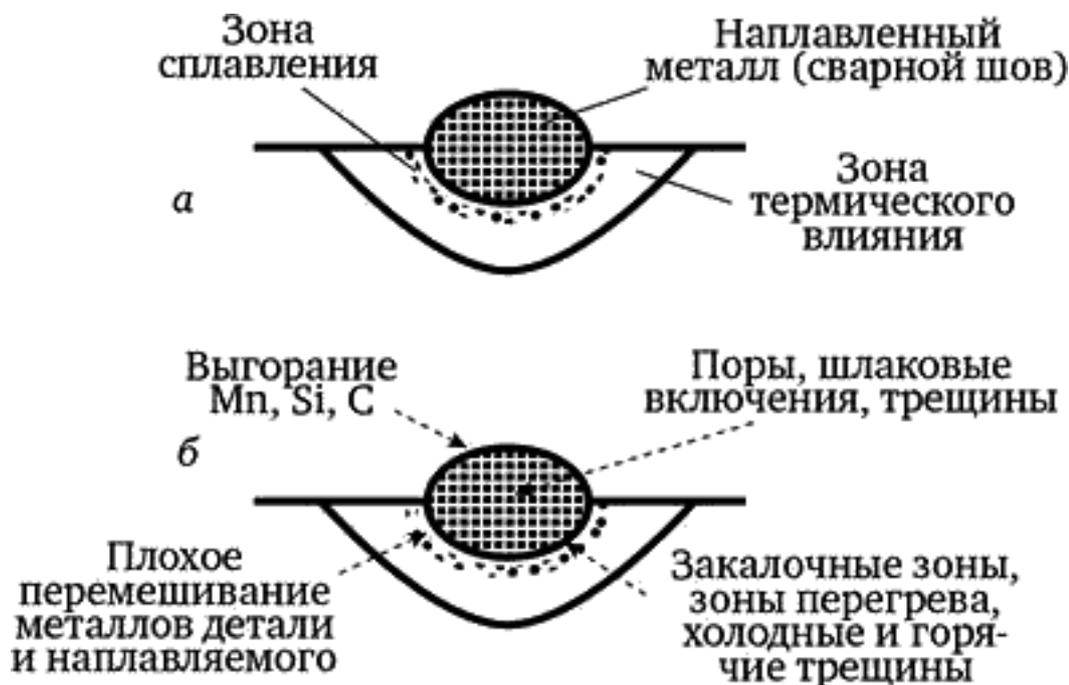


Рис. 3. Зоны сварного шва (а) и возможные дефекты в нем (б)

Свойства сварного соединения определяются характером тепловых воздействий на металл в околошовных зонах. Зона вблизи границы оплавленной кромки свариваемой детали и шва, содержащая образовавшиеся межатомные связи, называется зоной сплавления. В поперечном сечении сварного соединения она измеряется микрометрами, но роль ее в прочности металла очень велика.

В зоне термического влияния (ЗТВ) из-за быстрого нагрева и охлаждения металла в нем происходят структурные изменения. Следовательно, сварной шов может получиться прочным и пластичным, но из-за термических воздействий на деталь качество сварки в целом будет низким (рис. 3, б).

Величина ЗТВ составляет при ручной электродуговой сварке для обычного электрода 2–2,5 мм, а для электродов с повышенной толщиной покрытия – 4–10 мм. При газовой сварке ЗТВ существенно возрастает – до 20–25 миллиметров.

ЗТВ характеризуется неравномерным распределением максимальных температур нагрева; в этой зоне можно различать участки: старения (200–300 °С); отпуска (250–650 °С); неполной перекристаллизации (700–870 °С); нормализации (840–1000 °С); перегрева (1000–1250 °С); околошовный участок, примыкающий к линии сплавления (1250–1600 °С). При этом возможны два предельных случая: резкая закалка при быстром охлаждении околошовного участка и перегрев при медленном охлаждении с образованием крупных зерен аустенита.

Высокотемпературные фазы железоуглеродистых сплавов подразделяются:

- на феррит (твердый раствор внедрения С в α -железе с объемно-центрированной кубической решеткой);
- аустенит (твердый раствор внедрения С в γ -железе с гранецентрированной кубической решеткой);
- цементит (карбид железа Fe_3C , метастабильная высокоуглеродистая фаза);
- графит (стабильная высокоуглеродистая фаза).

Особое значение для процесса сварки сталей и чугунов имеет аустенит. Он не магнитен, сравнительно мягкий, углерода содержит не более 2 %. В равновесном состоянии аустенит существует только при высоких температурах, начиная с 723 °С. Имеет форму полиэдрических зерен, размеры которых увеличиваются в процессе выдержки при высоких температурах.

Всего в настоящее время различают более 150 видов сварочных процессов, под которыми в настоящее время понимают достаточно широкую группу технологических процессов соединения, разъединения (резки) и локальной обработки материалов, как правило, с использованием местного нагрева изделий. Примерами сварочных процессов могут служить: сварка, наплавка, пайка, пайка-сварка, сварка-склейка, напыление, спекание, термическая резка и др.

Сварка плавлением, особенно с применением электрической энергии, на сегодняшний день является наиболее востребованной. По способу нагрева этот вид делится на электродуговую, электрошлаковую, электроконтактную и электронно-лучевую¹. Соответственно, для нагрева свариваемых кромок металла используются разные источники: электрическая дуга, теплота расплавленного шлака, энергия электронного или лазерного излучения, плазма, печь. Металл шва может образовываться как за счет оплавленных кромок, так и за счет дополнительного присадочного металла. Межатомные связи в таком соединении при сварке плавлением образуются за счет расплавления кромок, смачивания их между собой либо расплавления их присадочным металлом.

Зона вблизи границы оплавленной кромки называется зоной сплавления. Ширина ее очень мала (микрометры), но роль в прочности соединения исключительно велика, ведь именно здесь образуются межатомные связи.

Для всех термических процессов сварки плавлением, независимо от вида носителя энергии, в стык она вводится всегда путем расплавления металла. В термомеханических и механических процессах преобладают внутренние носители энергии, в которых ее преоб-

¹ Электрошлаковая, плазменная, электронно-лучевая, лазерная сварки, равно как и виды сварки термомеханического и механического классов, в рамках данной книги не рассматриваются, поскольку их применение пока возможно только в промышленных условиях.

разование в теплоту происходит главным образом вблизи контакта соединяемых изделий – стыка.

Существует довольно много промышленных технологий соединения металлов помимо рассмотренных выше. Это, например, диффузионная сварка в вакуумной установке с высокотемпературным нагревом, сварка трением (при вращении одной из соединяемых частей свариваемого изделия), сварка взрывом, сварка ультразвуком и др. Впрочем, некоторые виды вполне успешно можно применять и в небольших мастерских.

Экзотермическая (термитная) сварка. Это сварка деталей расплавленным металлом, образованным в ходе химической реакции, сопровождающейся высокой температурой (большим количеством тепла). Основным компонентом этого вида сварки является термитная смесь. Такой способ обеспечивает возможность создания связей на молекулярном уровне для разных материалов без каких-либо внешних источников энергии или тепла: медь – медь; медь – оцинкованная сталь; медь – «черная» сталь; медь – омедненная сталь; медь – нержавеющая сталь; медь – бронза; медь – латунь; и даже сталь – сталь.

Кузнечная сварка. Первый в истории вид сварки. Соединение материалов осуществляется за счет возникновения межатомных связей при пластическом деформировании инструментом (ковочным молотом). В настоящее время в промышленности практически не используется, но поддерживается кустарными промыслами и мелкотоварным производством, в основном для изготовления модных кованых изделий – ворот, оград, предметов интерьера и т. п.

Контактная сварка. При контактной сварке происходят два последовательных процесса: нагрев свариваемых изделий до пластического состояния и их совместное пластическое деформирование. Основными разновидностями такого метода являются точечная контактная сварка и шовная сварка. В промышленности применяют также стыковую сварку сопротивлением, стыковую сварку непрерывным оплавлением и рельефную сварку.

При точечной сварке детали зажимаются в электродах сварочной машины или в специальных сварочных клещах (рис. 4). После этого между электродами начинает протекать большой ток, который разогревает металл деталей в месте их контакта до температур плавления. Затем ток отключается и осуществляется «проковка» за счет увеличения силы сжатия электродов. Металл кристаллизуется при сжатых электродах, и образуется сварное соединение.

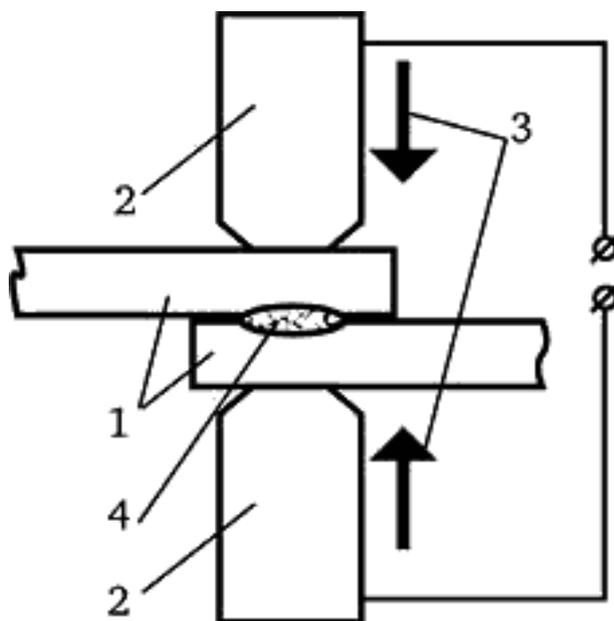


Рис. 4. Контактная точечная сварка:

1 – свариваемые детали; 2 – электроды; 3 – усилие сжатия; 4 – сварочная ванна

Другой подвид точечной сварки – шовная сварка. Подача изделия вдоль шва здесь выполняется вращающимися роликами. Через ролики подводится сварочный ток кратковременными импульсами (доли секунд) с небольшими паузами, образуя сварные точки, перекрывающиеся краями друг друга. Этим создается непрерывность шва. Такой метод применяется для сварки бензобаков, огнетушителей, фляг и т. п.

Чаще всего применяются в быту и мелкосерийном производстве электродуговая сварка и газовые сварка и резка. Они и будут рассмотрены в данной книге наиболее подробно. Но вначале следует определиться со специфической терминологией, применяемой для описания сварочных процессов.

Сварочная терминология

Металлическую конструкцию, изготовленную с помощью сварки из отдельных деталей, называют сварной, а часть такой конструкции – сварным узлом. ГОСТ 2601–84 устанавливает ряд терминов и определений для сварных соединений и швов.

Основной металл – это металл подвергающихся сварке соединяемых частей.

Сварным соединением называют неразъемное соединение, выполненное сваркой. Оно включает в себя сварной шов, прилегающую к нему зону основного металла (ЗТВ), в которой в результате теплового воздействия сварки произошли структурные и другие изменения, и примыкающие к ней участки основного металла.

Наплавкой называется нанесение посредством сварки плавлением слоя металла на поверхность изделия.

Сварной шов представляет собой участок сварного соединения, образовавшийся в результате кристаллизации расплавленного металла сварочной ванны. **Сварочная ванна** – это часть металла свариваемого шва, находящаяся при сварке плавлением в жидком состоянии. Углубление, образующееся в шве по окончании процесса сварки, называют **кратером**. Металл, подаваемый в зону дуги дополнительно к расплавленному основному металлу, называют **присадочным**. Переплавленный присадочный металл, введенный в сварочную ванну или наплавленный на основной металл, называют **наплавленным**. Сплав, образованный расплавленным основным и наплавленным металлами или только переплавленным основным металлом, называют **металлом шва**.

Слой сварного шва – это часть металла шва, которая состоит из одного или нескольких валиков, располагающихся на одном уровне поперечного сечения шва. **Валик** представляет собой металл шва, наплавленный или переплавленный за один **проход**. Под **проходом** понимают однократное перемещение в одном направлении источника тепла при сварке и (или) наплавке. Часть сварного шва, наиболее удаленную от его лицевой поверхности, называют **корнем**. Шов, выполняемый предварительно для предотвращения прожогов при многопроходной сварке или наплавленный в корень шва для обеспечения гарантированного проплавления, называют **подварочным**.

По условиям работы швы бывают **рабочие**, воспринимающие внешние нагрузки, и **связующие** (соединительные), предназначенные только для крепления частей изделия и не рассчитанные на восприятие внешних нагрузок. Кроме того, технологию выполнения сварных швов описывает целый ряд характеристик.

Так, по характеру выполнения сварные швы могут быть одно- и двусторонними, а по числу слоев – одно- и многослойными, а также многопроходными. В зависимости от расположения швов в конструкции сварку выполняют в разных положениях: нижнем, горизонтальном, вертикальном и потолочном. Сварные швы также подразделяются по положению в пространстве: «в лодочку», нижние, полугоризонтальные, горизонтальные, полувертикальные, вертикальные, полупотолочные и потолочные. По протяженности различают швы непрерывные и прерывистые. А по отношению к направлению действующего усилия швы подразделяют на продольные, поперечные, комбинированные и косые.

Различают сварные швы и в зависимости от типа сварных соединений, которые бывают стыковыми, угловыми, торцовыми, тавровыми и нахлесточными. Однако в этом случае определены только два вида сварных швов: стыковые и угловые. Эти и все вышеперечисленные параметры будут в дальнейшем рассмотрены подробно.

Сварные соединения и швы

Сварные соединения могут быть стыковыми, угловыми, тавровыми и нахлесточными (рис. 5).

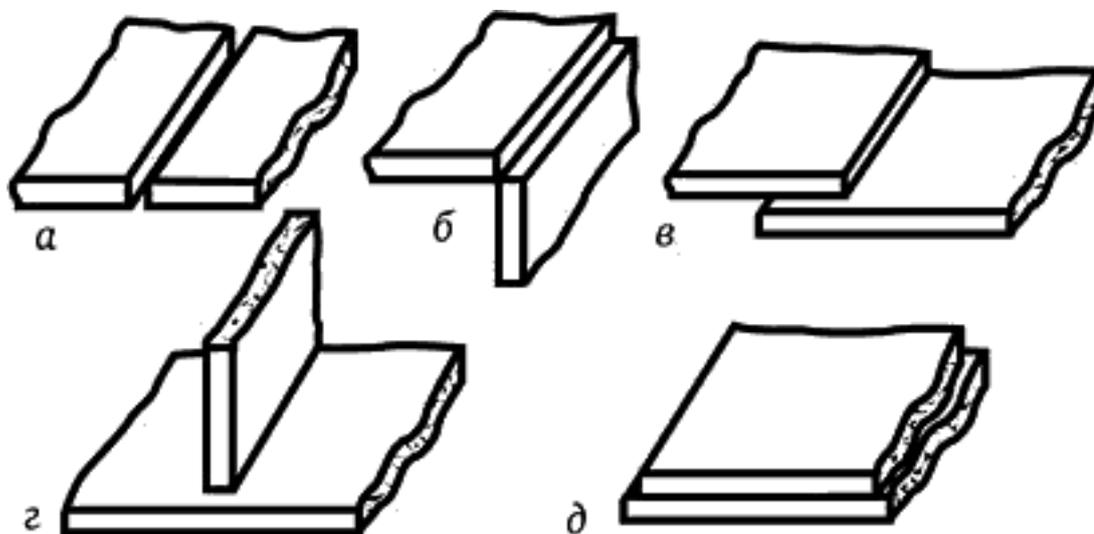


Рис. 5. Сварные соединения:

а – стыковое; б – угловое; в – нахлесточное; г – тавровое; д – торцовое

Стыковым называется сварное соединение двух элементов, расположенных в одной плоскости или на одной поверхности и примыкающих друг к другу торцами.

Угловым называется соединение двух элементов, расположенных под углом и сваренных в месте примыкания их краев.

Нахлесточным называется сварное соединение, в котором свариваемые элементы расположены параллельно и перекрывают друг друга. Разновидностью нахлесточного является торцовое соединение, в котором боковые поверхности свариваемых элементов примыкают друг к другу.

Тавровым называется сварное соединение, в котором к боковой поверхности одного элемента примыкает под углом и приварен торцом другой элемент.

Часть конструкции, в которой сварены примыкающие друг к другу элементы, называется **сварным узлом**.

Сварные швы могут быть стыковыми и угловыми (рис. 6, а – г). Стыковой шов – сварной шов стыкового соединения. Угловой шов – сварной шов углового, таврового и нахлесточного соединений. Разновидностью этих типов являются швы пробочные и прорезные, выполняемые в нахлесточных соединениях.

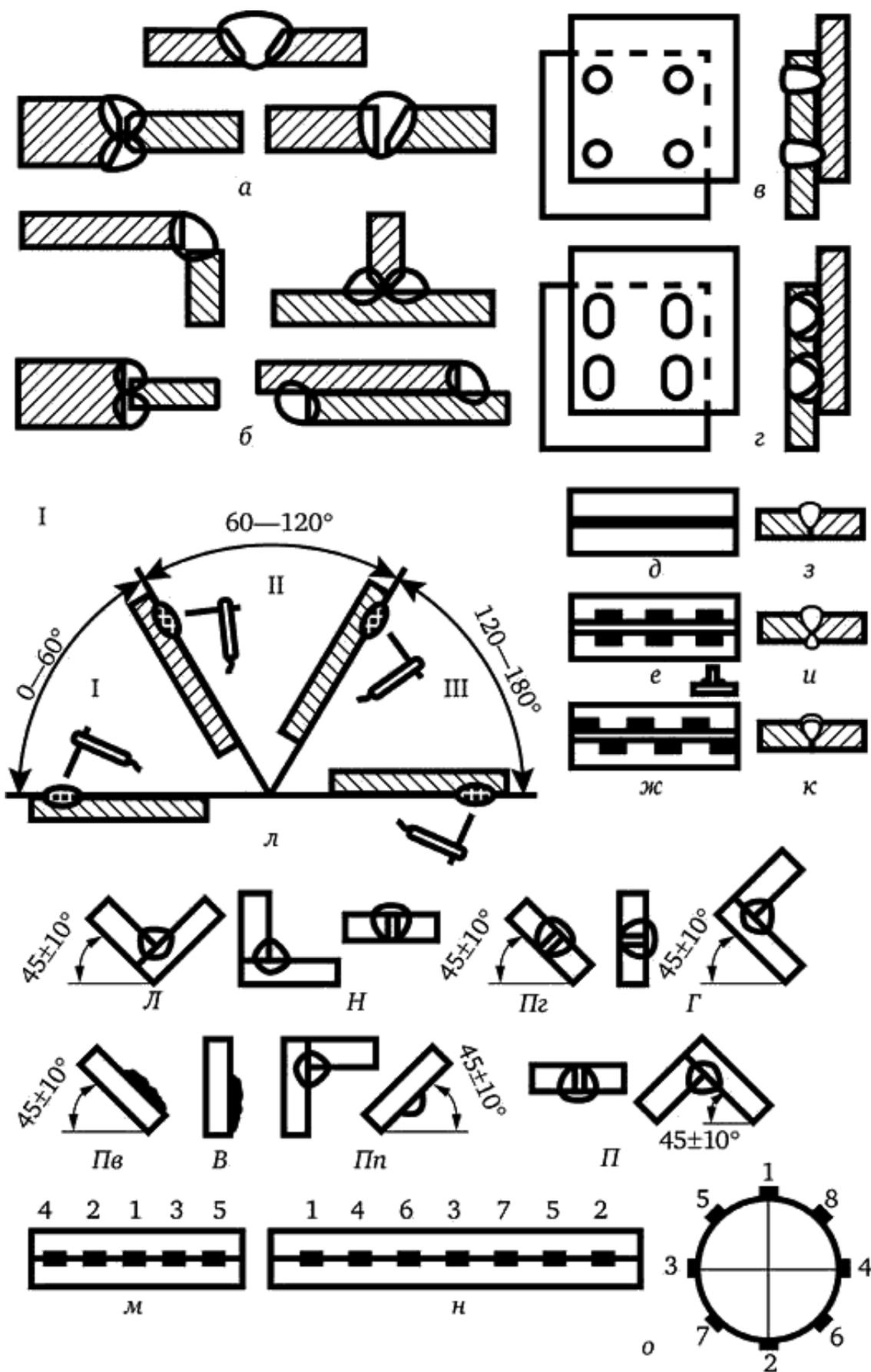


Рис. 6. Сварные швы:

a – стыковые; *б* – угловые; *в* – пробочные; *г* – прорезные; *д* – непрерывные; *е* – прерывистые цепные; *ж* – прерывистые шахматные; *з* – односторонние; *и* – двусторонние; *к* – многослойные (показано 2 слоя); *л* – основные и промежуточные пространственные положения сварных швов (I – нижнее; II – вертикальное или горизонтальное; III – потолочное); *м* – *о* – прихватки

По форме в продольном направлении сварные швы могут быть непрерывными, прерывистыми, одно- и многослойными, одно- и двусторонними (рис. 6, *д* – *к*). С помощью стыковых швов образуют в основном стыковые соединения, с помощью угловых швов – тавровые, крестовые, угловые и нахлесточные, с помощью пробочных и прорезных швов могут быть образованы нахлесточные и иногда тавровые соединения.

В зависимости от формы и размеров изделия швы можно выполнять в различных пространственных положениях. Швы разделяют на нижние, вертикальные, горизонтальные и потолочные (рис. 6, *л*). Горизонтальные швы выполняют на вертикальной плоскости в горизонтальном направлении. Согласно ГОСТ 11969–79, швы по положению в пространстве подразделяются: на нижние – Н и нижние «в лодочку» – Л; полугоризонтальные – Пг; горизонтальные – Г; полувертикальные – Пв; вертикальные – В; полупотолочные – Пп; потолочные – П.

Сварные швы, применяемые для фиксации взаимного расположения, размеров и формы собираемых под сварку элементов, называются прихватками. Длина каждой прихватки составляет от 3 до 6 толщин свариваемого металла, расстояние между ними выдерживается от 20 до 40 толщин. Ставят прихватки с лицевой стороны соединения, очищают от шлака, а при сварке полностью удаляют или полностью переплавляют. На коротких и средних швах прихватки расставляют от центра к краям, поочередно в каждую сторону (рис. 6, *м*). На длинных швах поступают наоборот – прихватывают вначале края, затем центр и поочередно с каждой стороны двигаются от краев к центру (рис. 6, *н*). При кольцевых швах (рис. 6, *о*) прихватки ставят попеременно по главным координатным осям (под 90°), а при необходимости – и по дополнительным диагоналям (под 45°).

Стыковые швы, как правило, выполняют непрерывными; отличительным признаком для них обычно служит форма разделки кромок² соединяемых деталей в поперечном сечении (рис. 7, *a* – *e*). По этому признаку различают следующие основные типы стыковых швов: с отбортовкой кромок (применяются при газовой сварке тонкого металла); без разделки кромок – односторонние (при толщине свариваемых деталей 1–6 мм) и двусторонние (при толщине деталей 3–8 мм); с разделкой одной кромки – односторонней, двусторонней (до 60 мм); с прямолинейной или криволинейной формой разделки; с односторонней разделкой двух кромок; с V-образной разделкой; с двусторонней разделкой двух кромок; с X-образной разделкой (с толщиной деталей до 120 мм). Разделка может быть образована прямыми линиями (скос кромок) либо иметь криволинейную форму (U-образная разделка).

Угловые швы различают по форме подготовки свариваемых кромок в поперечном сечении и степени непрерывности шва по длине (рис. 7, *ж* – *и*). По форме поперечного сечения швы могут быть без разделки кромок (при толщине свариваемых деталей от 2 до 30 мм), с односторонней разделкой кромки (3–60 мм), с двусторонней разделкой кромок (до 100 мм). По протяженности угловые швы могут быть непрерывными и прерывистыми, с шахматным и цепным расположением отрезков шва (рис. 6, *д* – *ж*). Тавровые, нахлесточные и угловые соединения могут быть выполнены отрезками швов небольшой протяженности – точечными швами.

² Разделка кромок – придание кромок, подлежащим сварке, необходимой формы.

