профТЕХ

В. Г. Лупачёв

РУЧНАЯ ДУГОВАЯ СВАРКА

В.Г. Лупачёв

РУЧНАЯ ДУГОВАЯ СВАРКА

Утверждено
Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебника для учащихся учреждений,
обеспечивающих получение
профессионально-технического образования,
по учебной специальности
"Технология сварочных работ"

22 2р.

БИБЛИОТЕКА

Минск
"Вышэйшая школа"
2006

УДК 621.79(075.32)
ББК 34.641я722
Л 85

Рецензенты: заведующий кафедрой «Порошковая металлургия, сварка и технология материалов» Белорусского национального технического университета доктор технических наук, профессор *В.Н. Ковалевский*; методическая комиссия электротехнических дисциплин Бобруйского государственного машиностроительного профессионально-технического колледжа

Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или любой ее части не может быть осуществлено без разрешения издательства.

Лупачёв, В.Г.
Л 85 Ручная дуговая сварка: учебник / В.Г. Лупачёв. – Мн.: Выш. шк., 2006. – 416 с.: ил.
ISBN 985-06-1189-8.

Изложены технология и техника ручной дуговой сварки, наплавки и резки углеродистых и легированных сталей, чугунов, цветных металлов и их сплавов. Рассмотрены физические основы дуговой сварки и металлургические процессы в сварочной ванне. Показаны типы сварных соединений и дана классификация швов. Рассмотрены причины образования дефектов при сварке. Приведены сведения по организации рабочего места и технике безопасности.

Предназначен учащимся профессионально-технических учебных заведений, рабочим при профессиональном обучении на производстве, сварщикам при подготовке и аттестации к сертификации.

УДК 621.79(075.32)
ББК 34.641я722

Учебное издание

Лупачёв Вячеслав Григорьевич

РУЧНАЯ ДУГОВАЯ СВАРКА

Учебник

Редактор *Т.К. Майборода*. Художественный редактор *В.А. Ярошевич*. Технический редактор *Н