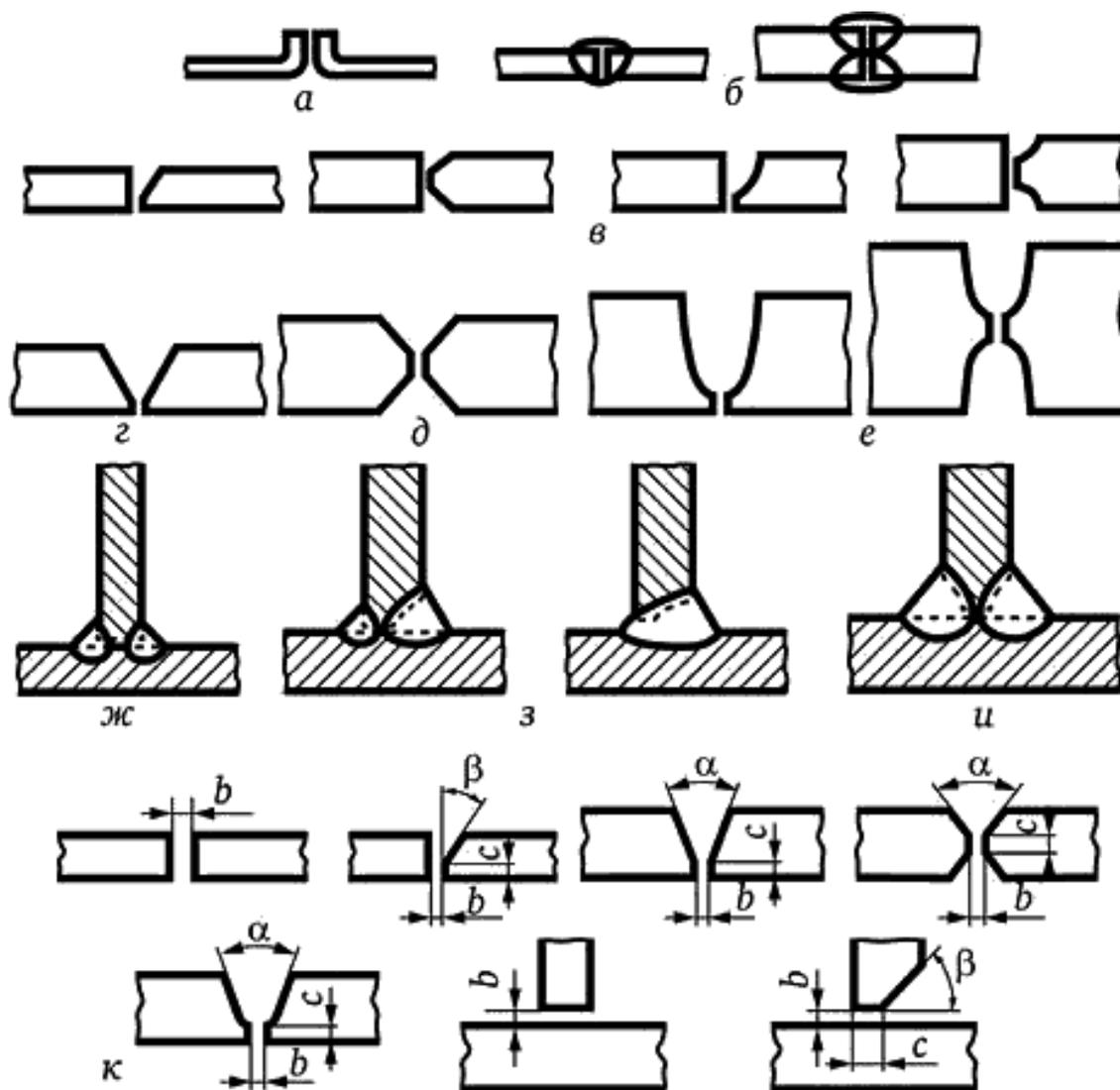


Рис. 7. Подготовка кромок стыковых (*a – e*) и угловых (*ж – и*) швов:

a – с отбортовкой кромок; *б* – без разделки кромок; *в* – с разделкой одной кромки; *г* – с односторонней разделкой двух кромок; *д* – с X-образной разделкой двух кромок; *е* – с U-образной разделкой; *ж* – без разделки; *з* – с односторонней разделкой; *и* – с двусторонней разделкой; *к* – конструктивные элементы разделки

Пробочные швы по своей форме в плане (вид сверху) обычно имеют круглую форму и получаются в результате полного проплавления верхнего и частичного проплавления нижнего листов (их часто называют электрозаклепками) либо путем проплавления верхнего листа через предварительно проделанное отверстие.

Прорезные швы, обычно удлиненной формы, получают путем приварки верхнего (накрывающего) листа к нижнему угловым швом по периметру прорези. В отдельных случаях прорезь может заполняться и полностью.

Подготовку кромок при ручной сварке регламентирует ГОСТ 5264–80. Чаще всего приходится разделять кромки при сварке металла большой толщины. Форму разделки кромок и их сборку под сварку характеризуют четыре основных конструктивных элемента: зазор *b*, притупление *c*, угол скоса кромки β и угол разделки кромок α , равный β или 2β (рис. 7, *к*). Стандартный угол разделки кромок, в зависимости от способа сварки и типа соединения, изменяется в пределах от $45 \pm 2^\circ$ до $12 \pm 2^\circ$. Тип разделки и величина угла разделки кромок определяют количество необходимого дополнительного металла для заполнения раз-

делки, а значит, производительность сварки. Так, например, X-образная разделка кромок по сравнению с V-образной позволяет уменьшить объем наплавленного металла в 1,6–1,7 раза. Уменьшается время на обработку кромок. Правда, в этом случае возникает необходимость вести сварку с одной стороны шва в неудобном потолочном положении или кантовать свариваемые изделия.

Притупление кромки, т. е. нескошенная часть торца кромки, подлежащей сварке, обычно составляет 2 ± 1 мм и выбирается в зависимости от толщины свариваемого металла. Его назначение – обеспечить правильное формирование шва и предотвратить прожоги в корне шва. Зазор b обычно равен 1–2 мм (допускается до 5 мм), так как при принятых углах разделки кромок наличие зазора необходимо для провара корня шва. Чем больше зазор, тем глубже проплавление металла.

Основными геометрическими параметрами сварных швов являются: при стыковых соединениях – ширина, выпуклость и глубина проплавления шва; при угловых, тавровых и нахлесточных соединениях – ширина, толщина и катет шва (рис. 8, z – d).

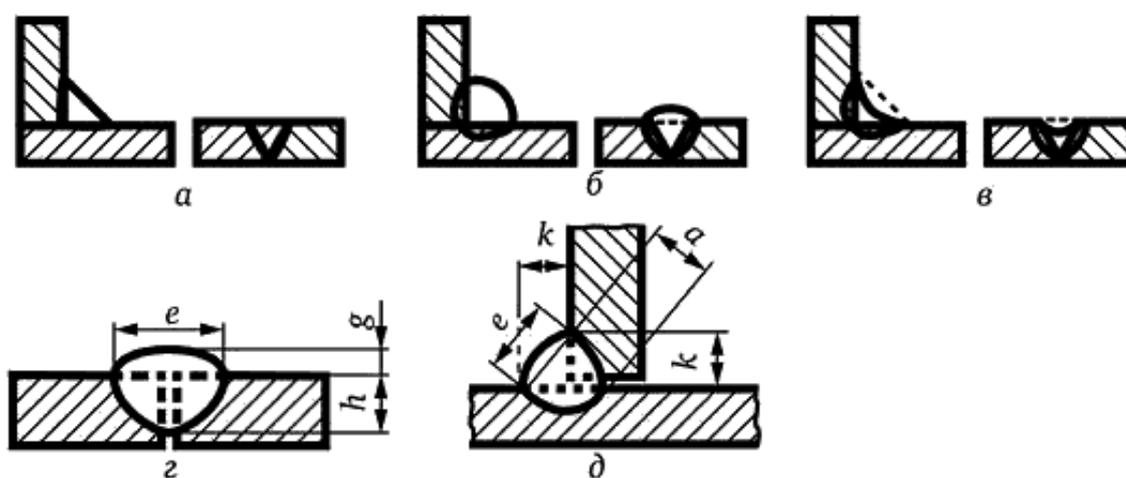


Рис. 8. Виды сварных швов (a – плоский; b – выпуклый; $в$ – вогнутый) и характеристики стыкового (z) и углового (d) швов:

e – ширина шва; h – глубина проплавления; g – выпуклость шва; a – толщина шва; k – катет шва

Глубина проплавления стыкового шва (h) – наибольшая глубина расплавления основного металла в сечении шва.

Толщина углового шва (a) – наибольшее расстояние от поверхности углового шва до точки максимального проплавления основного металла.

Катет углового шва (k) – кратчайшее расстояние от поверхности одной из свариваемых частей до границы углового шва на поверхности второй свариваемой части. При симметричном угловом шве за расчетный катет принимается любой из равных катетов, при несимметричном шве – меньший.

Выпуклость сварного шва (g) – выпуклость шва, определяемая расстоянием между плоскостью, проходящей через видимые линии границы сварного шва с основным металлом, и поверхностью сварного шва, измеренным в месте наибольшей выпуклости.

Основным показателем формы швов является **коэффициент формы сварного шва** (ψ). Для стыкового шва этот коэффициент равен отношению ширины шва к глубине проплавления $\psi = e/h$; для углового шва – отношению ширины к толщине шва $\psi = e/a$. Форма и размеры сварного шва существенно влияют на качество сварного соединения. При ручной сварке покрытыми электродами коэффициент формы провара колеблется в пределах $\psi = 1,0$ – $2,5$.

Таким образом, по форме наружной поверхности стыковые швы могут быть нормальными (плоскими), выпуклыми или вогнутыми (рис. 8, *a – в*). Причем вогнутость стыковых швов недопустима, это является серьезным браком сварки.

Угловые швы выполняются выпуклыми, плоскими, вогнутыми. Вогнутость угловых швов при сварке во всех пространственных положениях допускается не более 3 мм. Выпуклость сварных швов допускается не более 2 мм при сварке в нижнем положении и не более 3 мм при сварке в остальных положениях. Допускается увеличение выпуклости сварных швов, выполненных в вертикальном, горизонтальном и потолочном положениях на 1 мм при толщине основного металла до 26 мм и на 2 мм при толщине основного металла свыше 26 миллиметров.

Сварные соединения с выпуклыми (стыковыми и угловыми) швами лучше работают на статическую нагрузку. Но чрезмерно выпуклые швы нежелательны из-за повышенного расхода электродов и электрической энергии, а также из-за концентрации напряжений в точках пересечения поверхности шва с основным металлом.

Сварные соединения с плоскими (стыковыми и угловыми) и вогнутыми (угловыми) швами лучше работают на переменную и динамическую нагрузку, так как нет резкого перехода от основного металла к сварному шву. В противном случае создается концентрация напряжений, от которых может начаться разрушение сварного соединения.

Для всех типов швов важны полный провар кромок соединяемых элементов и внешняя форма шва как с лицевой, так и с обратной стороны. В стыковых, особенно односторонних, швах трудно проваривать кромки притупления на всю их толщину без специальных приемов, предупреждающих прожог и обеспечивающих хорошее формирование обратного валика.

Большое значение также имеет образование плавного перехода металла лицевого и обратного валиков к основному металлу, так как это обеспечивает высокую прочность соединения при динамических нагрузках. В угловых швах также бывает трудно проварить корень шва на всю его толщину, и тогда рекомендуется вогнутая форма поперечного сечения шва с плавным переходом к основному металлу. Это снижает концентрацию напряжений в месте перехода и повышает прочность соединения при динамических нагрузках.

Химический состав сварного шва

Химический состав сварного шва значительно отличается от состава основного металла, так как в этой области происходит перемешивание основного и электродного металлов, различных присадок, используемых при сварке, а также продуктов реакций взаимодействия жидкой фазы с атмосферными газами и защитными средствами. Соотношение отдельных компонентов, сварного шва зависит от способа наложения шва, режимов сварки. К примеру, если сварной шов ведется с разделкой, то доля основного металла в структуре шва значительно снижается. Состав металла шва определяют с учетом коэффициента перехода η , показывающего, какая доля металла, содержащегося в электродной проволоке, переходит в металл шва. Величина этого коэффициента изменяется в широких пределах (0,3–0,95) в зависимости от химической активности элемента, вида и технологии сварки и др.

В процессе сварки расплавленный металл активно вступает в реакцию с атмосферными газами, поглощая их и тем самым снижая механические качества сварного шва. Так, при дуговой сварке дуга, контактирующая с металлом, состоит из смеси N_2 , O_2 , H_2 , CO_2 , CO , паров H_2O , паров металла и шлака. В зоне плавления металла происходит процесс диссоциации – распад молекул на атомы. Под воздействием высоких температур молекулярный азот, водород и кислород распадаются и переходят в атомарное состояние, при котором активность газов значительно повышается.

К примеру, атомы кислорода начинают активно растворяться в жидкой фазе металла, а при достижении предела растворимости начинается химическое взаимодействие, сопровождающееся образованием оксидов. В результате этого примеси и легирующие элементы, содержащиеся в металле, окисляются. С повышением содержания кислорода в металле шва снижаются предел прочности, предел текучести, ударная вязкость. Кроме того, ухудшается коррозионная стойкость и жаропрочность сталей. Кислород попадает в зону сварки из окружающего воздуха, из влаги, находящейся на свариваемых кромках и флюсах, с покрытия электродов. Удаление кислорода из расплавленного металла достигается за счет введения в сварочную ванну кремния и марганца, которые взаимодействуют с оксидом железа, образуя шлак. Шлак в процессе кристаллизации образует на поверхности шва твердую корку, которая удаляется механическим путем.

Растворение азота в жидкой фазе большинства конструктивных металлов сопровождается образованием соединений, называемых нитридами. Это приводит к старению металла и повышению его хрупкости. Азот попадает в зону сварки из окружающего воздуха, и для недопущения образования нитридов сварочную ванну изолируют средой защитных газов. Защиту сварного шва осуществляют при сварке легированных, жаропрочных сталей и большинства цветных металлов.

Весьма нежелательным процессом является растворение водорода, что приводит к возникновению гидридов. Образование этих соединений в ЗТВ приводит к появлению пор, микро- и макротрещин. Водород попадает в зону сварки из атмосферного воздуха и при разложении влаги, которая имеется на свариваемых кромках, в покрытии электродов, защитных флюсах и т. д. Снижению содержания водорода способствуют предварительное прокаливание и тщательная зачистка электродов и свариваемых поверхностей.

Окись углерода в жидкой фазе металла практически не растворяется, но влияние этого соединения на качество сварного шва огромно. В результате процесса кристаллизации металла окись углерода начинает выделять пузырьки, образуя поры в массиве сварного шва.

Отличия сварочной ванны от металлургической, в которой плавят сталь, следующие:

- **малый объем и кратковременность существования ванны, поэтому плохо перемешивается металл; возможны поры из-за того, что не успевают выделиться газы; шлаковые включения в сварном шве;**

- **вследствие значительной поверхности контакта расплавленного металла с атмосферой происходит выгорание «полезных» кремния и магния и образование оксидов железа (наличие кислорода в стали приводит к снижению ее прочности, пластичности и коррозионной стойкости и сообщает стали красноломкость), а насыщение сварного шва азотом увеличивает хрупкость.**

Негативное влияние на состав сварного шва оказывает сера, которая находится в основном и присадочном металлах, в покрытиях, флюсах и т. д. Под действием высоких температур в сварочной ванне образуется сульфид железа (FeS), который в процессе кристаллизации образует эвтектику³, температура плавления которой ниже, чем у основного металла.

Пары воды, находящиеся в жидкой фазе металла, взаимодействуют с ней, образуя оксиды железа и водород.

³ Эвтектика – тонкая смесь твердых веществ, одновременно выкристаллизовывающихся из расплава при температуре более низкой, чем температура плавления отдельных компонентов; а также – жидкий расплав или раствор, из которого возможна такая кристаллизация.

Бороться с этими вредными явлениями чрезвычайно трудно, и полностью изолировать сварочную ванну от влияния атмосферных газов чаще всего не удается. Для того чтобы снизить влияние на сварочную ванну атмосферных газов, применяют разные виды защиты – электродное покрытие, защитные газы, флюсы, вакуум и т. д. Это значительно снижает интенсивность металлургических реакций и позволяет добиться хорошего качества сварного шва. Кроме того, большая скорость охлаждения сварочной ванны не позволяет металлургическим реакциям завершиться полностью. Поэтому для регулирования сварочных процессов особое значение приобретают различные флюсы.

Сварочные флюсы

Флюс – это неметаллический материал, который вводится в зону сварки, наплавки, пайки, где под действием высоких температур, поддерживаемых в зоне сварки, плавится, образуя шлак. Покрывая сплошной пленкой сварочную ванну, шлак изолирует расплавленный металл от атмосферных газов, сдерживая металлургические реакции. Кроме того, сварочные флюсы уменьшают скорость охлаждения сформировавшегося шва, обеспечивают нужное качество металла шва за счет легирования, улучшают формирование шва, восстанавливают окислы, разжижают и понижают температуру шлаков, стабилизируют горение дуги, улучшают растекаемость металла. Флюсы должны обеспечивать легкую отделяемость шлака, минимизировать количество вредных газов и пыли, выделяющихся при сварке, а также уменьшать потери электродного металла на угар и разбрызгивание.

В сварочном процессе роль флюсов, особенно керамических, огромна. К примеру, флюсы, содержащие в своем составе марганец и кремний, способствуют процессу восстановления этих веществ и частично препятствуют окислению углерода, что снижает вероятность образования пор в металле шва. Образовавшийся при этом оксид железа переходит в шлак.

В состав сварочных материалов могут входить вредные вещества (сера, фосфор и др.), которые оказывают отрицательное влияние на качество шва, являясь причиной хрупкости сварного соединения и образования горячих трещин. В нейтрализации этих вредных явлений участвует содержащийся во флюсах марганец. Он является более активным элементом, чем свариваемый металл, и, вступая в реакцию с сульфидом железа FeS , образует менее растворимый сульфид марганца MnS , вызывая тем самым перераспределение серы из расплавленного металла в шлак и предотвращая появление горячих трещин.

Однако флюсы могут оказывать и негативное воздействие, способствуя увеличению размера кристаллов. Избежать этого помогает добавление специальных модификаторов, содержащих алюминий, титан или ванадий, которые измельчают структуру шва, улучшая его прочностные характеристики.

Для дуговой сварки и наплавки применяют обычно зернистый, порошкообразный флюс. Такой же флюс, но с дополнительными свойствами по электропроводности, используют и для электрошлаковой сварки. Для газовой сварки и пайки в качестве флюсов применяют пасты, порошки и газ.

Флюс получают сплавлением составляющих его компонентов и последующим дроблением (плавленные флюсы) или механическим связыванием (склеиванием) порошкообразных компонентов с последующим измельчением (неплавленные флюсы).

По назначению флюсы разделяют на три группы: для сварки углеродистых и легированных сталей, для сварки высоколегированных сталей, для сварки цветных металлов и их сплавов. В зависимости от химического состава различают флюсы высококремнистые (более 35 % кремнезема), низкокремнистые (до 35 % кремнезема), безмарганцевые (менее 1 % марганца), марганцевые (более 1 % марганца). Изготавливают также легированные

флюсы, содержащие чистые легирующие металлы или ферросплавы. Флюсы для автоматической сварки выпускаются по ГОСТ 9087–81. Флюс с размером зерен от 0,25 до 1,60 мм предназначен для сварки проволокой диаметром до 3,00 мм, с размерами зерен от 0,35 до 3,00 мм – для сварки проволокой диаметром более 3,00 миллиметров.

Плавленные флюсы изготавливаются двух видов: стекловидные (зерна прозрачные, от светло-желтого до бурого и коричневого цвета) и пемзовидные (пористые зерна светлой окраски). Объемная масса стекловидных флюсов – от 1,3 до 1,8 кг/дм³, пемзовидных – не более 1 кг/дм³. Наиболее распространены стекловидные флюсы.

К неплавленным флюсам относятся керамические, которые используются главным образом как легирующие: они малочувствительны к ржавчине, окалине и влаге на кромках свариваемых швов; добавление керамических флюсов к стекловидным позволяет получать швы высокого качества даже при плохой очистке кромок.

По сложившейся традиции, марки флюсов обычно указывают наименование разработчика и порядковый номер флюса. Так, флюсы, разработанные ИЭС им. Е. О. Патона, имеют сериал, обозначенный буквенными индексами «АН» (АН-348-А; АН-20; АН-22 и т. д.), что обозначает – «Академия наук» (в составе которой находится ИЭС им. Патона). Флюсы, предложенные НПО ЦНИИТМАШ, имеют сериал «ФЦ» – флюсы ЦНИИТМАШ.

Преимущество плавленных флюсов перед керамическими – это более высокие технологические свойства (защита, формирование, отделяемость шлаковой корки и др.) и меньшая стоимость. Преимуществом керамических флюсов является возможность в более широких пределах легировать металл шва через флюс. В промышленности применяют преимущественно плавленные флюсы.

Высококремнистыми и марганцовистыми флюсами являются флюсы ОСЦ-45 и АН-348-А, АН-348Ш, шихта которых состоит из марганцевой руды (MnO), кварцевого песка (SiO₂) и плавикового шпата (фтористого кальция CaF₂). Буква А в конце марки флюса обозначает, что грануляция крупная (для автоматической сварки), а буква # – мелкая грануляция, т. е. для использования при полуавтоматической сварке шланговыми полуавтоматами.

Для автоматической наплавки под флюсом служат те же флюсы, что и для сварки. Наиболее распространены плавленные флюсы АН-348-А; ОСЦ-45; АН-20; АН-60; 48-ОФ-6; АН-26; АН-15М; АН-8; АН-25; АН-22; АНФ-6 в сочетании с легированными проволоками.

Основы электродуговой сварки

Электродуговая сварка получила наиболее широкое распространение в промышленности, мелкосерийном производстве и в кустарных мастерских. С применением электродуговой сварки в настоящее время осуществляется примерно 65 % сварочных работ. И именно она рекомендуется для применения домашним умельцам.

Источником нагрева и расплавления свариваемого металла при дуговых способах сварки является сварочная дуга, представляющая собой длительный мощный электрический разряд, происходящий в ионизированной среде между двумя электродами или электродом и деталью (рис. 9). При этом начальная фаза среды может быть любой: твердой (например, сварочный флюс); жидкой (например, вода); газообразной (например, аргон); плазменной. Температура в столбе сварочной дуги колеблется от 5000 до 12 000 К и зависит только от состава газовой среды дуги. Длиной сварочной дуги называют расстояние между концом электрода и поверхностью кратера (углубления) сварочной ванны.

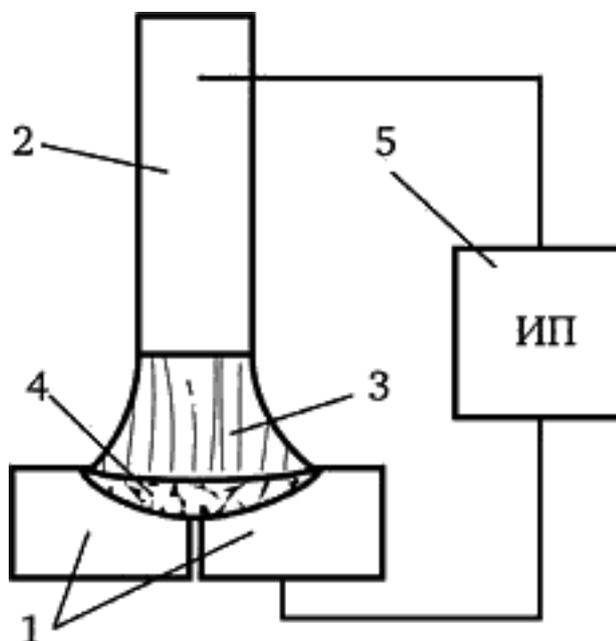


Рис. 9. Электрическая сварочная цепь дуговой сварки:

1 – свариваемая деталь; 2 – сварочный электрод; 3 – сварочная дуга; 4 – сварочная ванна; 5 – источник питания дуги

Виды дуговой сварки различают по нескольким признакам: по среде, в которой происходит дуговой разряд (на воздухе – открытая дуга, под флюсом – закрытая дуга, в среде защитных газов); по роду применяемого электрического тока – постоянный, переменный; по типу электрода – плавящийся, неплавящийся. Наибольшее практическое значение получила ручная дуговая сварка плавящимися электродами на переменном и постоянном токах, дающая возможность сваривать в непромышленных условиях большинство сталей, включая нержавеющие.

Для поддержания электрического разряда нужной продолжительности необходимо применение специальных источников питания дуги. Для питания дуги переменным током применяют сварочные трансформаторы, постоянным током – сварочные генераторы или сварочные выпрямители. При сварке постоянным током количество тепла на электродах

различно, поэтому в сварке введено понятие полярности – прямой и обратной. Электрод, подсоединенный к положительному полюсу источника питания дуги, называют анодом, а к отрицательному – катодом. Таким образом, когда катод (—) источника подключен к электрододержателю, а анод (+) – к детали, это прямая полярность, наоборот – обратная.

При горении дуги и плавлении свариваемого и электродного металлов требуется защита расплава сварочной ванны от воздействия кислорода и азота воздуха, ибо последние ухудшают механические свойства металла шва. Поэтому защищают зону дуги, сварочную ванну, а также электродный стержень.

По характеру защиты свариваемого металла и сварочной ванны от окружающей среды дуговую сварку разделяют на следующие способы: с покрытыми электродами, в защитных газах, под флюсом, порошковой самозащитной проволокой.

Дуговая сварка покрытыми электродами⁴. При этом способе процесс выполняется вручную (рис. 10). Сварочные электроды могут быть плавящимися – стальными, медными, алюминиевыми и др. Наиболее широко применяют сварку стальными электродами, имеющими на поверхности электродное покрытие. Покрытие электродов готовится из порошкообразной смеси различных компонентов и наносится на поверхность стального стержня в виде затвердевающей пасты. Его назначение – повысить устойчивость горения дуги, провести металлургическую обработку сварочной ванны и улучшить качество сварки. Сварной шов образуют за счет расплавления металла свариваемых кромок и плавления стержня сварочного электрода. При этом сварщик вручную осуществляет два основных технологических движения: подачу покрытого электрода в зону сварки по мере его расплавления и перемещение дуги вдоль свариваемого шва.

Ручная дуговая сварка покрытыми электродами – один из наиболее распространенных способов, используемых при изготовлении сварных конструкций. Она отличается простотой и универсальностью, возможностью выполнения соединений в различных пространственных положениях и в труднодоступных местах. Существенный недостаток ее – малая производительность процесса и зависимость качества сварки от квалификации сварщика.

⁴ В англоязычной литературе именуется shielded metal arc welding (SMA welding, SMAW) или manual metal arc welding (MMA welding, MMAW). Чаще всего употребляется аббревиатура MMA.

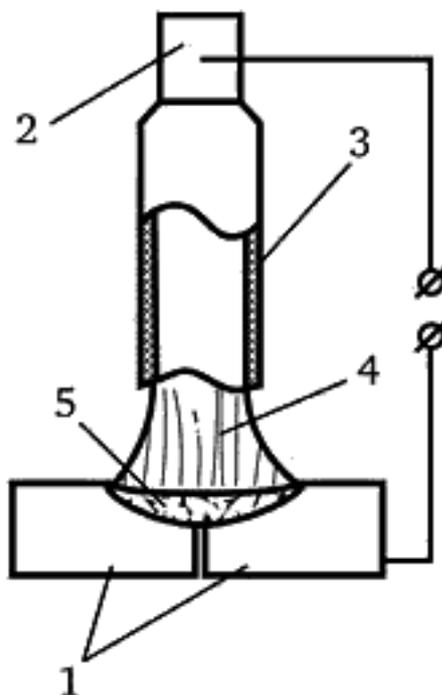


Рис. 10. Ручная дуговая сварка покрытыми электродами:

1 – деталь; 2 – стержень электрода; 3 – покрытие; 4 – дуга; 5 – сварочная ванна

Дуговая сварка неплавящимся электродом⁵. В настоящее время в качестве неплавящегося электрода используют преимущественно стержни из чистого вольфрама, реже из графита (рис. 11).

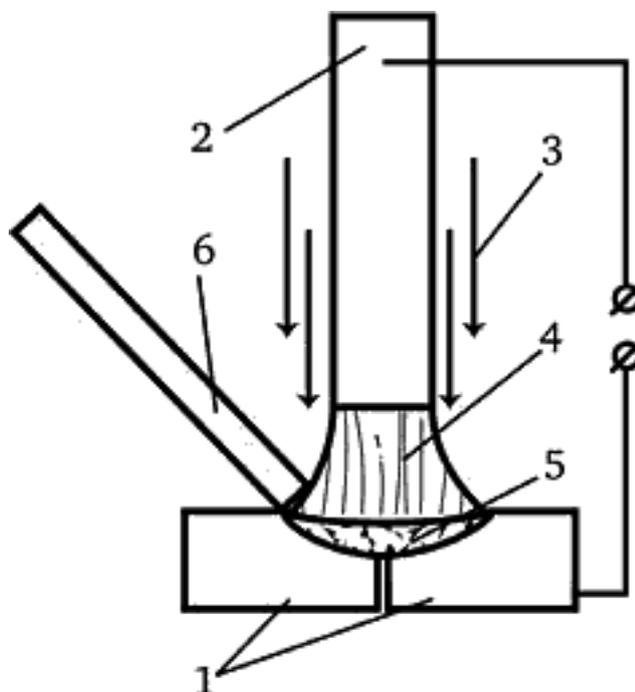


Рис. 11. Ручная дуговая сварка неплавящимися электродами:

⁵ В англоязычной литературе этот вид сварки известен как gas tungsten arc welding (GTA welding, TGAW) или tungsten inert gas welding (TIG welding, TIGW), в немецкоязычной литературе – wolfram-inertgasschweißen (WIG).

1 – деталь; 2 – электрод; 3 – поток защитного газа; 4 – дуга; 5 – сварочная ванна; 6 – присадочный материал

Применяемые вольфрамовые электроды должны отвечать требованиям ГОСТ 23949–80. Они могут содержать активирующие добавки оксида лантана (ЭВЛ), иттрия (ЭВИ), диоксида тория (ЭВТ). Эти добавки облегчают зажигание и поддерживают горение дуги, повышают эрозионную стойкость электрода. Наибольшее распространение получили электроды ЭВЛ и ЭВИ # 5–10 мм, выдерживающие большую токовую нагрузку. Из-за окисления вольфрамовых электродов и их быстрого разрушения для защиты не допускается использовать газы, содержащие кислород. Основным защитным газом является аргон или аргоно-гелиевая смесь. Наряду с инертными газами, для сварки вольфрамовым электродом используют и некоторые активные газы, например азот и водород, или их смеси с аргоном.

Дуговая сварка под флюсом⁶. Электрическая дуга здесь горит между плавящимся электродом и деталью под слоем сварочного флюса, полностью закрывающего дугу и сварочную ванну от взаимодействия с воздухом (рис. 12). Сварочный электрод выполнен в виде проволоки, свернутой в кассету и автоматически подаваемой в зону сварки. Перемещение дуги вдоль свариваемых кромок может выполняться или вручную, или с помощью специального привода. В первом случае процесс ведется с помощью сварочных полуавтоматов, во втором – с помощью сварочных автоматов. Дуговая сварка под флюсом отличается высокой производительностью и качеством получаемых соединений. К недостаткам процесса следует отнести трудность сварки деталей небольшой толщины, коротких швов и выполнение швов в основных положениях, отличных от нижних.

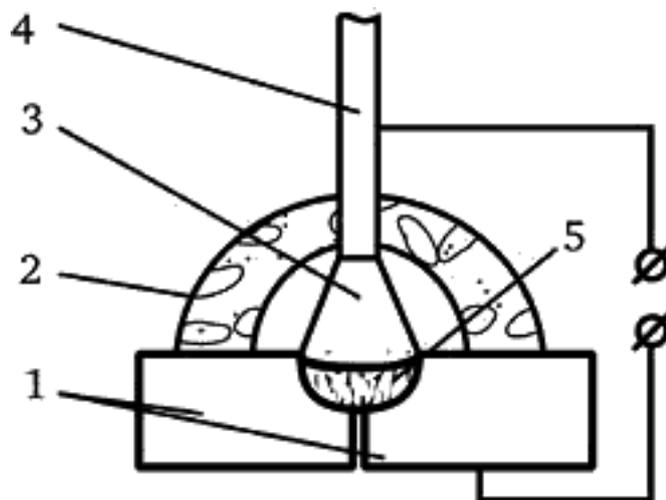


Рис. 12. Сварка под слоем флюса:

1 – деталь; 2 – слой флюса; 3 – дуга; 4 – электрод; 5 – сварочная ванна

Дуговая сварка в защитных газах⁷. Электрическая дуга горит в среде специально подаваемых в зону сварки защитных газов (рис. 13). Защитные газы изолируют сварочную ванну от атмосферного воздействия, поэтому металлургические процессы протекают только между элементами, содержащимися в основном и присадочном металлах. Наиболее эффективными являются инертные газы (аргон, гелий), которые не взаимодействуют с дру-

⁶ В англоязычной литературе именуется SAW.

⁷ В англоязычной литературе именуется gas metal arc welding (GMA welding, GMAW), в немецкоязычной литературе – metallschutzgasschweißen (MSG). Разделяют сварку в атмосфере инертного газа (metal inert gas, MIG) и в атмосфере активного газа (metal active gas, MAG).

гими элементами. Защитная роль инертных газов значительно повышается при тщательной зачистке свариваемых кромок, на которых могут быть посторонние элементы, влияющие на химические процессы, происходящие в сварочной ванне. Роль активного газа CO_2 сводится к оттеснению от сварочной ванны окружающего воздуха, и в первую очередь азота.

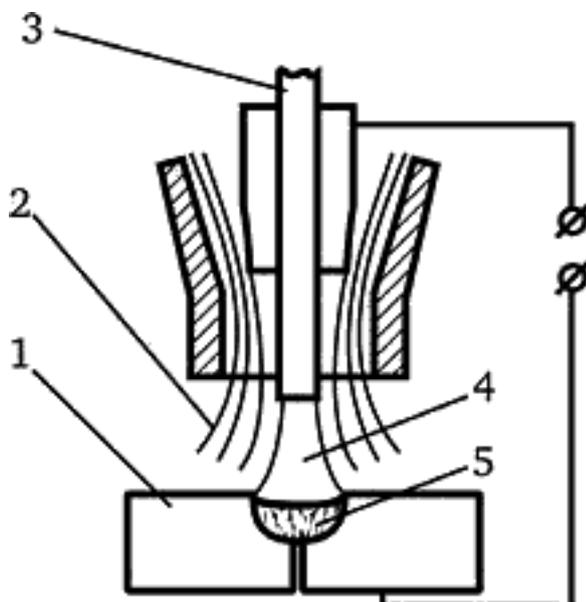


Рис. 13. Сварка в защитном газе:

1 – деталь; 2 – защитный газ; 3 – электрод; 4 – дуга; 5 – сварочная ванна

При этом виде сварки можно использовать как неплавящиеся, так и плавящиеся электроды. Процесс выполняют ручным, механизированным или автоматическим способом. При сварке неплавящимся электродом применяют присадочную проволоку, при плавящемся электроде присадки не требуется. Сварка в защитных газах отличается широким разнообразием и применяется для широкого круга металлов и сплавов.

Свойства сварочной дуги

Для ручной дуговой сварки используют сварочную дугу прямого действия, когда дуга горит между электродом и изделием. В промышленности и при высокотехнологических способах сварки применяют также многоэлектродные дуги.

По роду тока различают дуги, питаемые переменным и постоянным током. Вследствие того, что мгновенные значения переменного тока переходят через нуль 100 раз в секунду, ионизация дугового промежутка менее стабильна и сварочная дуга менее устойчива по сравнению с дугой постоянного тока. Поэтому для этого вида дуги используют специальные электроды с соответствующим покрытием, которое стабилизирует дугу при пропадании тока.

При применении постоянного тока, как упоминалось выше, различают сварку на прямой и обратной полярности. В первом случае электрод подключается к отрицательному полюсу и служит катодом, а изделие – к положительному полюсу и служит анодом, т. е. ток идет от электрода к нагреваемому металлу. Во втором случае электрод подключается к положительному полюсу и служит анодом, а изделие – к отрицательному и служит катодом. Свободные электроны движутся от свариваемого металла через электрод, что ведет к сильному нагреву последнего. При одних и тех же параметрах источника сварочного тока температура на поверхности свариваемого металла при обратной полярности будет ниже, и этот эффект широко используют при сварке тонкой или высоколегированной стали. Если же сварка ведется на переменном токе, каждый из электродов является попеременно то анодом, то катодом.

Сварочный электрод плавится за счет тепла, сконцентрированного на его конце в приэлектродной области дуги. Количество тепла, выделяемого в этой области, напрямую зависит от силы тока и электрического сопротивления промежутка, образовавшегося между электродом и основным металлом. И чем больше вылет электрода, тем больше его сопротивление и тем больше выделяется тепла. Нагреваясь до температуры 2300–2500 °С, конец электрода плавится, а образовавшиеся при этом капли металла переносятся через дуговое пространство и попадают в сварочную ванну. Этому процессу способствуют электростатические и электродинамические силы, поверхностное натяжение, тяжесть металлической капли, давление газового потока, реактивное давление паров металла и т. д. Все эти силы, взаимодействуя между собой, формируют характер капельного переноса, который может быть крупнокапельным, мелкокапельным и струйным (рис. 14). Крупнокапельный перенос металла характерен для ручной дуговой сварки, мелкокапельный – для сварки под флюсом или в среде углекислого газа, а струйный – для сварки в среде аргона.

Силы поверхностного натяжения формируют каплю на конце электрода и направлены внутрь нее. В отрыве и переносе капли участвуют электродинамические силы и давление газовых потоков. И чем больше сила тока, тем больше эти силы и тем меньшими по размеру будут капли расплавленного металла. При этом происходит электрический взрыв перемишки, образованной между отделяющейся каплей и торцом электрода. Этот взрыв сопровождается выбросом части металла за пределы сварочной ванны (так называемым разбрызгиванием, когда сварочный процесс сопровождается фонтаном искр).

Основной металл плавится под воздействием сконцентрированного в активном пятне тепла, возникающего под воздействием дуги. Электромагнитные силы, вызывающие осевое давление плазменного потока на сварочную ванну, будут пропорциональны квадрату тока, создающего дугу. Поэтому, меняя силу тока электрической дуги, меняют размеры сварочной ванны в зависимости от толщины свариваемых деталей.

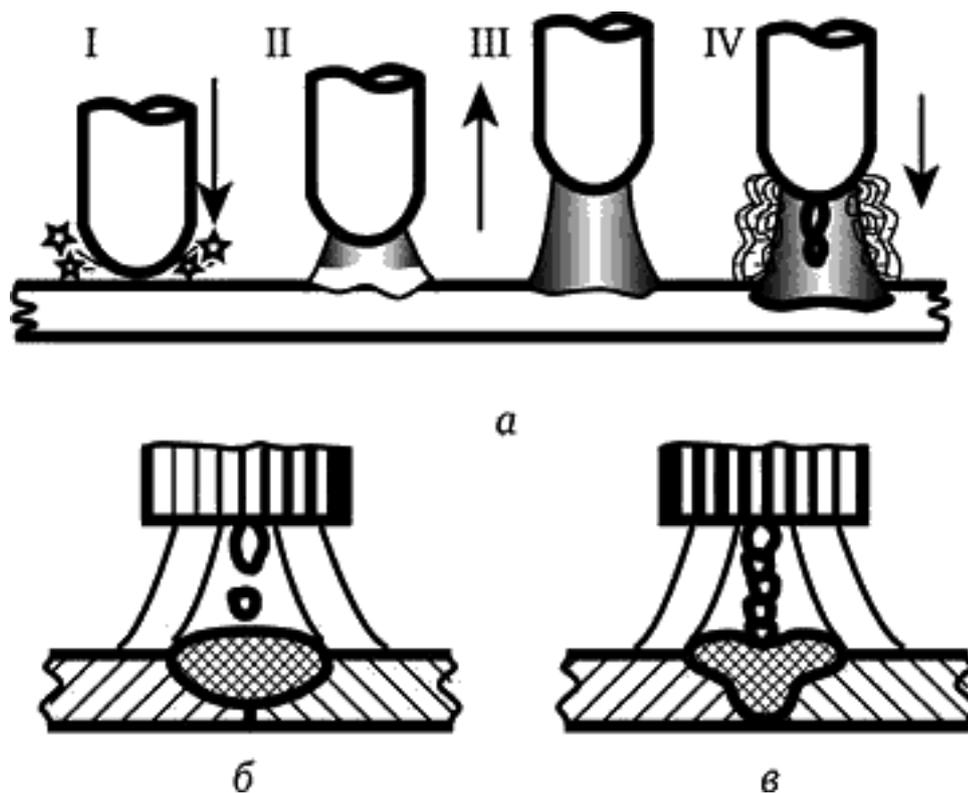


Рис. 14. Расплав и перенос электродного материала:

а – метод короткого замыкания (I – короткое замыкание; II – образование прослойки из жидкого металла; III – образование шейки; IV – возникновение дуги и образование газовой облака вокруг столба дуги); *б* – капельный метод; *в* – струйный метод

Материал электродного покрытия налагает определенные ограничения на выбор полярности. Например, угольный электрод при обратной полярности горит с сильным разогревом и быстро разрушается (на аноде больше тепла). Голая проволока лучше горит при «+» на ней, очень плохо горит, когда на ней «—», и совсем не горит при переменном токе.

Магнитное дутье

При прохождении электрического тока по элементам сварочной цепи, в том числе по свариваемому изделию, создается магнитное поле, напряженность которого зависит от силы сварочного тока. Это магнитное поле сварочного контура может воздействовать на газовый столб электрической дуги.

Нормальная дуга бывает при симметричном относительно нее подводе тока (рис. 15, *а*). В этом случае собственное круговое магнитное поле тока оказывает равномерное воздействие на столб дуги.

При несимметричном относительно дуги подводе тока к изделию вследствие сгущения силовых линий кругового магнитного поля со стороны токопровода происходит отклонение дуги от оси электрода в поперечном или продольном направлении. По внешним признакам это подобно смещению факела открытого пламени при сильных воздушных потоках. При этом затрудняется и сам процесс сварки, нарушается стабильность горения дуги. Такое явление называют магнитным дутьем (рис. 15, *б* – *в*).

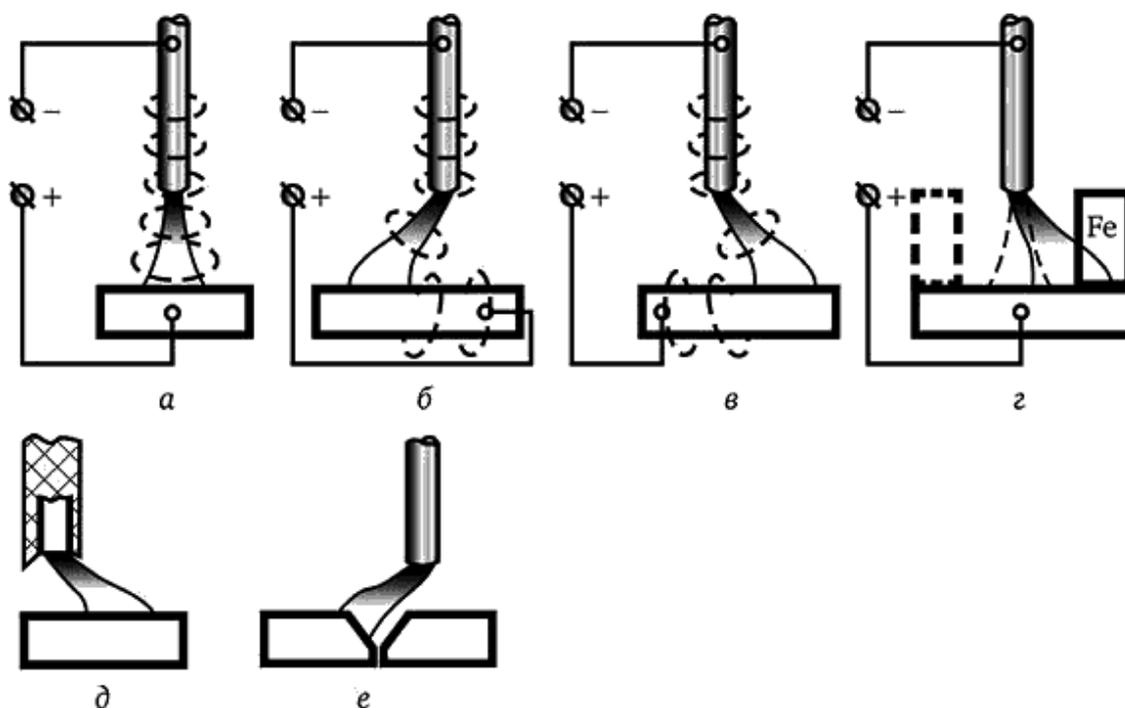


Рис. 15. Магнитное дутье:

a – нормальное положение; *б* – отклонение влево; *в* – отклонение вправо; *г* – действие ферромагнитной массы (пунктиром показана компенсирующая масса); *д* – несимметричность покрытия («козыряние» электрода); *е* – химическая неоднородность свариваемой стали

Массивные сварные изделия (ферромагнитные массы) имеют большую магнитную проницаемость, чем воздух. Поскольку магнитные силовые линии всегда стремятся пройти по среде с меньшим сопротивлением, дуговой разряд, расположенный ближе к ферромагнитной массе, всегда отклоняется в ее сторону (рис. 15, *г*).

Влияние магнитных полей и ферромагнитных масс можно устранить путем изменения места токоподвода и угла наклона электрода, размещения у места сварки компенсирующих ферромагнитных масс, замены постоянного сварочного тока переменным или использования инверторных источников питания.

В качестве компенсирующих ферромагнитных масс на практике часто используют стальную плиту с присоединенным к ней токопроводом, которую укладывают на расстоянии 200–250 мм от места сварки.

На столб сварочной дуги действует также несимметричное магнитное поле, которое создается током, протекающим в изделии; столб дуги при этом будет отклоняться в сторону, противоположную токоподводу.

Отклонение дуги могут вызвать несимметричность покрытия электрода (рис. 15, *д*) и химическая неоднородность свариваемой стали (рис. 15, *е*). На величину отклонения дуги влияет и угол наклона электрода, поэтому для его уменьшения электрод наклоняют в сторону отклонения дуги, а также уменьшают длину дуги.

Нередко при сварке наблюдается блуждание дуги – беспорядочное перемещение сварочной дуги по изделию, обусловливаемое влиянием загрязнения металла, потоков воздуха и магнитных полей. Особенно часто это наблюдается при сварке угольным электродом. Блуждание дуги ухудшает процесс формирования шва, поэтому для его устранения иногда

используют постоянное продольное магнитное поле, создаваемое соленоидом, расположенным вокруг электрода.

Образование сварочной ванны

Процесс формирования сварочной ванны, происходящий под действием силы тяжести расплавленного металла P_m , давления сварочной дуги P_d и сил поверхностного натяжения P_n , представлен на рис. 16. Распределение этих сил во многом зависит от расположения сварного шва в пространстве. При нижнем расположении шва и при сквозном проплавлении жидкий металл удерживается в ванне силами поверхностного натяжения, которые уравнивают силу тяжести P_m и давление, оказываемое на ванну источником теплоты P_d , т. е. $P_n = P_d + P_m$. Если это равновесие сил нарушается, то может произойти разрыв поверхностного слоя и металл вытечет из ванны, образуя прожог. В реальных условиях, когда сварочная ванна перемещается вдоль шва, могут возникать дополнительные силы гидродинамического характера, перемещающие расплавленный металл в хвостовую часть ванны. Для того чтобы уравновесить все эти силы, удерживающие жидкий металл в объеме ванны, приходится принимать дополнительные меры: сварку на подкладках или других удерживающих приспособлениях. Особенно велико значение таких мер при вертикальном и потолочном расположении шва.

Формирование вертикального шва может происходить по двум направлениям – снизу вверх и сверху вниз. Когда шов формируют снизу вверх, т. е. сварка выполняется на подъем, жидкий металл удерживается в ванне только силами поверхностного натяжения; при сварке сверху вниз к этим силам добавляется давление дуги.

Горизонтальный шов на вертикальной плоскости имеет свои особенности. При неправильно выбранных режимах сварки жидкий металл может концентрироваться на нижней плоскости шва, нарушая симметрию (с образованием подрезов и наплывов), что в конечном итоге снижает прочность сварки.

При потолочной сварке силы, действующие на жидкую фазу металла, должны не только удерживать ее от стекания вниз, но и перемещать электродный металл в направлении, противоположном силам тяжести. Во всех указанных случаях следует ограничить размеры сварочной ванны и тепловую мощность дуги.

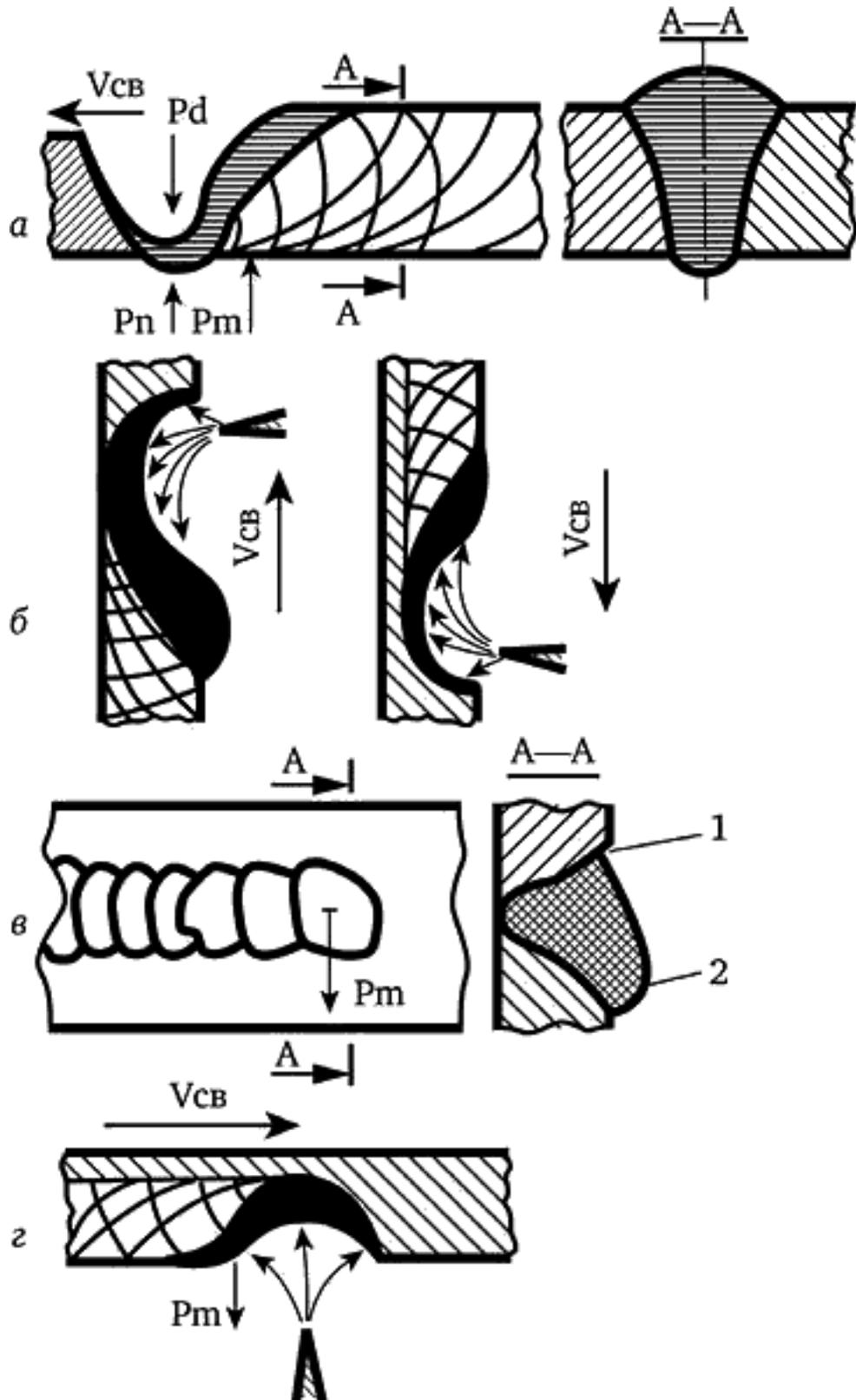


Рис. 16. Силы, действующие в сварочной ванне, и формирование шва:
 а – нижнее положение; б – вертикальное; в – горизонтальное; з – потолочное; $V_{св}$ –
 направление сварки; 1 – подрез; 2 – наплыв

Газы для защиты сварочной ванны

Защита плавящегося металла и расплавленной сварочной ванны от вредного воздействия окружающего воздуха при дуговой сварке является одной из главных задач обеспечения определенного качества шва. Такая защита обеспечивается истекающей из сопла горелки направленной струей защитного газа. Широко применяют в качестве защитных инертные (аргон, гелий) и активные (углекислый газ и азот) газы, а также их смеси.

Аргон – при обычных условиях бесцветный, неядовитый, невзрывоопасный газ без запаха и вкуса (может накапливаться в слабопрветриваемых помещениях у пола и в прямках; при этом снижается содержание кислорода в воздухе, что приводит к кислородной недостаточности, а при значительном понижении содержания кислорода – к удушью, потере сознания и смерти человека). С большинством элементов аргон не образует химических соединений. В металлах как в жидком, так и в твердом состоянии аргон нерастворим.

Идея защиты переплавляемого дугой металла от воздействия воздуха путем подачи в зону сварки специально подобранного газа принадлежит русскому изобретателю Н. Н. Бенардосу, предложившему еще в 1883 г. сварку в струе газа.

Промышленность выпускает жидкий и газообразный аргон двух сортов в соответствии с ГОСТ 10157–79: высший (объемная доля аргона не менее 99,993 %) и первый (объемная доля аргона не менее 99,987 %). Газообразный аргон хранят и транспортируют в стальных 40-литровых баллонах под давлением 150 кг/см^2 (15 МПа). Объем газообразного аргона можно приблизительно определять как произведение вместимости баллона на давление газа в баллоне. Баллон для аргона окрашен в серый цвет, надпись зеленого цвета. Иногда используют жидкий аргон, который подвергают газификации. Жидкий аргон – бесцветная жидкость без запаха с температурой кипения при атмосферном давлении $-185,7 \text{ }^\circ\text{C}$ и плотностью $1,784 \text{ кг/м}^3$; хранится в сосудах Дьюара. Газообразный аргон в 1,4 раза тяжелее воздуха, поэтому его струя надежно и длительно удерживается в зоне сварки и хорошо защищает сварочную ванну. Плотность газообразного аргона – $1,662 \text{ кг/м}^3$ при нормальных условиях. Расход аргона при сварке зависит от диаметра электрода и обычно составляет от 100 до 500 л/ч.

Гелий не имеет цвета и запаха, плотность $0,18 \text{ кг/м}^3$, т. е. в 10 раз легче аргона. Газ неядовит, хорошо диффундирует через твердые тела (гелиевые течеискатели используются при проверке плотности швов), значительно легче воздуха и аргона. Не образует химических соединений с большинством элементов.

В соответствии с ТУ 0271–135–31323949–2005 промышленностью поставляется гелий для сварки двух марок: А и Б. Условия поставки регламентируются ГОСТ 20461–75. Чаще всего транспортируют и хранят гелий в газообразном состоянии в стальных баллонах под давлением 15 МПа (150 кг/см^2).

Стоимость гелия значительно выше, чем аргона, поэтому для сварки он применяется редко, обычно в виде добавки к аргону. Благодаря высокому значению потенциала ионизации, что повышает проплавление, гелий применяют в тех случаях, когда требуется получить большую глубину проплавления или специальную форму шва, а также при сварке сплавов на основе алюминия и магния, химически чистых и активных материалов и сплавов.

Баллоны для гелия окрашены в коричневый цвет, имеют белую надпись «Гелий». Расход гелия на 1 м шва на 50 % больше, чем аргона, при сварочном токе 300 А он составляет примерно от 200 до 900 л/ч, так как этот газ в 10 раз легче аргона и быстро улетучивается

из зоны сварки в атмосферу, поэтому для поддержания надежной защиты сварочной ванны необходимо увеличивать подачу (расход) гелия.

Азот – бесцветный газ, не имеющий запаха и вкуса, нетоксичен и не взрывоопасен. Он немного легче воздуха, плотность $1,2506 \text{ кг/м}^3$ при нормальных условиях (температура $0 \text{ }^\circ\text{C}$, атмосферное давление 101325 Па). Температура кипения $-195,8 \text{ }^\circ\text{C}$, критическая температура $-148,15 \text{ }^\circ\text{C}$, критическое давление – $3,39 \text{ МПа}$ ($33,9 \text{ кг/см}^2$). По отношению к стали и другим металлам азот является активным газом, часто вредным, и его концентрацию в зоне сварки стремятся ограничить. По отношению к меди и ее сплавам является инертным газом и применяется для сварки и наплавки, а также для плазменной резки. Например, вибродуговая наплавка бронзовой проволокой КМЦ3–1 на стальную поверхность поршней и штоков выполняется в защитной среде азота. Он поставляется в газообразном состоянии в соответствии с ГОСТ 9293–74 «Азот газообразный и жидкий. Технические условия» следующих сортов (объемная доля азота в %, не менее): газообразный и жидкий азот особой чистоты (1-й сорт – 99,999; 2-й сорт – 99,996), повышенной чистоты (1-й сорт – 99,99, 2-й сорт – 99,95), технический (1-й сорт – 99,6, 2-й сорт – 99,0). Хранится в газообразном состоянии в стальных 40-литровых баллонах под давлением 15 МПа (150 кг/см^2).

Углекислый газ, или двуокись углерода (CO_2), высший оксид углерода, может находиться в газообразном, сжиженном и твердом (в виде сухого льда) состоянии. Он бесцветен и неядовит, но при концентрации более 5 % (92 г/м^3) отрицательно влияет на здоровье человека. Имеет слабый кисловатый запах и вкус, хорошо растворяется в воде и придает ей кислый вкус; хорошо растворяет машинное масло. Плотность при атмосферном давлении и $20 \text{ }^\circ\text{C}$ – $1,98 \text{ кг/м}^3$; температура сжижения при атмосферном давлении – $78,5 \text{ }^\circ\text{C}$; выход газа из 1 кг жидкой угольной кислоты при нормальных условиях – 509 литров.

Углекислый газ тяжелее воздуха в 1,6 раза. Вступает в химические реакции (взаимодействия) с расплавленным металлом ванны и растворяется в нем. Окисление металла шва нейтрализуется раскислителями, содержащимися в проволоке.

Двуокись углерода определяют и продают по массе. Жидкая двуокись углерода превращается в газ при подводе к ней теплоты. При чрезмерно быстром отборе газа, понижении давления в баллоне и недостатке теплоты угольная кислота охлаждается, скорость ее испарения снижается.

В состав двуокиси углерода, согласно ГОСТ 8050–85, входит еще водяной пар в количестве не более $0,037 \text{ г/м}^3$ для высшего сорта и не более $0,184 \text{ г/м}^3$ для 1-го сорта (в 5 раз больше). Содержание водяных паров в двуокиси углерода 2-го сорта не нормируется. Об этом нужно помнить при сварке швов высокого качества, применяя для уменьшения влаги силикагелевые осушители⁸.

Транспортируется и хранится угольная кислота в стальных 40-литровых баллонах под давлением от 60 до 70 кг/см^2 . В такой баллон вмещается 25 кг жидкой угольной кислоты, занимающей неполный объем (до 80 %) баллона, остальной объем занят испарившимся газом. Объем газообразного CO_2 в баллоне составляет около 13 м^3 . Цвет баллона черный, надпись желтого цвета.

Достоинства сварки в защитных газах: визуальный контроль процесса, широкий диапазон рабочих режимов сварки, сварка широкой номенклатуры металлов, в том числе цветных и их сплавов, доступность механизации процесса, улучшение гигиени-

⁸ Силикагель – гигроскопическое вещество, представляющее собой специально обработанную окись кремния (кварцевый песок).

ческих условий труда сварщиков. Сварка может вестись с дополнительной подачей присадочной проволоки в зону дуги при сварке неплавящимся вольфрамовым электродом.

Смеси газов нередко применяются в производстве для получения швов повышенного качества. В ряде случаев они обладают лучшими технологическими свойствами, чем остальные газы. Смесь CO_2 и O_2 (2–5 %) обеспечивает мелкокапельный перенос металла, уменьшает разбрызгивание на 30 % и улучшает формирование шва.

Смесь 70 % гелия и 30 % аргона повышает производительность сварки алюминия, увеличивает глубину проплавления, улучшает формирование шва. Смесь газов аргона (88 %) и CO_2 (12 %) повышает стабильность дуги при сварке стали, заметно уменьшает и измельчает разбрызгивание металла, улучшает формирование шва за счет существенного снижения поверхностного натяжения жидкого металла из электродной проволоки. Благодаря добавке окислительного газа улучшаются форма и глубина провара, уменьшается количество брызг. При увеличении CO_2 до 25–30 % стабильность процесса заметно снижается, а при содержании CO_2 до 40–50 % сварка в смеси с аргоном практически мало отличается по электрофизическим характеристикам от сварки в чистом CO_2 .

Оборудование для дуговой сварки

Основным оборудованием для ручной электродуговой сварки являются сварочные аппараты (источники сварочного тока), сварочные электроды, электрододержатели и сварочные кабели, а также защитный щиток со светофильтром. Кроме того, понадобятся защитная одежда, асбестовый лист, а также необходимые слесарные инструменты.

Небольшие по объему сварочные работы удобно проводить на сварочном столе высотой около 0,6 м, изготовленном из листовой стали.

Источники сварочного тока

Источники тока для электросварки разделяются на две большие группы по виду получаемого от них тока: источники переменного тока и источники постоянного тока.

К первым относятся сварочные трансформаторы и резонансные источники сварочного тока. Ко вторым – сварочные выпрямители и сварочные генераторы.

Важнейшие свойства как сварочной дуги, так и источников сварочного тока описывают их вольт-амперные характеристики (ВАХ), которые показывают зависимость между установившимися значениями тока и напряжения дуги и могут быть падающими, жесткими и возрастающими (рис. 17, а). ВАХ имеет три области.

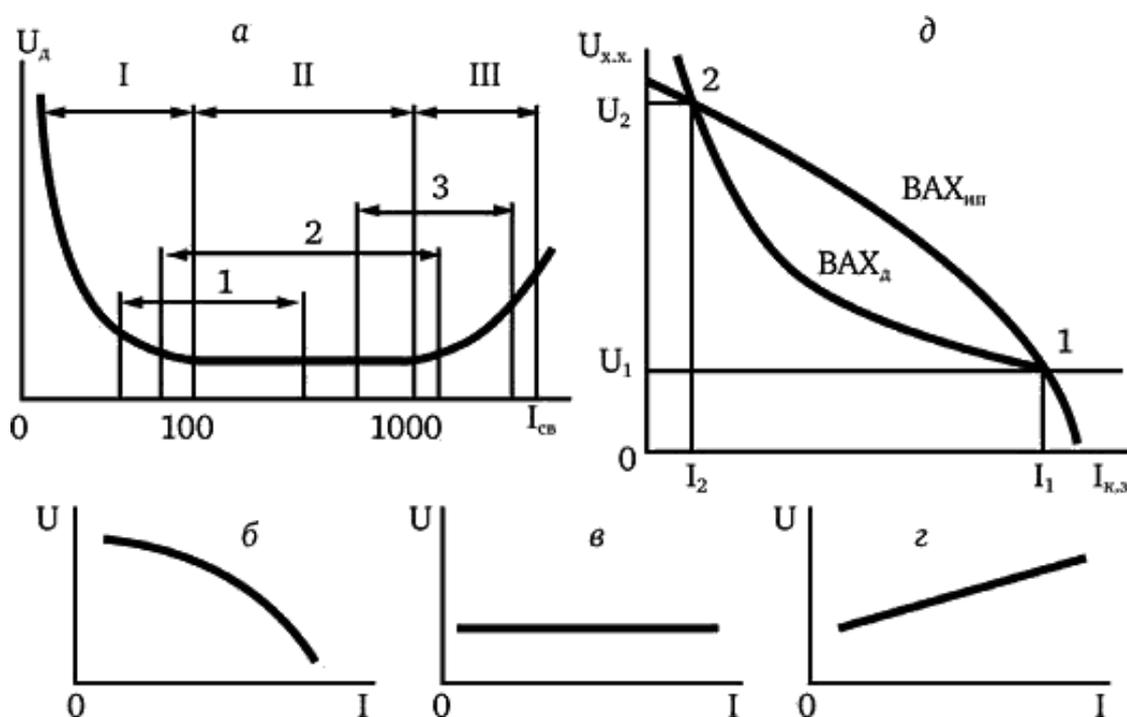


Рис. 17. Вольт-амперные характеристики процесса дуговой сварки:

а – статическая характеристика сварочной дуги (I – участок падающей характеристики; II – участок жесткой характеристики; III – участок возрастающей характеристики; 1, 2, 3 – участки характеристики при различных способах сварки); ВАХ источников питания сварочной дуги (б – падающая; в – жесткая; з – возрастающая); д – совмещенные ВАХ источника питания и сварочной дуги ($BAH_{пит}$ – ВАХ источника питания; $BAH_{д}$ – ВАХ дуги; $U_{х.х.}$ – напряжение холостого хода; $I_{к.з.}$ – ток короткого замыкания)

Первая область (I) характеризуется резким падением напряжения U_d на дуге с увеличением тока сварки $I_{св}$. Такая характеристика называется падающей и вызвана тем, что при увеличении тока сварки происходит увеличение площади, а следовательно, и электропроводности столба дуги.

Во второй области (II) характеристики увеличение тока сварки не вызывает изменения напряжения дуги. Характеристика дуги на этом участке называется жесткой. Ее положение на этом участке происходит за счет увеличения сечения столба дуги, анодного и катодного пятен пропорционально величине сварочного тока. При этом плотность тока и падение напряжения на протяжении всего участка не зависят от изменения тока и остаются почти постоянными.

В третьей области (III) с увеличением сварочного тока возрастает напряжение на дуге. Такая характеристика называется возрастающей. При работе на этой характеристике плотность тока на электроде увеличивается без увеличения катодного пятна, при этом возрастает сопротивление столба дуги и напряжение на дуге увеличивается.

Устойчивое горение сварочной дуги возможно только в том случае, когда ее источник питания поддерживает постоянным необходимое напряжение при протекании тока по сварочной цепи.

Для стабильного горения сварочной дуги необходимо равенство между напряжениями и токами дуги (U_d и I_d) и источника питания ($U_{ип}$ и $I_{ип}$). Участки 1, 2, 3 характеристики (рис. 17, а) соответствуют статическим характеристикам источников питания (рис. 17, б – г), применяемых при различных способах сварки:

- 1 (падающая) – ручная дуговая сварка штучными электродами;
- 2 (жесткая) – автоматическая, полуавтоматическая сварка под флюсом, электрошлаковая сварка толстой электродной проволокой диаметром более 2,5 мм на малых и средних плотностях тока;
- 3 (возрастающая) – сварка под флюсом и в среде защитных газов тонкой электродной проволокой на больших плотностях тока.

Работу сварочной цепи и дуги нужно рассматривать при наложении статической ВАХ сварочной дуги на статическую ВАХ источника питания (называемую также внешней характеристикой источника питания). При этом напряжение и ток источника питания и дуги совпадают в точках 1 и 2 (рис. 17, д). Устойчивому горению сварочной дуги соответствует только точка 1.

При уменьшении тока дуги напряжение источника станет больше напряжения на дуге, так как на характеристике источника питания рабочая точка сместится влево, избыток напряжения источника питания приведет к увеличению тока дуги, т. е. к возврату процесса в точку 1. Если ток дуги увеличится, то напряжение источника снизится согласно внешней характеристике источника питания и станет меньше напряжения дуги, ток дуги уменьшится, режим дуги восстановится.

Точка 2 соответствует неустойчивому горению дуги, так как случайное изменение тока дуги происходит вплоть до обрыва дуги или до тех пор, пока ток не достигнет значения, соответствующего значению тока в точке 1 устойчивого горения дуги. Поэтому устойчивое горение дуги поддерживается только в той точке пересечения характеристик источника и дуги, где внешняя характеристика источника питания является более круто падающей, чем статическая характеристика дуги.

Ручная электросварка обычно сопровождается значительными колебаниями длины дуги. При этом дуга должна гореть устойчиво, а ток дуги не должен сильно изменяться.

Часто требуется увеличить длину дуги, поэтому дуга должна иметь достаточный запас эластичности при удлинении, т. е. не обрываться.

Статическая характеристика сварочной дуги при ручной сварке обычно является жесткой, и отклонение тока при изменении длины дуги зависит только от типа внешней характеристики источника питания. При прочих равных условиях эластичность дуги тем выше, а отклонение тока дуги тем меньше, чем больше наклон внешней характеристики источника питания. Поэтому для ручной электросварки применяются источники питания с падающими внешними характеристиками. Это дает возможность сварщику удлинять дугу, не опасаясь ее обрыва, или уменьшать длину дуги без чрезмерного увеличения тока.

Высокую устойчивость горения дуги и ее эластичность, стабильный режим сварки, надежное первоначальное и повторное зажигание дуги обеспечивают также повышенное напряжение холостого хода, ограниченный ток короткого замыкания. Ограничение этого тока очень важно, так как при переходе капли расплавленного металла электрода на изделие возможно короткое замыкание. При больших значениях тока короткого замыкания происходят прожоги металла, прилипание электрода, осыпание покрытия электрода и разбрызгивание расплавленного металла. Обычно значение тока короткого замыкания больше тока дуги в 1,2–1,5 раза.

Основными данными технических характеристик источников питания сварочной дуги являются напряжение холостого хода⁹, номинальный сварочный ток¹⁰, пределы регулирования сварочного тока.

Значения тока и напряжения на дуге в процессе сварки непрерывно меняются. Капли расплавленного металла замыкают дуговой промежуток, периодически изменяя силу тока и длину дуги. Происходит переход от холостого хода к короткому замыканию, затем к горению дуги с образованием капли расплавленного металла, которая вновь замыкает дуговой промежуток. При этом ток возрастает до величины тока короткого замыкания, что приводит к сжатию и перегоранию мостика между каплей и электродом. Напряжение возрастает, дуга вновь возбуждается, и процесс периодически повторяется.

Такие изменения тока и напряжения на дуге происходят в доли секунды, поэтому источник питания сварочной дуги должен обладать высокими динамическими свойствами, т. е. быстро реагировать на все изменения в дуге.

Виды сварочных аппаратов

Сварочное оборудование бывает нескольких видов: генераторы (агрегаты), трансформаторы, полуавтоматы, сварочные выпрямители, инверторы. Каждый из этих аппаратов обладает плюсами и минусами.

Сварочными генераторами называют сложные электромеханические устройства, которые сами вырабатывают электричество и поэтому могут использоваться на неэлектрифицированных объектах: в строящемся доме, гараже, на только что купленном дачном участке. Главный их недостаток – большие размеры, огромный вес и трудоемкость обслуживания. К тому же они весьма недешевы.

Сварочные трансформаторы переменного тока, пожалуй, наиболее простые, недорогие и распространенные из всех видов сварочных аппаратов. Как и большинство остальных бытовых сварочных аппаратов, они используют плавящиеся электроды.

⁹ Напряжение холостого хода источника сварочного тока – напряжение между его выходными зажимами в момент, когда внешняя сварочная цепь разомкнута.

¹⁰ Номинальный сварочный ток – ток источника сварочного тока в режиме стандартной нагрузки при соответствующем номинальном (стандартном) напряжении нагрузки.

Применяются такие сварочные аппараты, как правило, для сварки низколегированных сталей. Качественно изготовленный трансформатор исключительно надежен и не требует специального обслуживания. Но сварка на переменном токе отличается невысоким качеством и требует определенных навыков от сварщика. Регулировка силы тока довольно неудобна – осуществляется перемещением сердечника рассеяния, отведением обмоток на первичной стороне либо с помощью магнитного усилителя (трансдуктора)¹¹.

Это, в свою очередь, увеличивает и утяжеляет сварочные трансформаторы, и без того обладающие немалыми габаритами и весом.

Косвенно судить о ВАХ сварочного аппарата можно по паспортным данным. А именно, зная напряжения холостого хода и номинальное, а также номинальный (рабочий) ток и ток короткого замыкания, можно достаточно точно оценить ее крутизну. При неудовлетворительных параметрах крутизну ВАХ можно увеличить включением в сварочную цепь балластного сопротивления, но все же лучше, если аппарат в этом не нуждается.

Сварочные выпрямители представляют собой те же трансформаторы переменного тока, оснащенные выпрямительным блоком и иногда регулирующим устройством. Более сложное устройство потребляет больше электроэнергии и намного тяжелее. Зато постоянный ток обеспечивает более качественную и комфортную работу. Достоинствами сварочных выпрямителей являются, кроме того, возможность сваривать не только черные, но и цветные металлы и сплавы, а также меньшая стоимость по сравнению с более сложными аппаратами.

Иногда полученный на выходе выпрямителя ток имеет слишком большой коэффициент пульсации и плохо поддерживает дугу на постоянном токе. Тогда применяют еще и сглаживающий дроссель, а он по массе может быть сравним с трансформатором (самой тяжелой частью).

Сварочные полуавтоматы тоже выполнены на базе трансформаторов. Их особенностью является то, что сварка осуществляется не электродами, а специальной проволокой в газовой среде (обычно применяется аргон или углекислый газ). Есть модели, которые позволяют работать и без газа, для чего используется специальная флюсовая проволока. Такие аппараты позволяют варить сталь, в том числе нержавейку, а также алюминий. Свариваемый металл определяет материал проволоки и используемый газ: для железа лучше всего подойдет углекислый газ, для алюминия – аргон.

Сварочная проволока по шлангу автоматически подается в сварочную горелку, обеспечивая ровный, хорошо защищенный от коррозии шов. Такая сварка получила широкое распространение в ремонте автомобилей. Недостатками полуавтоматов можно считать большой вес и габариты, высокую цену и сложную конструкцию, включающую роликовый механизм подачи проволоки. Кроме того, для сварки требуется наличие баллона с газом. Номинальный срок службы сварочных полуавтоматов – 5 лет со сменой сварочной горелки через каждые полгода.

Сварочные инверторы, пожалуй, наиболее популярная сегодня категория сварочных аппаратов. Принцип работы инвертора таков: переменный ток от потребительской сети частотой 50 Гц выпрямляется и сглаживается фильтром. Полученный постоянный ток преобразуется инвертором снова в переменный, но уже высокой частоты (до 100 кГц). Затем высокое переменное напряжение высокой частоты понижается до 70–90 В, а сила тока соот-

¹¹ Магнитный усилитель (трансдуктор) – это электромагнитное устройство, работа которого основана на использовании нелинейных магнитных свойств ферромагнитных материалов, предназначенное для усиления или преобразования электрических сигналов.

ветственно повышается до необходимых для сварки 100–200 А. Высокая частота сварочного тока позволяет добиться значительных преимуществ сварочного инвертора перед другими источниками питания сварочной дуги: малых габаритов и веса, высокого КПД источника питания (порядка 90 %). Дуга в данном случае получается очень устойчивой, сварной шов выходит гораздо ровнее, чем у моделей трансформаторного типа.

Современные инверторы, наряду с постоянным током, выдают также переменный ток, причем как синусоидальными, так и прямоугольными импульсами. Электроды, например, с исключительно основным покрытием, которые не позволяют вести сварку синусоидальным переменным током, успешно расплавляются при подаче прямоугольного переменного тока. Такая необходимость может возникнуть при наличии неблагоприятных условий дутья.

Электронное управление инвертором позволяет за микросекунды подрегулировать параметры сварочного тока, ограничить ток короткого замыкания и улучшить $\cos \phi$. Если, например, напряжение электрической дуги из-за большой капли, образовавшейся на электроде, становится слишком коротким и падает ниже 8 В, сила тока автоматически повышается. Это может помочь электрической дуге освободиться и не погаснуть. Такая функция особенно важна при сварке электродами с целлюлозным, а также с основным покрытием.

Простые сварочные трансформаторы подключаются к одно- или двухфазной потребительской электросети, более мощные аппараты – трехфазно ко всем трем фазам сети трехфазного тока. В последнем случае можно получить весьма равномерный ток без большой пульсации. Однородность тока особенно важна при сварке основными электродами и сварке металлических сплавов, например никелевых.

Ширину электрической дуги, а значит, и ее жесткость можно плавно изменять регулируемым дросселем. Более жесткая дуга требуется, например, при наличии неблагоприятных условий дутья.

За надежным зажиганием дуги и достаточным прогревом на еще холодном основном материале в начале сварки следит функция «Горячий пуск» (Hotstart). Зажигание при этом производится с повышенной силой тока.

Функция Antistick препятствует прокаливанию электрода, когда зажигание заканчивается неудачей и электрод прилипает к изделию. Если после зажигания не происходит нарастания напряжения, ток немедленно снижается до нескольких ампер. После этого электрод можно легко отделить от металла.

Есть у инверторов и недостатки: прежде всего высокая стоимость по сравнению с другими типами сварочных аппаратов, а также требовательность к качеству питания – при скачках или просадках напряжения, что в нашей действительности случается довольно часто, инвертор может быстро выйти из строя. Эти аппараты боятся пыли, поэтому производители рекомендуют хотя бы два раза в год чистить аппарат изнутри. Инверторы не любят мороза, и при температуре ниже $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ их эксплуатация не всегда возможна. Ремонтопригодность такого оборудования весьма низкая – сложная электронная схема не поддается неспециалисту, настройка ее требует специального измерительного оборудования, а стоимость ремонта в мастерской составит как минимум треть цены всего аппарата. Особенно страдают подобным поведением недорогие инверторы родом из азиатских стран. Более надежные аппараты солидных торговых марок стоят существенно дороже. И еще одна особенность: длина каждого из сварочных кабелей инвертора не должна превышать 2,5 метра.

При выборе того или иного аппарата следует учитывать также следующие соображения.

Все сварочные аппараты обладают такой характеристикой, как ПВ – продолжительность включения, или ПН – процент времени непрерывной работы при определенном токе.

Это показатель времени непрерывного горения дуги, которое может обеспечить конкретная модель сварочного оборудования в течение условного 10-минутного цикла. Например, в паспорте указано, что для тока 160 А ПВ = 30 %. Это означает, что аппарат будет работать 3 минуты (10 мин Ч 30 %), а на 7 минут придется сделать перерыв. Поэтому не следует покупать аппарат с номинальным током 120 А и ПВ, равной 20 %, который перегреется через один-два электрода. К тому же многие производители занижают условия измерений, например понижают температуру окружающей среды или берут пятиминутный интервал. В результате аппарат либо не обеспечивает нужный ток, либо работает с перегрузкой, перегревается и выходит из строя. Всегда необходимо иметь запас по току (мощности), поэтому оптимальные параметры аппарата для большинства бытовых работ – 160 А и ПВ не менее 40 %. Если необходимо работать длительное время, нужно приобретать сварочный аппарат с еще более высокой ПВ.

Большинство моделей сварочных аппаратов работают при напряжении в пределах $220 \text{ В} \pm 10 \%$, т. е. от 198 до 242 В. Некоторые модели устойчиво работают при падении напряжения до 20 % (176 В). Это имеет большое значение для районов с пониженным напряжением в сети. Кроме того, следует уточнить электропитание на территории, где предстоит работать: однофазное (220 В) или трехфазное (380 В).

В частном секторе соседи, у которых подвод электричества чаще всего осуществляется разными фазами, могут скооперироваться и приобрести трехфазный сварочный источник. Плата за электроэнергию и нагрузка на сеть в этом случае будут распределяться поровну, качество сварки возрастет, а специально подключать трехфазное электроснабжение (что весьма хлопотно и недешево) при этом не нужно.

В зависимости от вида и толщины металла, с которым придется работать, определяются вид и мощность сварочного аппарата (и, соответственно, его стоимость). Если предстоит работать на высоте, постоянно перемещать сварочный аппарат, лучше всего приобретать компактные переносные модели: ими можно пользоваться и в квартире, и на даче, и в гараже. Если все это не важно, лучше выбрать аппарат с большим количеством возможностей.

Электроды для дуговой сварки

Для ручной дуговой сварки сталей широко применяются плавящиеся металлические электроды в виде стержней длиной до 450 мм из сварочной проволоки с нанесенным на них слоем покрытия. Один из концов электрода на 20–30 мм освобожден от покрытия для зажатия его в электрододержателе с надежностью электрического контакта. Торец другого конца очищен от покрытия для возможности возбуждения дуги посредством касания изделия в начале процесса сварки.

В покрытие электрода входят следующие компоненты:

- газообразующие – неорганические вещества (мрамор CaCO_3 , магнезит MgCO_3) и органические вещества (крахмал, декстрин);
- ионизирующие или стабилизирующие – различные соединения, в состав которых входят калий, натрий, кальций (мел, полевой шпат, гранит и др.);
- шлакообразующие, составляющие основу покрытия, – обычно руды (марганцевая, титановая), минералы (ильменитовый и рутиловый концентраты, полевой шпат, кремнезем, гранит, плавиковый шпат и др.);
- легирующие элементы и элементы-раскислители – кремний, марганец, титан и др., используемые в виде сплавов этих элементов с железом, так называемые ферросплавы;

- связующие компоненты – водные растворы силикатов натрия и калия, называемые жидким стеклом.

Для повышения производительности сварки в покрытия добавляют железный порошок до 60 % массы покрытия.

По виду покрытия различают электроды с кислым покрытием (А), основным (Б), целлюлозным (Ц), рутиловым (Р) и смешанного вида. Электроды с покрытием смешанного вида имеют соответствующее двойное условное обозначение: кисло-рутиловое – АР, рутилово-основное – РБ, рутилово-целлюлозное – РЦ. Прочие виды покрытия обозначаются буквой П. При наличии в составе покрытия железного порошка в количестве более 20 % к обозначению вида покрытия электродов следует добавлять букву Ж.

Кислые покрытия (электроды АНО-2, СМ-5 и др.) состоят в основном из оксидов железа и марганца (руды), кремнезема, ферромарганца. Они технологичны, однако наличие оксидов марганца делает их токсичными.

Основные покрытия, имеющие в качестве основы фтористый кальций и карбонат кальция (электроды УОНИИ-13/45, ОЗС-2, ДСК-50 и др.), не содержат оксидов железа и марганца. Сварку электродами с основным покрытием осуществляют на постоянном токе и обратной полярности. Вследствие малой склонности металла к образованию кристаллизационных и холодных трещин электроды с этим покрытием используют для сварки больших сечений.

Рутиловые покрытия (электроды АНО-3, АНО-4, ОЗС-3, ОЗС-4, ОЗС-6 и др.) имеют в своем составе преобладающее количество рутила TiO_2 . Такие покрытия менее других вредны для дыхательных органов сварщика. Для шлаковой и газовой защиты в покрытия этого типа вводят соответствующие минеральные и органические компоненты. При сварке на постоянном и переменном токе разбрызгивание металла незначительно. Устойчивость горения дуги, формирование швов во всех пространственных положениях хорошее.

Целлюлозные покрытия (электроды ВСЦ-1, ВСЦ-2, ОЗЦ-1 и др.) имеют в качестве основы целлюлозу, муку, органические смолы, ферросплавы, тальк или другие органические составы, создающие газовую защиту дуги и образующие при плавлении тонкий шлак. Эти покрытия удобны для сварки в любом положении в пространстве, но дают наплавленный металл пониженной пластичности. Электроды с целлюлозным покрытием применяют, как правило, для сварки стали малой толщины.

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

- с тонким покрытием ($D/d \leq 1,20$) – М;
- со средним покрытием ($1,20 < D/d \leq 1,45$) – С;
- с толстым покрытием ($1,45 < D/d \leq 1,80$) – Д;
- с особо толстым покрытием ($D/d > 1,80$) – Г.

Различают электроды для сварки переменным и постоянным током прямой и обратной полярности. Покрытые электроды выпускают диаметром металлического стержня от 1,6 до 12 мм и длиной от 150 до 450 мм. Условное обозначение типа электрода расшифровывается следующим образом: буква Э – электрод, стоящее за ней число – временное сопротивление на разрыв металла шва (так, электроды типа Э46 марок ОЗС-4, АНО-3 должны обеспечить временное сопротивление не менее 451 МПа (46 кгс/мм^2)). Буквы и цифры, входящие в обозначение типов покрытых электродов для сварки легированных сталей, показывают примерный химический состав наплавленного металла (Э-09Х1МФ, Э-12Х13). Для каждого типа покрытых электродов разработана одна или несколько марок, характеризующихся маркой сварочной проволоки, составом покрытия, химическим составом и свойствами металла шва и др.

Кроме плавящихся покрытых электродов для ручной дуговой и механизированной видов сварки в защитных газах, применяют неплавящиеся вольфрамовые, реже угольные и графитовые электроды. Эти электроды служат для возбуждения и поддержания горения дуги. Для повышения устойчивости горения дуги и стойкости вольфрамовых электродов в них вводят 1,5–3 % активирующих присадок (двуокиси тория, окисей лантана и иттрия), повышающих эмиссионную способность электрода.

Вольфрамовые электроды выпускают в виде прутков диаметром 0,5; 1,0; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0 и 10,0 мм. В зависимости от химического состава электроды изготавливают следующих марок: ЭВЧ – из вольфрама чистого, ЭВЛ – из вольфрама с присадкой оксида лантана, ЭВИ – из вольфрама с присадкой оксида иттрия, ЭВТ – оксида тория. Цифры в марке вольфрамового электрода указывают количество активирующей присадки в десятых долях процента. Угольные и графитовые электроды (стержни) изготавливают из электротехнического угля или синтетического графита диаметром от 4 до 18 мм и длиной от 250 до 700 миллиметров.

Условные обозначения электродов для ручной дуговой сварки. Согласно ГОСТ 9466–75, условное обозначение электродов для дуговой сварки и наплавки сталей представляет собой длинную дробь, например:

$$\frac{\text{Э46А – УОНИИ – 13/45 – 3,0 – УД2}}{\text{Е432(5) – Б10}}$$

В числителе записан тип электрода Э46А, его марка УОНИИ-13/45, диаметр 3,0 мм и группа из двух букв и цифры УД2. Типы электродов для ручной дуговой сварки углеродистых, низколегированных, конструкционных и других сталей обозначаются буквой Э, затем следуют цифры, указывающие прочностную характеристику наплавленного металла. Так, первая группа (Э46) говорит о том, что электроды этого типа обеспечивают минимальное временное сопротивление 460 МПа. Иными словами, она показывает, какую нагрузку сможет узел выдержать после сварки данным электродом, а именно – 46 кг на 1 мм².

Если в обозначении после цифр стоит буква А, значит, этот тип электрода обеспечивает более высокие пластические свойства наплавленного металла. Для сварки вышеуказанных сталей предусмотрены 14 типов электродов (табл. 1)¹², в которых определены основные механические свойства и содержание вредных примесей (серы и фосфора).

Первая буква последней группы числителя (У) указывает назначение электрода (т. е. для сварки углеродистых и низколегированных сталей, см. ниже), вторая (Д) – толщину покрытия (см. выше), цифра (2) – группу электродов по качеству изготовления.

Шифр буквы назначения электродов:

У – для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву $\sigma_B < 600$ МПа (60 кгс/мм²);

Л – для сварки легированных конструкционных сталей с $\sigma_B > 600$ МПа (60 кгс/мм²);

Т – для сварки легированных теплоустойчивых сталей;

В – для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами;

Н – для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами.

По качеству электроды делят на три группы 1, 2 и 3, где требования возрастают от группы 1 к группе 3.

¹² Справочные материалы (таблицы) размещаются в разделе «Приложения» в конце книги.

В знаменателе приведены буква Е (электрод), группа индексов 412(5), указывающих характеристики наплавленного металла и металла шва (по ГОСТ 9467–75, ГОСТ 10051–75 или ГОСТ 10052–75) и группа из одной буквы и двух цифр (Б10). Буква Б обозначает вид покрытия, первая цифра (1) – допустимые пространственные положения при сварке, вторая цифра (0) – требование к электропитанию дуги.

Допустимые пространственные положения при сварке или наплавке обозначают следующим образом:

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

По роду и полярности применяемого при сварке или наплавке тока, а также по номинальному напряжению холостого хода источника переменного тока частотой 50 Гц электроды подразделяются в соответствии с табл. 2.

Одному и тому же типу электродов могут соответствовать несколько марок, например: электродам типа Э46 соответствуют марки АНО-4, МР-3 и др.; электродам типа Э42А соответствуют марки УОНИИ-13/45 и СМ-11 (табл. 3).

Такое полное условное обозначение должно быть указано на этикетках или при маркировке коробок, пачек и ящиков с электродами. Во всех видах документации дается сокращенное условное обозначение электродов, которое должно состоять из марки, диаметра, группы электродов и обозначения стандарта (ГОСТ 9466–75).

Маркировка импортных электродов

Согласно DIN EN 499, у электродов для сваривания нелегированных сталей существуют покрытия следующих типов: А – кислое, С – целлюлозное, R – рутиловое, RR – толстое рутиловое, RC – рутилово-целлюлозное, RA – рутилово-кислое, RB – рутиловое основное, В – основное.

При этом следует различать основные и смешанные типы покрытий. Используемые как условные обозначения буквы происходят от английских терминов. Здесь буква С = cellulose (целлюлоза), А = acid (кислый), R = rutile (рутил), В = basic (основной).

В Германии основную роль играет рутил. Покрытие стержневых электродов может быть тонким, средним и толстым. Поскольку покрытие рутиловых электродов может быть любой толщины, для электродов с толстым покрытием было введено отдельное обозначение RR.

У легированных и высоколегированных электродов такого разнообразия покрытий нет. У стержневых электродов для сваривания нержавеющей сталей, которые регламентированы в DIN EN 1600, различают, к примеру, электроды с рутиловым и основным покрытием, как и у электродов для сваривания жаропрочных сталей (DIN EN 1599), однако и в этом случае среди рутиловых электродов есть смешанные рутилово-основные типы, что, впрочем, никак не проявляется в обозначениях. Это относится, например, к электродам, имеющим лучшие свойства при проведении сварочных работ в стесненных условиях.

Стержневые электроды для сваривания высокопрочных сталей (DIN EN 757) выпускаются только с основным покрытием.

Свои обозначения в маркировке электродов нашли даже рекомендуемые позиции при сварке (рис. 18). Для сварки вертикальных швов сверху вниз электроды имеют маркировку PG, в противоположном направлении – PF. Сварка сверху в вертикальной позиции – PA, в горизонтальной – PB. Сварка снизу в вертикальной позиции – PE, в горизонтальной – PD.

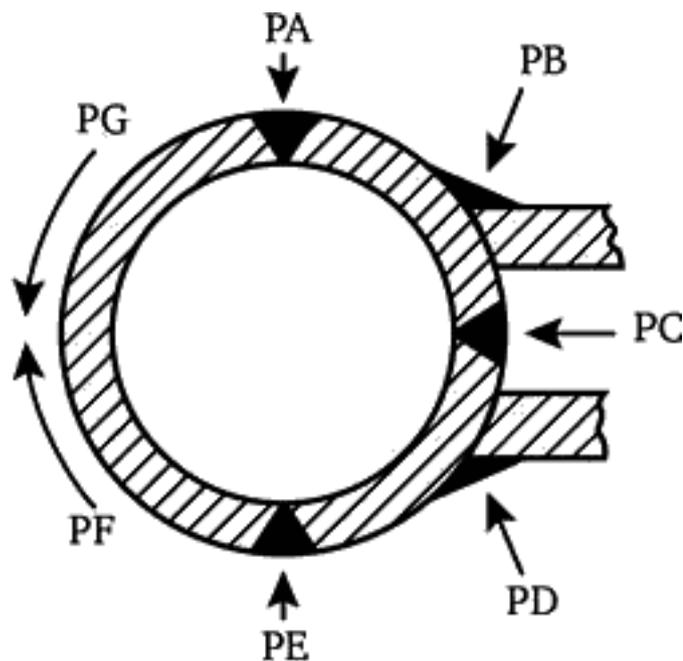


Рис. 18. Рекомендуемые позиции при ручной сварке стержневыми электродами согласно ISO 6947

Согласно DIN EN 499, существуют и указания относительно минимальных значений предела текучести, прочности при растяжении и вязкости металла шва и относительно сварочных характеристик. Например, короткое условное обозначение E 46 3 В 42 Н5 содержит следующую информацию: стержневой электрод для ручной сварки (Е) обладает пределом текучести не менее 460 Н/мм^2 , прочностью при растяжении $530\text{--}680 \text{ Н/мм}^2$ и минимальным удлинением 20 % (группа цифр 46 согласно табл. 4). Работа развития трещины, равная 47 Дж, достигается при температуре $-30 \text{ }^\circ\text{C}$ (показатель 3 согласно табл. 5). Покрытие электрода основное (В). Первая цифра в пятой группе (42) указывает на вывод и предпочтительный вид тока (согласно табл. 6), вторая цифра в этой группе обозначает разрешенные положения при сварке (табл. 7). Приведенный в качестве примера электрод обладает выводом от 105 до 125 % и сваривается только при постоянном токе (4) в любых положениях, кроме вертикального сверху вниз (2). Содержание водорода в металле шва составляет менее 5 мл/100 г металла шва. На это указывает последняя группа (Н5). Нормированы также показатели Н10 и Н15 с соответствующим содержанием водорода. Если металл шва, кроме марганца, содержит и другие легирующие элементы, указание на них содержится перед показателем типа покрытия с обозначением химического элемента и, возможно, с указанием на процентное содержание (например, 1Ni).

Похожие системы обозначений существуют для высокопрочных электродов (DIN EN 757), жаропрочных электродов (DIN EN 1599) и нержавеющей электродов (DIN EN 1600). У жаропрочных и нержавеющей электродов с основным материалом, помимо характеристик прочности, должны совпадать и характеристики жаропрочности, и антикоррозионные свойства металла шва. Поэтому в этих случаях действует правило, согласно которому для получения требуемых характеристик легирование металла шва должно быть как можно ближе к легированию основного материала либо несколько выше.

Характеристика, классификация и назначение сварочной проволоки

Для дуговой и газовой сварки, металлических конструкций, для наплавки и изготовления электродов применяется сварочная проволока сплошного сечения, выпускаемая по ГОСТ 2246–70. В соответствии с этими нормами промышленность выпускает проволоку трех групп: низкоуглеродистую, легированную и высоколегированную. Стандартный ассортимент насчитывает 77 марок сварочной проволоки диаметром от 0,3 до 12 мм. Проволоку диаметром от 2 до 6 мм применяют для автоматической и полуавтоматической сварки под флюсом. Проволоку диаметром от 1,6 до 12 мм используют для изготовления стержней электродов. Проволока диаметром от 0,3 до 1,6 мм предназначается в основном для автоматической и полуавтоматической сварки в защитном газе.

Обозначение марок проволоки состоит из сочетания букв и цифр.

Индекс Св означает, что проволока сварочная. Следующие за индексом две цифры указывают среднее содержание в проволоке углерода в сотых долях процента. В остальном маркировка стальной сварочной проволоки соответствует маркировке сталей, где буквы указывают на содержание в проволоке легирующих элементов, а цифры – содержание этих элементов в процентах. Если цифры после буквенного обозначения легирующего элемента отсутствуют, это означает, что данного элемента в материале проволоки содержится менее 1 %. Буква А в конце условного обозначения марок низкоуглеродистой и легированной проволоки свидетельствует о повышенной чистоте металла с точки зрения содержания серы и фосфора. Двойная буква А указывает на пониженное содержание серы и фосфора по сравнению с предыдущей проволокой. Буква Г указывает на содержание марганца, буква С – на содержание кремния, буква Х – на содержание хрома и т. д. После обозначения марки стали через дефис могут быть написаны следующие заглавные буквы: Э – проволока для изготовления электродов; О – омедненная проволока; ВД – полученная вакуумно-дуговым переплавом, Ш – электрошлаковой выплавкой, ВИ – вакуумно-индукционным способом.

Сварочная проволока поставляется в кассетах или намотанной на катушки. Масса одного мотка или бухты проволоки обычно не превышает 80 кг. Внутренний диаметр катушек и бухт проволоки, в зависимости от ее диаметра, может составлять 100–400 миллиметров.

По виду поверхности проволока производится неомедненной и омедненной. Толщина медного покрытия – 6 мкм. Поверхность проволоки должна быть чистой и гладкой, без трещин, расслоений, плен, закатов, забоин, окалины, ржавчины, масла и других загрязнений. Допускаются отдельные риски, царапины, местная рябизна, вмятины глубиной не более предельного отклонения по диаметру.

Химический состав проволоки оказывает большое влияние на качество сварного соединения. Поэтому марку сварочной проволоки выбирают в соответствии с химическим составом свариваемой стали. Так, для низкоуглеродистых и большинства низколегированных сталей применяют низкоуглеродистые (Св-08, Св-08А), марганцевые (Св-08ГА, Св-10ГА, Св-10Г2), кремнемарганцевые (Св-08ГС, Св-08Г2С, Св-12ГС) проволоки и др.

Для сварки высоколегированных сталей применяют специальные проволоки, легированные хромом, никелем, ванадием, молибденом, титаном, ниобием и т. д. Кроме того, для сварки таких сталей могут применяться проволоки, изготавливаемые по иным стандартам или техническим условиям.

Для сварки конструкций из углеродистых и низколегированных сталей в углекислом газе и его смесях, кроме проволоки, выпускаемой по ГОСТ 2246–70, применяют сварочную проволоку сплошного сечения, микролегированную редкоземельными металлами (РЗМ).

Проволока с РЗМ выпускается диаметром 2,0; 1,6; 1,4 и 1,2 мм. Углерода в ней содержится 0,11–0,17 %; марганца 1,5–1,9; кремния 0,7–1,1 и редкоземельных металлов около 0,03 %. Проволоку с РЗМ применяют наравне со стандартной проволокой для сварки в углекислом газе. Ею варят на постоянном токе прямой полярности («—» на электроде).

По сравнению с проволокой Св-08Г2С проволока с РЗМ имеет следующие преимущества:

- облегченное зажигание дуги и повышенная стабильность ее горения;
- возможность работы на повышенных плотностях тока;
- снижен уровень потерь металла на разбрызгивание;
- брызги практически не прилипают к изделию, поэтому не требуется последующая очистка, отпадает необходимость в нанесении на поверхность металла защитных средств, предотвращающих привариваемость брызг к свариваемой конструкции.

Использование повышенных плотностей тока дает возможность работать с такой проволокой на форсированных режимах и без ухудшения формирования шва получать хорошие механические свойства сварного соединения. Однако при сварке проволокой с РЗМ несколько возрастает излучение дуги в ультрафиолетовом диапазоне, а также количество озона в воздухе¹³.

Для электродуговой наплавки выпускается стальная проволока диаметром 0,3–5,0 мм, которая поставляется свернутой в мотки с внутренним диаметром 150–700 мм и массой 1,5–30,0 кг. Ее обозначение начинается не с индекса «Св», а с индекса «Н». По химическому составу наплавочная проволока делится на несколько групп:

- проволока из углеродистой стали выпускается 8 марок: Нп-30; Нп-40; Нп-50; Нп-65; Нп-80; Нп-40Г; Нп-50Г и Нп-65Г;
- проволока из легированных сталей выпускается марок: Нп-30ХГСА, Нп-30Х5, Нп-5ХНМ, Нп-50ХФА и др.;
- проволока из высоколегированной стали выпускается марок: Нп-3Х13, Нп-45Х4В3Ф, Нп-60Х3В10Ф, Нп-Х20Н80Т и др.

Марку проволоки выбирают в зависимости от требуемых механических свойств и химического состава наплавленного металла.

Кроме сплошной проволоки, для сварки и наплавки применяют порошковую проволоку, ленточные сплошные и порошковые присадочные материалы. Технические условия на наплавочную порошковую проволоку регламентируются ГОСТ 26101–84, а на порошковую проволоку для дуговой сварки углеродистых и низколегированных сталей – ГОСТ 26271–84. Порошковая проволока может иметь либо трубчатое, либо специальной формы сечение, увеличивающее коэффициент наплавки проволоки. Изготавливают ее путем непрерывного сворачивания низкоуглеродистой стальной ленты толщиной 0,2–1,0 мм и шириной 8–20 мм в трубку с одновременным заполнением этой трубки смесью мелко измельченных легирующих шлако- и газообразующих компонентов (шихтой).

Кроме трубчатой порошковой проволоки, в соответствии с ГОСТ 26467–85 выпускают порошковую ленту, использование которой многократно повышает производительность наплавочных работ. Наплавка и сварка порошковой проволокой может выполняться под слоем флюса, в углекислом газе или открытой дугой. Порошковая проволока для сварки под флюсом состоит из стальной оболочки и легирующего наполнителя, в котором количество шлако- и газообразующих компонентов сокращено, и применяется для сварки и наплавки высоколегированных сталей и сплавов.

¹³ Обычно озона при сварке выделяется до 0,1 мг на 1 м³ воздуха, а при том же режиме сварки проволокой с РЗМ – практически в два раза больше.

Такая проволока маркируется буквами ПП с указанием стали, для наплавки которой она разработана. Например, ПП-Х10ВЦ, ПП-Х42ВФ.

Порошковая проволока для сварки в среде углекислого газа в наполнителе имеет сокращенное количество газообразующих компонентов. Сердечник такой проволоки в основном рутилового или рутил-флюоритного состава.

Проволока позволяет выполнять швы в нижнем и наклонном положениях. Порошковая проволока для сварки в среде углекислого газа выпускается марок: ПП-АН8, ПП-АН10, ПП-АН12, ПП-АН9 и др.

Самозащитная порошковая проволока имеет относительно небольшой коэффициент наплавки, пригодна для сварки горизонтальных, вертикальных швов и для сварки в нижнем и наклонном положениях. Сердечник такой проволоки рутил-органический или карбонат-флюоритный. Самозащитная проволока изготавливается марок: ПП-АН3, ПП-АН7, ПП-АН11, ЭПС-15/2, ЭПС-15М, СП-2, ППВ-5 и др.

Держатели электрода и сварочные кабели

Электрододержатели при ручной дуговой сварке используются для фиксации электрода и подвода к нему питания от одного из полюсов источника тока через сварочный кабель. Другой полюс соединяется с изделием с помощью кабеля массы и зажима кабеля массы.

В зависимости от используемых диаметра электрода и силы тока выпускаются держатели различных размеров. Они также различаются по способу фиксации и делятся на рычажные, пружинные, винтовые, пассажные и др. В большинстве электрододержателей электрод можно закрепить в трех положениях относительно продольной оси рукоятки: 0° , 60° и 90° .

Среди всего многообразия применяемых электрододержателей наиболее безопасными являются пружинные («прищепки»), известные у нас как электрододержатели серий ЭП и ЭД (рис. 19). К их основным преимуществам можно отнести удобство эксплуатации, крепкое удержание электрода, полное отсутствие незащищенных зон токосъемника. Держатель-прищепка очень популярен, поэтому его используют многие профессиональные сварщики по всему миру. Эти электрододержатели выдерживают без ремонта от 8000 до 10 000 зажимов. Время замены электрода не превышает 3–4 с. «Прищепки» изготавливают нескольких типов в соответствии с ГОСТ 14651–78. Каждый тип рассчитан на использование при определенных сварочных токах номиналом от 125 до 500 А.

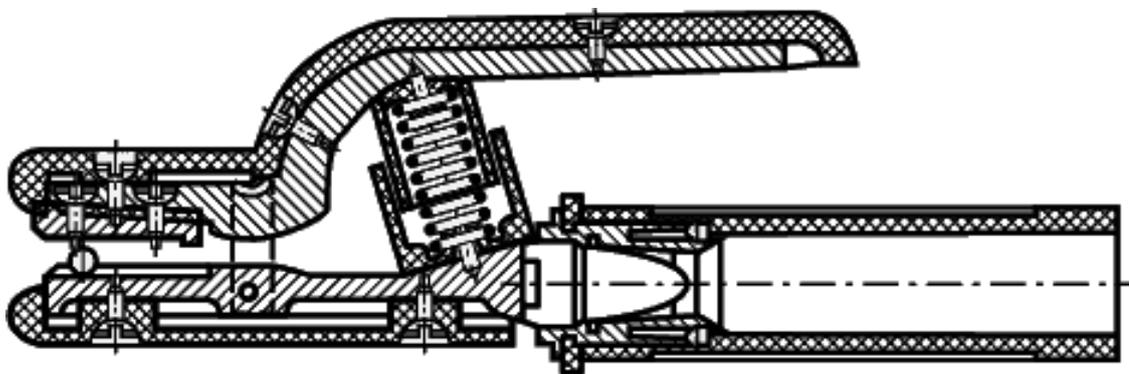


Рис. 19. Электрододержатель серии ЭП

Если вы купили новый сварочный аппарат, то в комплекте с ним обязательно должен быть заводской электрододержатель. Пользоваться, безусловно, нужно им. Широко известные у нас «вилки-трезубцы» использовать не стоит – они давно запрещены во всем мире.

Электрододержатели присоединяются к многожильному медному проводу – сварочному кабелю – марок КОГ (кабель особо гибкий) или КГ (кабель гибкий). Кабель следует подбирать в соответствии с характеристикой сварочного тока аппарата. Маркировка кабеля производится в соответствии с его сечением, количеством жил и диаметром.

Для бытового сварочного оборудования обычно используют кабели КГ 1 × 16, предназначенные для работы при токе 160 А, и с маркировкой КГ 1 × 25, для силы тока 250 А.

При использовании полупрофессиональных агрегатов с током до 350 А следует выбирать кабель с маркировкой КГ 1 × 35. Для оборудования с силой тока до 500 А применяют кабель с маркировкой не менее КГ 1 × 50.

Полная номенклатура сечения различных кабелей, расчетная масса и вольтаж представлены в специализированных каталогах, в которых можно предельно точно выбрать необходимые параметры кабеля по расчетным данным и ориентировочной силе тока.

В общем случае при токах до 300 А сечения сварочных проводов выбирают из расчета плотности тока до 5 А/мм². Например, для номинального тока сварки 250 А сечение сварочного кабеля S равно 50 мм², а суммарное сопротивление R прямого и обратного провода должно быть не более $2/250 = 0,008$ Ом. Допустимая для заданного сечения общая длина L прямого и обратного провода определяется из простой формулы $R=(\rho \#L)/S$.

Для кабеля с медными жилами ($\rho = 0,017 \cdot 10^{-6}$ Ом·м) она составит около 24 м, т. е. длина как прямого, так и обратного провода будет равна 12 метрам.

Применять провод длиной более 30 м не рекомендуется, так как это вызывает значительное падение напряжения в сварочной цепи и перегрузку сварочного аппарата.

Токоподводящий «земляной» провод соединяется с изделием специальными зажимами, чаще всего винтовыми струбцинками или зажимами типа «крокодил». Допустимо укладывать свариваемую деталь на металлический стол, надежно подсоединенный к сварочному источнику. Самодельные удлинители токоподводящего провода в виде кусков или обрезков металла не допускаются.

Экипировка сварщика

Для защиты сварщика от искр, брызг металла, механического давления, ожогов, удара электрическим током, ультрафиолетовых и инфракрасных лучей применяют специальные сварочные маски. Для защиты от излучений сварочной дуги в смотровое отверстие маски, кроме обычного стекла, вставляется светофильтр.

Существует несколько разновидностей масок: традиционного типа с фиксированным светофильтром, с подъемным светофильтром, а также маски типа «хамелеон». В первых двух случаях речь идет о так называемых «пассивных» шлемах. В качестве смотрового окна у них используется затемненное стекло, которое либо неподвижно (но тогда сложно разглядеть объект сварки до начала работ), либо откидывается вверх после окончания процесса сварки (материал при этом еще догорает, и смотреть на него без защиты тоже опасно).

«Активные» шлемы типа «хамелеон» автоматически реагируют на импульс света от сварки и изменяют степень своего затемнения, блокируя части светового спектра. Это позволяет нормально контролировать начало сварочного процесса. Источником питания световых фильтров в масках для сварки типа «хамелеон» служат солнечные батареи, а также заменяемые или встроенные литиевые элементы. Некоторые маски-«хамелеоны» оборудо-

ваны также респиратором. Это немаловажно, так как дым и газы, возникающие при сварочных работах, содержат вещества, представляющие большую опасность для легких. Правда, стоит такая защита довольно дорого, а в работе не очень удобна из-за солидного веса и приличных габаритов.

Для чистки и сушки светофильтра необходимо снять внутреннюю и внешнюю защитные пластины, затем протереть его чистой мягкой тканью, смоченной метиловым спиртом.

Кроме маски, полный комплект экипировки сварщика включает в себя специальный костюм, обувь и перчатки. Спецодежда для сварщика должна удовлетворять двум основным требованиям: ее наружная поверхность должна быть огнестойкой и термостойкой, а внутренняя (изнаночная) – влагопоглощающей. Исходя из этих требований, куртку и брюки шьют из брезента, парусины, замши и их комбинаций. Все они обрабатываются специальной пропиткой, которая придает им жаростойкость. Для одежды и обуви, защищающей от искр и расплавленного металла и выдерживающей прожигание не менее 50 с, ГОСТ предусматривает специальную пометку «Тр».

Экипировка сварщика обязательно включает в себя рукавицы или перчатки для защиты рук от контакта с нагретыми поверхностями и брызгами расплавленного металла.

Традиционная обувь для сварщиков – сапоги с укороченными голенищами или кожаные ботинки. Категорически запрещается работать в обуви с открытой шнуровкой или металлическими гвоздями в подошве.

Основы газовой (газопламенной) сварки

Газопламенная обработка металлов охватывает такие широко распространенные в промышленности и строительстве технологические процессы, как газовая сварка и наплавка, пайка, газовая и газоплазменная резка, термическая правка с применением газового пламени, пламенная поверхностная закалка, газовая металлизация, сварка пластмасс и других неметаллов.

Газовая сварка – это сварка плавлением, при которой для нагрева используется теплота пламени смеси газов, сжигаемой с помощью горелки¹⁴. Газовую сварку выполняют как с применением присадочной проволоки (рис. 20), так и без нее, если формирование шва возможно за счет расплавления кромок основного металла. В качестве горючих газов применяют ацетилен, сжиженные газы на основе пропан-бутановых смесей, природный газ, в качестве окислителя – кислород или воздух.

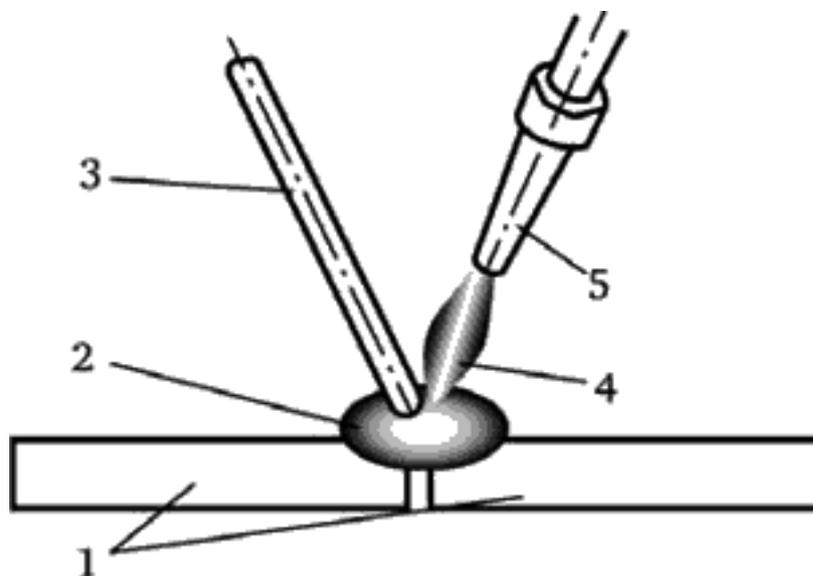


Рис. 20. Газовая сварка:

1 – соединяемые детали; 2 – сварочная ванна; 3 – присадочный материал; 4 – газовое пламя; 5 – горелка

Ацетилен-кислородные смеси, обеспечивающие максимальную температуру пламени ($> 3000\text{ }^{\circ}\text{C}$), могут быть использованы для любых процессов газовой сварки. Для сварки сталей толщиной до 4 мм с использованием специальной присадочной проволоки можно применять пропан-бутановые смеси.

При газопламенной обработке алюминия, латуни, свинца и других материалов, температура плавления которых ниже температуры плавления стали, целесообразно применять пропан-бутан. Для кислородной резки, пайки, наплавки, металлизации можно использовать любые газы – заменители ацетилена.

Газосварка проста, универсальна, не требует дорогостоящего оборудования и мощного источника электрической энергии. С ее помощью можно сваривать почти все металлы, применяемые в технике. Причем такие металлы, как чугун, медь, свинец, латунь, легче поддаются газовой сварке, чем дуговой. Газовая сварка необходима и применяется при изготовле-

¹⁴ Для сварки большинства металлов пригодно пламя с температурой не ниже 2500–3000 °С.

нии и ремонте изделий из тонколистовой стали (1–3 мм); при ремонте изделий из чугуна, бронзы, силумина; при монтаже и ремонте трубопроводов отопления, водопровода, газопровода из труб малых (до 50 мм) диаметров и при подобных работах; при сварке изделий из алюминия, меди, латуни, свинца; при наплавке латуни на чугунные или стальные детали (поршни, штоки гидросистем); при сварке ковкого и высокопрочного чугуна с применением присадочных прутков из латуни и бронзы.

К недостаткам газовой сварки относятся меньшая производительность и бóльшая зона нагрева, чем при дуговой сварке. При газовой сварке концентрация тепла меньше, чем при дуговой, поэтому разогреву подвергается бóльшая зона и увеличивается коробление. Газосварочный процесс почти не поддается механизации и автоматизации. Кроме того, газовая сварка – источник повышенной пожаро- и взрывоопасности.

Качество сварных соединений, выполняемых газовой сваркой, выше, чем дуговой электродом с тонким покрытием, но несколько ниже, чем качественными электродами. Дело в том, что при газовой сварке не происходит легирования наплавленного металла, в то время как при дуговой сварке качественными электродами, в покрытии которых содержатся ферросплавы, производится довольно значительное легирование.

Производительность газовой сварки, высокая при малой толщине основного металла, быстро снижается с увеличением его толщины. При толщине металла 0,5–1,5 мм производительность газовой сварки может быть выше, чем дуговой. С увеличением толщины металла до 2–3 мм скорости газовой и дуговой сварки становятся одинаковыми, а затем с увеличением толщины металла разница быстро возрастает в пользу дуговой сварки. Например, при сварке стали толщиной 1 мм скорость составляет около 10 м/ч, а толщиной 5 мм – 2,5 м/ч. Далее, при малой толщине абсолютный расход газов на 1 м сварного шва невелик, но с увеличением толщины основного металла быстро растет расход газов и времени на сварку, и газовая сварка становится дороже дуговой; разница в стоимости быстро увеличивается с возрастанием толщины основного металла. Поэтому газовая сварка стали толщиной более 4 мм практически не применяется.

К особенностям газовой сварки следует также отнести почти исключительное выполнение сварных швов за один проход. Получение швов в несколько слоев, широко практикуемое в дуговой сварке, почти не применяется при газовой.

Газовое пламя менее яркое, чем сварочная дуга, оно не обжигает лицо, поэтому для защиты глаз сварщика достаточно очков с цветными стеклами.

Материалы, применяемые при газовой сварке

Горючие газы

При газовой сварке в качестве окислителя применяют кислород, а горючими газами служат ацетилен, водород, пропан и др.

Газообразный кислород (O_2) бесцветен, не имеет запаха и вкуса, немного тяжелее воздуха. Плотность кислорода при атмосферном давлении и температуре $20\text{ }^\circ\text{C}$ равна $1,33\text{ кг/м}^3$. Активно поддерживает горение и служит для повышения температуры газового пламени при сгорании горючего газа.

Согласно ГОСТ 5583–78, промышленность выпускает газообразный технический кислород двух сортов. Объемная доля кислорода в техническом кислороде I сорта составляет $99,7\%$, II сорта – $99,5\%$.

Кислород способен образовывать взрывоопасные смеси с горючими газами или парами жидких горючих веществ, а при его соприкосновении с органическими соединениями (масла, жиры и другие вещества) может произойти их самовоспламенение.

Газообразный ацетилен (C_2H_2) – бесцветный газ, имеющий специфический чесночный запах из-за присутствия примесей: фосфористого водорода, сероводорода и др. Ацетилен легче воздуха: при атмосферном давлении и температуре $20\text{ }^\circ\text{C}$ его плотность составляет $1,09\text{ кг/м}^3$. Хорошо растворяется в жидкостях, особенно в ацетоне, становясь более безопасным. Используется для формирования газового пламени при сгорании в струе кислорода. Преимущество ацетилена перед другими горючими газами – возможность получения наиболее высокой температуры пламени (до $3200\text{ }^\circ\text{C}$).

На месте сварки ацетилен получают в газогенераторах путем разложения карбида кальция водой или используют пиролизный¹⁵ ацетилен. Последний к месту сварки доставляют растворенным в ацетоне в виде пористой массы, заключенной в стальной баллон. Пиролизный ацетилен дешевле, чем получаемый из карбида кальция.

Ацетилен образует с кислородом, содержащимся в воздухе, взрывоопасные смеси при нормальном атмосферном давлении. Наиболее взрывоопасны смеси, содержащие 7–13 % ацетилена. Ацетилен может взрываться и без окислителя!

Водород (H_2) при атмосферном давлении и температуре $20\text{ }^\circ\text{C}$ – горючий газ без цвета и запаха. Плотность водорода равна $0,084\text{ кг/м}^3$, он в 14,5 раза легче воздуха. Водород предназначен для формирования газового пламени при сгорании в струе кислорода. Температура пламени составляет $2600\text{ }^\circ\text{C}$. Водородно-кислородное пламя бесцветное, не имеет четких очертаний, что затрудняет его регулирование.

Хранится и поставляется в газообразном состоянии в стальных баллонах объемом 5, 10, 20 и 40 литров.

Водород образует с кислородом (2 объема водорода и 1 объем кислорода) взрывоопасную гремучую смесь.

¹⁵ Пиролизным называют ацетилен, вырабатываемый из природного газа.

Технический пропан – это смесь пропана (C_3H_8) и пропилена (C_3H_6), представляющая собой при нормальных условиях бесцветный газ, не имеющий запаха. Для безопасного пользования в состав смеси добавляют сильнопахнущие вещества – одоранты. Газ тяжелее воздуха, при атмосферном давлении и температуре $20\text{ }^\circ\text{C}$ его плотность составляет $1,88\text{ кг/м}^3$. Применяется для формирования газового пламени с температурой $2700\text{ }^\circ\text{C}$ в качестве заменителя ацетилена.

Поставляют пропан к месту сварки в стальных цельносварных баллонах в сжиженном состоянии.

Пропан огнеопасен. Может скапливаться в прямках, подвалах и колодцах, образуя взрывоопасную смесь.

МАФ-газ – метилацетилен-алленовая газообразная фракция, образующаяся в процессе переработки природного газа и нефтепродуктов, обладающая хорошими теплофизическими свойствами. Газ тяжелее воздуха, плотность при нормальных условиях составляет $1,9\text{ кг/м}^3$. Обладает резко выраженным запахом.

МАФ-газ применяют в качестве заменителя ацетилена при газовой сварке. Он в два раза дешевле ацетилена, а температура пламени при его сгорании достигает $2930\text{ }^\circ\text{C}$. Газ поставляют к месту сварки в сжиженном состоянии в цельносварных баллонах (таких же, как и для пропана). В баллоне вместимостью 50 л и весом 22 кг содержится 21 кг газа.

Склонность к обратному удару газа МАФ незначительна. По сравнению с ацетиленом МАФ имеет более мягкое пламя, что дает свои преимущества при работе с металлом малых толщин, с цветными металлами, а также при контурной резке изделий. В то же время ядро даже нейтрального пламени при использовании газа МАФ длиннее ацетиленового в 1,5–2 раза.

Технология газопламенной обработки при использовании газа МАФ в основном такая же, как и при использовании ацетилена. В качестве аппаратуры могут применяться горелки, резаки, редукторы и другие устройства, предназначенные для работы с ацетиленом и на сжиженных газах (пропан-бутановых смесях). Присадочную проволоку лучше применять такую, которая больше подходит для сварки пропаном.

На баллоне с газом может использоваться редуктор, применяемый на пропановых баллонах. По сравнению с пропан-бутановой смесью при сварке стали газом МАФ расход кислорода в 1,5 раза меньше.

Смесь МАФ-газа (3,4–10,8 % по объему) с воздухом взрывоопасна. Газ может скапливаться в подвалах, колодцах и прямках, образуя взрывоопасную смесь.

Присадочные материалы

Присадочными материалами являются проволока, прутки (стержни), полоски металла, близкие по свойствам свариваемому металлу. При проведении сварки они обеспечивают дополнительный металл для заполнения зазора между свариваемыми кромками и образования сварного шва требуемой формы.

Основным присадочным материалом служит сварочная проволока.

При **сварке углеродистых и легированных сталей** применяют холоднотянутую сварочную проволоку. Ее характеристики приведены выше, в главе «Характеристика, классификация и назначение сварочной проволоки».

Для **газовой сварки серого чугуна** выпускают чугунные прутки # 4, 6, 8, 10, 12 и 16 мм. Маркировку торца прутков выполняют краской черного, белого, красного, синего, коричневого, желтого или зеленого цвета.

Для **газовой сварки меди, медно-никелевых сплавов, бронз и латуни** применяют сварочную проволоку, отвечающую ГОСТ 16130–90. Ее диаметр составляет 0,8–8,0 миллиметров.

Условное обозначение присадочной проволоки из меди или ее сплава соответствует классификации этих материалов по следующим признакам:

- способу изготовления (холоднодеформированная (тянутая) – **Д**; горячедеформированная (прессованная) – **Г**);
- форме сечения – **КР** (проволоку изготавливают исключительно круглого сечения);
- механическим свойствам (мягкая – **М**, твердая – **Т**);
- виду поставки (мотки или бухты – **БТ**, катушки – **КТ**, барабаны – **БР**, сердечники – **СР**, немерной длины – **НД**).

При **сварке алюминия и его сплавов** используют тянутую и прессованную проволоку из алюминия и алюминиевых сплавов, отвечающую ГОСТ 7871–75. Ее диаметр составляет 0,8–12,5 мм. Условные обозначения при маркировке, характеризуют:

- способ изготовления (тянутая – **В**, прессованная – **П**);
- вид обработки (нагартованная – **Н**, отожженная – **М**);
- вид поставки (мотки (бухты) – **БТ**, катушки – **КТ**).

Сварочный флюс¹⁶. При газосварке флюс наносится на свариваемые кромок или вносится в сварочную ванну оплавленным концом присадочного прутка (налипающим на него при погружении во флюс). Флюсы могут использоваться и в газообразном виде при подаче их в зону сварки с горячим газом.

¹⁶ Основные характеристики сварочных флюсов приведены выше в соответствующей главе. Характеристики флюсов, применяемых при газовой сварке различных металлов, приведены ниже в разделе «Особенности сварки различных металлов».

Оборудование для газовой сварки

Оборудование для газовой сварки, наплавки и резки включает в себя источники газо-снабжения (ацетиленовые генераторы или газовые баллоны), аппаратуру регулирования и защиты (вентили, редукторы, манометры, предохранительные устройства), соединительные рукава и универсальные или специализированные горелки.

Ацетиленовые генераторы

Ацетиленовый генератор – аппарат, предназначенный для получения газообразного ацетилена посредством разложения карбида кальция водой. Из 1 кг карбида кальция, в зависимости от размеров его кусков и степени чистоты, можно получить 235–285 дм³ ацетилена. Однако применение газогенераторов в быту и в небольших мастерских нецелесообразно: они более взрывоопасны, нежели баллоны, и потому в сварочном комплекте возрастает количество предохранительных устройств. Обслуживание их сложнее; подготовка к работе занимает гораздо больше времени, чем при работе с баллонами; отработанный ил сливают только в специальные ямы или бетонные хранилища. К тому же по завершении даже незначительных сварочных работ следует выработать весь загруженный объем карбида кальция – постепенно стравить ацетилен в атмосферу или дожечь его горелкой. Поэтому использование ацетиленовых генераторов оправдано только при промышленных объемах работ.

Баллоны

Баллон – это металлическая емкость для хранения и транспортирования газов в сжатом, растворенном и сжиженном состояниях.

Кислородный баллон, согласно ГОСТ 949–73, изготовлен из углеродистой (150У) или легированной (150Л) стали и имеет стальной цельнотянутый цилиндрический корпус с выпуклым днищем, на которое напрессован башмак (рис. 21, а). Вверху баллон заканчивается горловиной с резьбовым отверстием, в которое ввернут запорный вентиль. На наружную резьбу горловины баллона наворачивают предохранительный колпак.

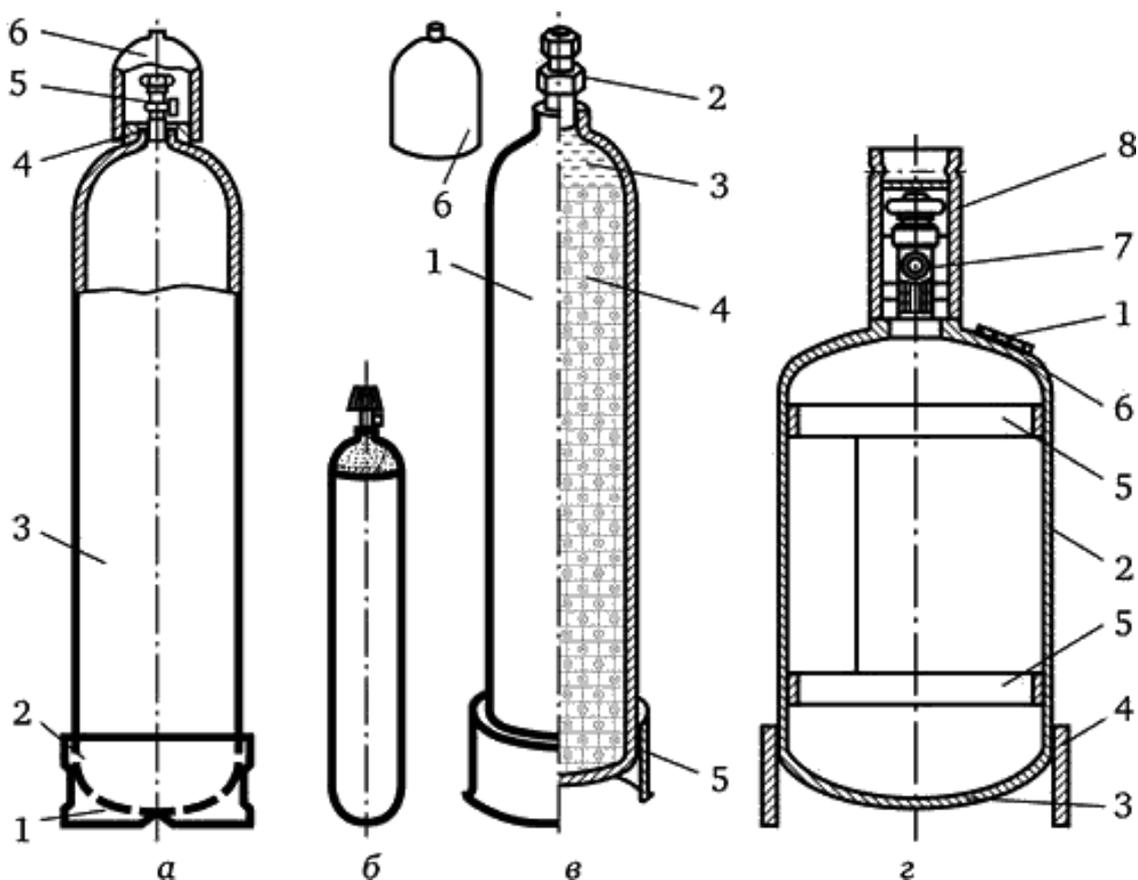


Рис. 21. Газовые баллоны для сварки:

а – кислородный баллон вместимостью 40 л (*1* – днище; *2* – башмак; *3* – корпус; *4* – горловина; *5* – вентиль; *б* – предохранительный колпак); *б* – кислородный баллон вместимостью 10 дм³; *в* – ацетиленовый баллон (*1* – корпус; *2* – вентиль; *3* – азотная подушка; *4* – пористая масса с ацетоном; *5* – башмак; *б* – предохранительный колпак); *г* – баллон для пропана вместимостью 55 дм³ (*1* – табличка с паспортными данными; *2* – корпус; *3* – днище; *4* – башмак; *5* – подкладные кольца; *б* – горловина; *7* – вентиль; *8* – предохранительный колпак)

Высота стандартного баллона 40–150У составляет 1370 мм, диаметр 219 мм, толщина стенки 7 мм, вместимость 40 дм³, масса без газа 67 кг. Баллон рассчитан на рабочее давление 15,0 МПа (150 кгс/см²); испытательное давление составляет 22,5 МПа (225 кгс/см²). В полном баллоне объем кислорода, соответствующий атмосферному давлению и температуре 20 °С, составляет 6 м³.

Цвет баллона голубой, надпись черная.

Наряду с баллонами вместимостью 40 дм³, выпускаются и баллоны меньшей вместимости – 20; 10; 5 и 1 дм³ (рис. 21, б).

Вентиль кислородного баллона изготавливают из латуни, так как сталь активно корродирует в среде сжатого кислорода, а маховики и заглушки – из стали, алюминиевых сплавов и пластмассы.

Количество кислорода в баллоне приближенно определяют, решая следующую пропорцию: при атмосферном давлении (0,1 МПа) в баллоне находится 40 дм³ газа;

если давление в баллоне равно 15 МПа, то до объема 40 дм³ можно сжать $(40 \times 15)/0,1 = 6000$ дм³, или 6 м³, кислорода.

Ацетиленовый баллон большой емкости имеет такие же размеры, как и кислородный вместимостью 40 дм³ (рис. 21, в). Масса баллона без газа 83 кг, рабочее давление ацетилена 1,9 МПа (19 кгс/см²), максимальное давление 3,0 МПа (30 кгс/см²).

Ацетиленовый баллон заполняют пористой массой из активированного древесного угля, которую пропитывают ацетоном из расчета 225–300 г на 1 дм³ вместимости баллона. Ацетилен, хорошо растворяясь в ацетоне, становится менее взрывоопасным.

Более экономичны баллоны с литой пористой массой, способные вместить 7,4 кг растворенного ацетилена, тогда как баллоны с активированным углем – только 5 кг.

На баллоне с литой пористой массой ниже надписи «АЦЕТИЛЕН» красной краской нанесены буквы ЛМ. Такие баллоны поставляют с азотной подушкой.

При отборе ацетилена из баллона удаляется и часть ацетона в виде паров. Для уменьшения потерь ацетона во время работы необходимо располагать баллоны в вертикальном положении и отбирать ацетилен со скоростью, не превышающей 1,7 м³/ч.

В наполненном баллоне вместимостью 40 дм³ при рабочем давлении и температуре воздуха 20 °С объем газообразного ацетилена, соответствующий нормальным условиям, составляет 5,5 м³.

Цвет баллона белый, надпись красная. Отпускают ацетилен также в баллонах емкостью 1; 5; 10; 15 и 20 л.

Отличительной особенностью вентиля ацетиленового баллона является отсутствие маховика и штуцера. В корпусе вентиля имеется боковая канавка, в которую устанавливают штуцер ацетиленового редуктора, прижимая его специальным хомутом через кожаную прокладку. Такая конструкция вентиля не допускает случайной установки другого редуктора во избежание образования взрывоопасной смеси.

Еще одна отличительная особенность вентиля ацетиленового баллона состоит в том, что его открывание, закрывание и присоединение с его помощью редуктора к баллону осуществляются специальным торцовым ключом.

Для определения объема ацетилена баллон взвешивают до и после наполнения газом и по разности показателей и плотности ацетилена определяют объем газа, находящегося в баллоне. Например, масса баллона с ацетиленом 89 кг, порожнего – 83 кг. Масса ацетилена в баллоне: 89–83 = 6 кг. Плотность ацетилена при атмосферном давлении и температуре 20 °С составляет 1,09 кг/м³. Следовательно, объем ацетилена при этих условиях составляет $6/1,09 = 5,5$ м³.

Баллоны для технического пропана изготавливают из листовой углеродистой стали толщиной 3 мм согласно ГОСТ 15860–84. К верхней части сварного цилиндрического корпуса пропанового баллона приварена горловина, а к нижней – днище и башмак (рис. 21, г). В горловине имеется резьбовое отверстие, в которое ввернут латунный вентиль. Внутри баллона расположены подкладные кольца. Для защиты вентиля баллона от механического повреждения служит предохранительный колпак.

Высота баллона не более 1013 мм, диаметр (без обечайки усиления) 292 мм, масса без газа 22 кг, вместимость 50 л, рабочее давление 1,6 МПа (16 кгс/см²). Газ в баллоне находится в сжиженном состоянии.

Кроме того, выпускают пропановые баллоны вместимостью 27, 12 и 5 л. 50-литровый баллон содержит 21,4 кг сжиженного газа, 27-литровый – 11,4 кг, 5-литровый – 3,3 килограмма.

Кратковременный максимальный отбор газа не должен превышать $1,25 \text{ м}^3/\text{ч}$, а нормальный во избежание замерзания вентиля – $0,6 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Цвет баллона красный, надпись белая.

Вентиль пропанового баллона мембранного типа делают из латуни (реже из стали). Он рассчитан на рабочее давление до 2,0 МПа (20 кгс/см^2). Боковой штуцер корпуса вентиля имеет левую резьбу.

Газовые редукторы и манометры

Редуктор – устройство, предназначенное для понижения давления газа, поступающего из баллона, и автоматического поддержания заданного рабочего давления. Газовые редукторы осуществляют также регулирование рабочего давления и защиту баллона от обратного удара пламени, а манометры показывают давление газа в баллоне и на выходе из редуктора.

Газовые редукторы, согласно ГОСТ 13861–89, классифицируют по назначению (Б – баллонные, Р – рамповые, С – сетевые); виду редуцируемого газа (А – ацетиленовые, К – кислородные, М – метановые, П – пропан-бутановые); схеме регулирования (О, Д – одно- и двухступенчатые с механической установкой давления, З – одноступенчатые с пневматическим заданием рабочего давления). Различаются они и по принципу действия (прямого и обратного действия). В эксплуатации более удобны редукторы обратного действия, так как они компактны и просты по конструкции, надежны и безопасны в работе.

Редукторы отличаются друг от друга окраской корпуса (ацетиленовый – белого цвета, кислородный – голубого, пропановый – красного) и присоединительными устройствами для крепления их к баллону. Кислородный и пропановый редукторы присоединяют к баллонам накидными гайками соответственно с правой и левой резьбой. Ацетиленовые редукторы крепят к баллонам хомутом с упорным винтом.

Технические характеристики баллонных редукторов приведены в табл. 8 (см. с. 326).

Манометры представляют собой приборы для измерения давления газа. Их присоединяют к корпусу редуктора через прокладки из фибры и кожи с помощью резьбовых соединений с использованием гаечного ключа.

Каждый манометр должен иметь на циферблате обозначение того газа, для которого он предназначен. На кислородные манометры наносят надписи «Кислород» и «Маслоопасно», на ацетиленовые, водородные и пропановые – «Ацетилен», «Водород» и «Пропан» или символы O_2 , C_2H_2 , H_2 и C_3H_8 .

Рукава

Рукава (шланги) представляют собой гибкие трубопроводы, служащие для транспортирования газа к месту работы и подачи его в горелку. В зависимости от назначения резиновые рукава для газовой сварки подразделяют на три класса:

- I – для подачи ацетилена, городского газа, технического пропана и других горючих газов под давлением до 630 кПа ($6,3 \text{ кгс/см}^2$); окраска рукавов красная;
- II – для подачи жидкого топлива (бензин, уайт-спирит, керосин или их смеси) под давлением до 630 кПа ($6,3 \text{ кгс/см}^2$); окраска рукавов желтая;
- III – для подачи газообразного кислорода под давлением до 2,0 МПа (20 кгс/см^2); окраска рукавов синяя.

Рукава изготавливают из резины, армированной слоями ткани. Кислородные рукава имеют внутренний и наружный слои из вулканизированной резины и несколько слоев из льняной или хлопчатобумажной ткани.

Рукава применяют при температуре окружающей среды от -35 до $+50$ °С. Для работы в северных широтах необходимы рукава из морозостойкой резины, сохраняющей свои свойства при температуре до -65 °С.

Рукава I и II классов имеют четырехкратный, а III класса – трехкратный запас прочности по отношению к рабочему давлению.

Рукава изготавливают с внутренним диаметром, равным 6,3; 8,0; 9,0; 10,0; 12,0; 12,5 и 16,0 мм. Рукава длиной 10 и 20 м поставляют в виде бухт. Оптимальная длина рукава 9–30 м. При ее увеличении возрастают потери давления газа.

Сварочные горелки

Основным инструментом газосварщика является сварочная горелка – устройство для смешения газов, формирования сварочного пламени и регулирования его вида и мощности. Сварочные горелки классифицируют по следующим признакам:

- способу подачи горючего газа и кислорода в смесительную камеру – инжекторные и безынжекторные;
- роду горючего газа – ацетиленовые, водородные, для газов-заменителей и жидких горючих;
- числу факелов – однопламенные и многопламенные;
- назначению – универсальные (сварка, резка, пайка, наплавка) и специализированные для выполнения одной операции;
- мощности пламени – горелки микромощности, малой, средней и большой мощности;
- способу применения – ручные, машинные.

В безынжекторных горелках горючий газ и кислород поступают в смеситель под одинаковым давлением. Инжекторные горелки имеют устройство, обеспечивающее подачу горючего газа низкого давления в смесительную камеру за счет всасывания его струей кислорода, подводимого под более высоким давлением. Это устройство называется инжектором, а явление подсоса – инжекцией. Наиболее эффективны инжекторные горелки, отличающиеся высокой безопасностью, простотой обслуживания, надежностью работы и универсальностью.

На рис. 22, а – в представлены схема инжекторной горелки и конструкция инжекторного устройства. Кислород из баллона под рабочим давлением через ниппель, газопроводящую трубку и вентиль поступает в сопло инжектора. Выходя из сопла с большой скоростью, он создает разрежение в ацетиленовом канале, в результате чего ацетилен, проходя через ниппель, трубку и вентиль, подсасывается в смесительную камеру. В этой камере образуется горючая смесь, которая, проходя через наконечник и мундштук, сгорает на выходе из горелки, образуя сварочное пламя.

Для нормальной работы инжекторных горелок необходимо, чтобы давление кислорода составляло 150–500 кПа (1,5–5,0 кгс/см²), а давление ацетилена – 3–120 кПа (0,03–1,2 кгс/см²). Устойчивое горение пламени достигается при скорости истечения горючей смеси 50–170 м/с.

На рис. 22, д представлена схема безынжекторной горелки. Вместо инжектора у нее – смесительная камера наконечника. При подключении безынжекторной горелки к газовым баллонам применяют редуктор, автоматически поддерживающий равенство рабочих давлений кислорода и ацетилена (рис. 22, з).

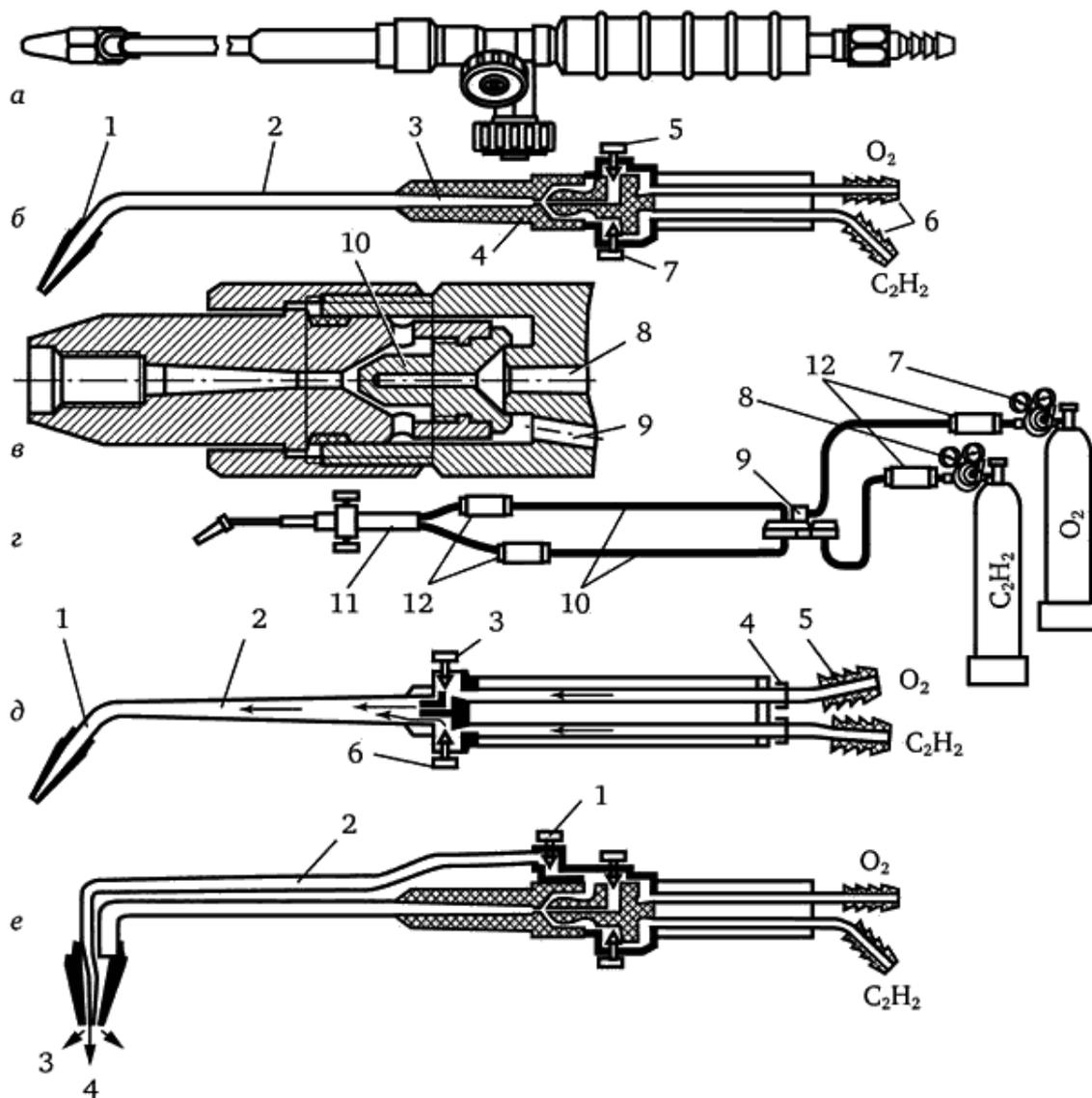


Рис. 22. Горелки:

a – в – инжекторная (общий вид, конструкция горелки и инжектора; 1 – мундштук; 2 – наконечник; 3 – смешивательная камера; 4 – сопло инжектора; 5, 7 – вентили кислорода и ацетилена; 6 – ниппели; 8, 9 – каналы для подачи кислорода и ацетилена; 10 – инжектор); *г* – схема подключения безыжекторной горелки к газовым баллонам; *д* – конструкция безыжекторной горелки (1 – мундштук; 2 – наконечник; 3, 6 – вентили кислорода и ацетилена; 4, 5 – ниппели кислорода и ацетилена; 7, 8 – баллонные редукторы; 9 – редуктор равных давлений; 10 – рукава; 11 – горелка, 12 – предохранительные устройства); *е* – инжекторный резак (1 – вентиль режущей струи кислорода; 2 – трубка подачи кислорода к мундштуку; 3 – подогревающее пламя; 4 – режущая струя кислорода)

Кислород через ниппель, регулировочный вентиль и специальные дозирующие каналы поступает в смешивательную камеру горелки. Аналогично через ниппель и вентиль подается ацетилен. Из смешивательной камеры горячая смесь проходит через наконечник и выходит из мундштука, образуя сварочное пламя.

Мощность пламени выбирают в зависимости от толщины свариваемого металла и его теплофизических свойств. Регулируют пламя подбором наконечника горелки. Правила выбора сварочной горелки и наконечников к ней приведены в табл. 9 и 10.

Предохранительные устройства

При работе с газовым оборудованием огромную опасность представляет возможность попадания в него взрывной волны при обратных ударах пламени из сварочной горелки или резака. Обратным ударом называется воспламенение смеси газов в каналах горелки или резака и распространение пламени навстречу потоку горючей смеси. Дело в том, что горючая смесь сгорает с определенной скоростью. Из отверстия мундштука горелки или резака она вытекает также с определенной скоростью, которая должна быть больше скорости сгорания. В противном случае пламя проникнет в канал мундштука и воспламенит смесь в каналах горелки или резака, что вызовет обратный удар пламени. Обратный удар может произойти также от перегрева и засорения канала мундштука горелки.

Обратный удар характеризуется резким хлопком и гашением пламени. Горящая смесь газов устремляется по ацетиленовому каналу горелки или резака в шланг, а при отсутствии предохранительного затвора – в источник горючего газа, что может привести к его взрыву и вызвать серьезные разрушения и травмы.

Безопасность работ при газовой сварке обеспечивает группа предохранительных устройств, устанавливаемых между баллоном и горелкой (рис. 22, з, поз. 12). К ним относятся обратный клапан, пламегаситель, предохранительный и отсечный клапаны.

Обратный клапан – предохранительное устройство, предотвращающее обратный ток газа. Его устанавливают на редуктор. Клапан открывается под действием газовой струи, а закрывается под действием пружины, когда давление газа на выходе из клапана превышает давление при нормальном потоке газа.

Обратный клапан, срабатывающий при определенном давлении, присоединяют к горелке для предотвращения обратного тока газа и снижения вероятности обратного удара пламени, когда давление газа на выходе превышает нормальное.

Пламегаситель подключают к горелке. Это предохранительное устройство, предотвращающее прохождение в защищаемое оборудование, аппаратуру и коммуникации пламени при его обратном ударе. Пламегасители подразделяют на два класса: класс I (тяжелый тип) и класс II (легкий тип). В зависимости от конструкции различают пламегасители одно- и двустороннего действия.

Предохранительный клапан – устройство, автоматически сбрасывающее газ в атмосферу при превышении заданного уровня давления и прекращающее истечение газа при снижении давления до этого уровня.

Предохранительные затворы бывают водяные и сухие. Первые предназначены для защиты ацетиленовых генераторов и трубопроводов для горючих газов от проникновения в них пламени при обратном ударе, а также кислорода из горелки или резака и воздуха из атмосферы. Для работы с баллонными редукторами применяют сухие затворы. Это комбинированное предохранительное устройство на основе пористой вставки из металлокерамики в сборе с обратными клапанами.

Отсечный клапан – предохранительное устройство, прекращающее подачу газа при критическом значении температуры, наличии противодавления на выходе из клапана либо превышении заданного значения расхода газа.

Техника выполнения сварных швов

В этом разделе мы рассмотрим основы практической работы сварщика – методы выполнения сварных швов электродуговой и газовой сваркой, дуговую и газовую резку металла, особенности термитной сварки, а также методики уменьшения объемных деформаций металла после сварочного процесса.

Технология ручной дуговой сварки

На качественное формирование сварного шва влияют следующие параметры:

- величина и подбор сварочного тока;
- зажигание сварочной дуги;
- угол наклона электрода;
- скорость сварки;
- длина дуги;
- манипулирование электродом;
- заварка кратера и обрыв дуги.

Умелое применение и сочетание этих параметров, что в значительной степени и составляет мастерство сварщика, позволяет выполнить прочный и красивый сварной шов.

Выбор режимов сварки

Под режимом сварки понимают совокупность контролируемых параметров, определяющих условия сваривания металла. Такими параметрами являются сила сварочного тока, напряжение дуги, скорость сварки, род и полярность тока. Дополнительные параметры: положение шва в пространстве; число проходов; температура окружающей среды.

Силу сварочного тока устанавливают в зависимости от диаметра электрода, который, в свою очередь, выбирают в зависимости от толщины свариваемого изделия. На диаметр электрода влияют также тип сварного соединения, положение шва в пространстве, размеры детали, состав свариваемого металла. При сварке встык металла толщиной до 4 мм применяют электроды диаметром, равным толщине свариваемого металла. При сварке металла большой толщины применяют электроды # 4–8 мм при условии обеспечения провара основного металла. В многослойных стыковых швах первый слой выполняют электродом # 3–4 мм, последующие слои – электродами большего диаметра.

Сварку в вертикальном положении проводят с применением электродов диаметром не более 5 мм. Потолочные швы выполняют электродами диаметром до 4 миллиметров.

Ориентировочный расчет силы сварочного тока делают по следующим формулам:

- для электрода # 3–6 мм сварочный ток $I = (20 + 6d_3) \times d_3 \times k$;
- для электрода # < 3 мм сварочный ток $I = 30 \times d_3 \times k$.

Коэффициент k при выполнении швов в нижнем положении принимают равным 1, вертикальных швов – 0,9, потолочных швов – 0,8. Сварку швов в вертикальном и потолочном положениях выполняют, как правило, электродами диаметром не более 4 мм. Ориентировочные данные режимов ручной дуговой сварки приведены в табл. 11 и 12. Однако следует учесть, что зависимость между диаметром электрода и силой тока может быть не прямой и, в зависимости от вида стали и применяемых электродов, приходится вводить поправки. В табл. 13 приводится пример подбора сварочного тока для наиболее распространенных типов электродов в зависимости от свариваемых сталей и диаметра электрода. В табл. 14 показана зависимость силы сварочного тока от толщины свариваемого металла и положения сварки в пространстве.

При увеличении диаметра электрода и неизменном сварочном токе плотность тока уменьшается, что приводит к блужданию дуги, увеличению ширины шва и уменьшению глубины провара. Чем больше диаметр электрода, тем меньше допустимая плотность тока, так как ухудшаются условия охлаждения.

Наконец, формирование валиков при одной и той же величине сварочного тока будет разным, если они выполнены на разных толщинах. Поэтому окончательный подбор тока необходимо производить на технологической планке, толщина которой близка к толщине сварочного изделия. Например, для изделия толщиной более 10 мм сварочный ток, подобранный на тонкой пластине, будет незначительным для хорошего формирования валика. Прогревание основного металла в этом случае меньше, соответственно, растекаемость жидкой ванны незначительна, что и сказывается на форме и чешуйке сварного шва. Необходимо добавить 10–20 А или подобрать сварочный ток на соответствующей планке. В табл. 15 показано влияние величины сварочного тока на качество и форму сварного шва.

Род и полярность тока выбирают в зависимости от способа сварки и свариваемых материалов. Прямую полярность («—» на электроде) используют при сварке с глубоким проплавлением основного металла; низко- и среднеуглеродистых и низколегированных сталей толщиной 5 мм и более электродами с фтористо-кальциевым покрытием (марок УОНИИ-13/45, УОНИИ-13/55 и др.); чугуна.

Обратную полярность («+» на электроде) используют при сварке с повышенной скоростью плавления электродов; низколегированных низкоуглеродистых сталей (типа 16Г2АФ); средне- и высоколегированных сталей и сплавов; тонкостенных листовых конструкций.

Переменный ток используют при сварке низкоуглеродистых и низколегированных сталей (типа 09ГС) в строительном-монтажных условиях электродами с рутиловым покрытием; в случаях возникновения магнитного дутья; толстолистовых конструкций из низкоуглеродистых сталей.

При этом следует учитывать влияние силы сварочного тока, напряжения дуги и скорости сварки на форму и размеры шва. С увеличением сварочного тока глубина провара увеличивается, а ширина шва почти не изменяется.

С повышением напряжения ширина шва резко увеличивается, а глубина провара уменьшается. Это важно учитывать при сварке тонкого металла. Несколько уменьшается и выпуклость шва. При одном и том же напряжении ширина шва при сварке на постоянном токе (особенно обратной полярности) значительно больше, чем ширина шва при сварке на переменном токе.

Зажигание дуги

После подбора сварочного тока наибольшее влияние на качество сварного шва оказывает зажигание дуги и начало сварки.

Существует два способа зажигания сварочной дуги.

Первый способ – способ тычка, или короткого замыкания (рис. 23, а). После короткого соприкосновения торца электрода с изделием необходимо произвести отрыв его на высоту, равную диаметру электрода или чуть больше. Такой способ зажигания дуги легко применять электродами с качественно изготовленными торцами. Недостаток способа тычка заключается в возможности прилипания электрода к изделию. Это происходит при длительном коротком замыкании (КЗ) (положение II) либо при отрыве электрода из положения II в положение III на длину большую, чем диаметр электрода, с последующим чрезмерным укорачиванием длины дуги; так как дуговой разряд еще не стабилизировался, происходит залипание электрода к изделию. Избежать залипания можно путем плавного укорачивания дугового разряда до необходимой длины дуги после ее стабилизации. Отрывать прилипший электрод следует резким поворачиванием его вправо и влево.

Второй способ – способ чирка, когда электродом вскользь чиркают, как спичкой, по поверхности металла. Чиркать надо в направлении сварки, чтобы не оставлять лишних сле-

дов. При поступательном движении электрода, как показано на рис. 23, б, после соприкосновения торца электрода с изделием и после появления искрения надо приподнять электрод для возникновения сварочной дуги. После стабильного горения перейти на необходимую длину дуги ($h = \text{диаметр электрода}$). Данный способ исключает прилипание электрода к изделию. Если электрод все же прилип, скорее всего, его покрытие повреждено. В этом случае надо сжечь выступающий из-под покрытия край электрода.



Рис. 23. Зажигание дуги:
а – способом тычка; б – способом чирка

В случае появления стартовых пор (видимых невооруженным глазом) или прилипания электрода к изделию при зажигании сварочной дуги необходимо прекратить начало сварки и выбрать (вырубить) место зажигания подручными средствами (зубилом, болгаркой и др.). После этого нужно обжечь электрод на технологической пластине, быстро и аккуратно удалить незастывший шлак с торца электрода путем легкого постукивания электродом обо что-либо твердое (дерево, наждачный круг, металлическую планку, изолированную от изделия, или прочий подручный материал) и после этого возобновить зажигание сварочной дуги. Не рекомендуется переплавлять нечеткое зажигание сварочной дуги, так как это может привести к дефектам в месте зажигания (стартовые поры, зашлаковка, непровар).

Зажигание сварочной дуги на изделии для продления сварного шва производится впереди кратера (рис. 24). Путь от положения 1 до положения 5 следует выполнять быстро, чтобы не получить валик в этом месте. Времени от начала зажигания дуги и до начала сварки обычно достаточно для того, чтобы сориентироваться, где начать наложение первой чешуйки металла шва. Начало сварки следует выполнять на застывшем кратере в верхней ее части, стараясь соединить край жидкой ванны с последней чешуйкой закристаллизовавшегося шва, предварительно обив кратер от застывшего шлака.

Начало сварки внизу кратера приводит к большим и глубоким перепадам между чешуйками в местах смены электродов. Начало сварки на самой вершине кратера приводит к бугристости сварного шва. Такие углубления и бугры создают трудности при сварке последующего слоя и способствуют появлению дефектов. Кроме этого, необходимо выполнить ряд дополнительных условий.

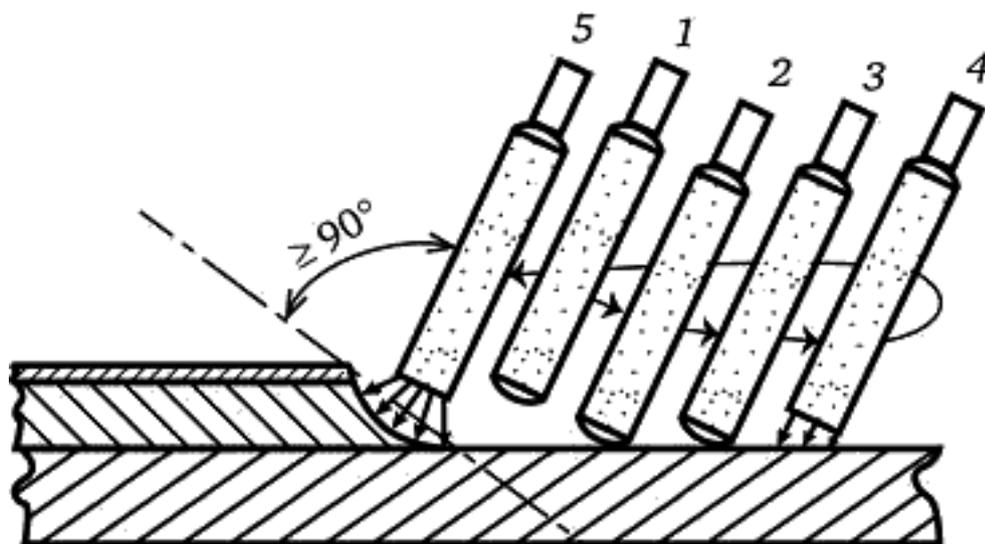


Рис. 24. Зажигание сварочной дуги для продления сварного шва

Должны отсутствовать или быть незначительными перепады в местах стыковки.

При наведении жидкой ванны необходимо проследить за тем, чтобы ее граница совпала с последней чешуйкой предыдущего валика.

Наклон электрода в начале сварки должен быть равным или больше 90° к поверхности кратера, что не позволяет жидкому шлаку стекать вниз кратера. Скорость продвижения электрода от позиции 1 должна быть чуть быстрее, чем скорость сварки. В позиции 2 необходимо произвести задержку для проплавления места перехода кратера с основным металлом и после этого начать наложение сварного валика с определенной скоростью.

Все вышеперечисленное позволяет производить сварку (наплавку) с минимальными перепадами и повышает производительность труда.

Угол наклона электрода

Угол наклона электрода по отношению к изделию и направлению сварки значительно влияет на качественное формирование сварного шва. Защиту сварочной дуги и жидкой ванны металла шва от окружающей среды осуществляют газовый пузырь и жидкий шлак. Шлак поддерживает в жидком состоянии металл шва более длительное время (2–3 с). За это время в более полной мере протекают металлургические процессы, успевают в основном выйти из металла шва газы и шлаки.

Поддержание металла шва в жидком состоянии более длительное время позволяет сформировать валик правильной формы, с плавным переходом к основному металлу и равномерными чешуйками с минимальными перепадами между ними. Исходя из вышесказанного, очень важно, чтобы жидкий шлак укрывал жидкий металл шва сразу за дугой, как бы накрывая сварной шов «одеялом», сохраняя при этом тепло и отдавая время начала кристаллизации шва. Это обеспечивается углом наклона электрода по отношению к направлению сварки. Существуют три положения наклона электрода по отношению к направлению сварки:

1. Сварка под прямым углом (рис. 25, а);
2. Сварка углом назад (рис. 25, б);
3. Сварка углом вперед (рис. 25, в).

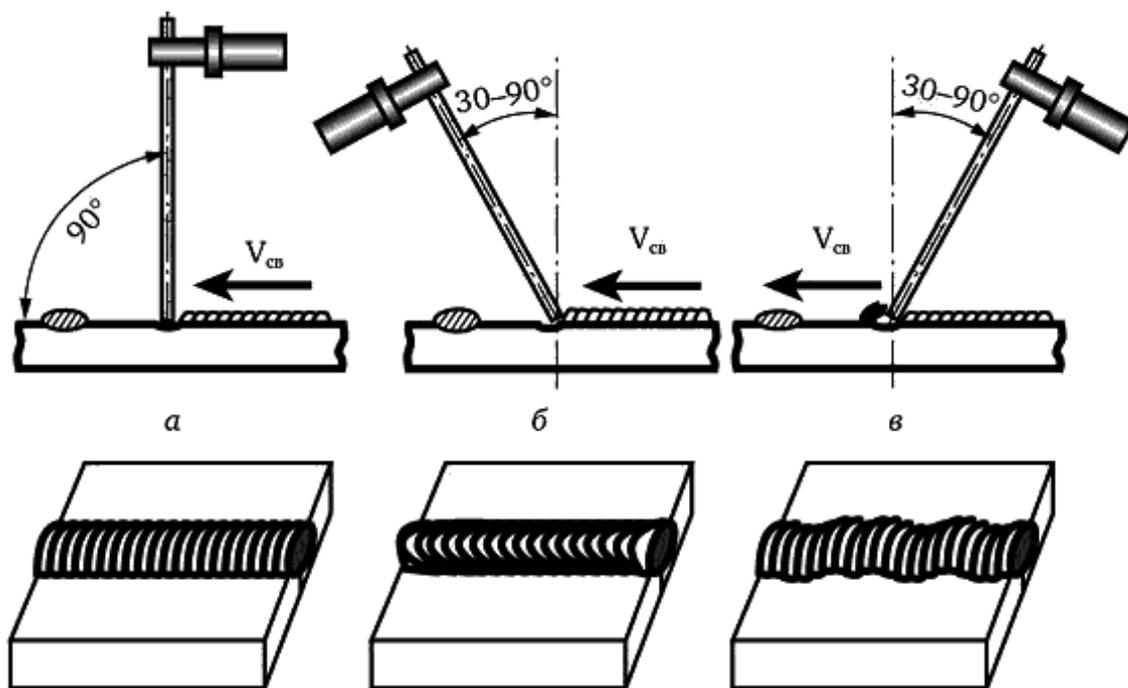


Рис. 25. Положения наклона электрода:

а – сварка под прямым углом; б – сварка углом назад; в – сварка углом вперед

Первое («прямое») положение электрода позволяет жидкому шлаку двигаться следом за сварочной ванной, накрывая жидкий металл шва, что способствует качественному формированию сварного шва. Незначительная часть шлака все же появляется впереди электрода, но не оказывает помехи процессу сварки. Впереди идущий жидкий шлак легко вытесняется по обе стороны валика сварного шва более тяжелым жидким металлом шва. В том случае, когда все-таки шлак впереди начинает мешать процессу сварки, необходимо сделать наклон электрода в сторону направления сварки до восстановления нормального процесса. Под прямым углом электрод держат обычно при необходимости варить в труднодоступных местах, а также при потолочной сварке.

При сварке углом назад силой давления сварочной дуги жидкий шлак вытесняется назад и отстает от жидкой сварочной ванны. Появляется оголенный участок жидкого металла шва и происходит быстрое остывание (кристаллизация) сварного шва. В этом случае валик получается с неравномерными чешуйками и значительными перепадами.

Необходимо выровнять положение электрода до момента, когда жидкий шлак будет следовать сразу за электродом. Сварка углом назад предпочтительна при работе с угловыми и стыковыми соединениями. Она позволяет увеличить глубину провара и высоту выпуклости, но при этом уменьшается ширина шва. Прогрев кромок недостаточен, поэтому возможны несплавления и образование пор.

При сварке углом вперед впереди электрода следует жидкий шлак, мешающий процессу сварки. Он накапливается в большом количестве, натекает на холодный металл и подстывает. Сварочная дуга начинает блуждать, а иногда и гаснуть. Сварной шов становится неровным, с пропусками проплавления по краям, а иногда и в середине шва. В этом случае необходимо выровнять положение электрода до вертикального. Метод углом вперед применяется в горизонтальных, вертикальных и потолочных швах, а также при сварке неповоротных стыков труб. При сварке таким методом уменьшается глубина провара и высота выпуклости шва, но заметно возрастает его ширина, что позволяет сваривать металл небольшой толщины. Лучше проплавляются кромки, поэтому возможна сварка на повышенных скоростях.

Электроды с рутиловым покрытием типа МР, АНО и др. сварку следует производить только углом назад ввиду большого количества шлака и высокой его жидкотекучести. При сварке угол наклона электрода с рутиловым покрытием к изделию всегда меньше, чем электрода с основным покрытием.

В каждом конкретном случае необходимо выбирать такой угол наклона электрода, чтобы силой давления дуги не позволять жидкому шлаку «сзади отставать и вперед забежать». Поэтому, в зависимости от многих факторов, угол наклона электрода определяет только сварщик.

Скорость сварки

Скорость движения электрода по направлению сварки тоже влияет на качество и геометрические размеры сварного шва, его форму и глубину проплавления.

Необходимо выбирать такую скорость сварки, чтобы сварочная ванна (кратер) заполнялась электродным металлом и поднималась над поверхностью с плавным переходом к основному металлу без подрезов и наплывов.

Как сварщику уловить необходимую скорость продвижения электрода? Подобрать необходимый сварочный ток, произведя четкое зажигание дуги, выбрав угол наклона электрода в зависимости от расположения шлака, оптимальную скорость определяют по ширине валика, его высоте и по мере его формирования. Валик должен получаться с плавным переходом к основному металлу, равномерной чешуйкой, без подрезов. Данную скорость легко сохранять путем поддержания одинаковой ширины сварочной ванны вокруг электрода, равной примерно двум его диаметрам (включая покрытие). Высота валика должна составлять 0,5–0,7 диаметра электрода.

При маленькой скорости электрода на единицу площади сварного шва приходится значительное количество наплавленного электродного металла, что приводит к росту высоты валика; когда она превышает диаметр электрода, жидкий металл растекается бесформенно. Возможны дефекты: наплывы, непровары по бокам валика, прожоги на тонком металле.

С увеличением скорости сварки глубина провара сначала возрастает (до скорости 40–60 м/ч), а затем уменьшается. При этом ширина шва уменьшается постоянно.

При большой скорости (более 70–80 м/ч) ширина валика равна диаметру электрода с покрытием или меньше него. В этом случае происходит недостаточное прогревание основного металла, быстрая кристаллизация сварочной ванны. Возможны дефекты: подрезы, непровары. Формирование валика неудовлетворительное.

Установки тока могут меняться в зависимости от ситуации. Толстый металл рассеивает тепло, поэтому нужен больший ток. Тонкий металл расплавится быстро, поэтому тока надо меньше. Точные установки тока зависят от поведения ванны, а начинать надо с рекомендованных установок.

Но не бойтесь увеличить или уменьшить ток. Сварка зависит от температуры основного металла, поэтому нельзя говорить о токе без учета скорости сварки. Двигаем электрод быстрее – меньше тепла поступает в основной металл. Если двигать электрод слишком быстро, металл не будет прогрет, шов будет непроплавленным, узким, с малой выпуклостью, с крупными чешуйками наверху. Если двигаемся слишком медленно, тепла поступает больше, металл слишком сильно прогревается, ванна расплывается и становится трудноуправляемой. Сварной валик становится слишком выпуклым, шов – неровным по форме, с наплывами по краям. Вследствие чрезмерно большого ввода теплоты дуги в основной металл часто образуется прожог, и расплавленный металл вытекает из сварочной ванны. В

некоторых случаях, например при сварке на спуск, образование под дугой жидкой прослойки из расплавленного электродного металла повышенной толщины, наоборот, может привести к образованию непроваров.

На тонком металле глубокий провар тем более не нужен. Чем тоньше металл, тем быстрее надо двигаться. Можно применить такую технику: расплавить основной металл, затем длинной дугой охладить его и плавить снова. Этот метод можно использовать и для заполнения зазоров в плохо подогнанных соединениях. Двигайте электрод вглубь зазора, потом отводите, чтобы остудить ванну, и так постепенно заполняйте шов. Это же движение используется и при заполнении многослойного шва.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.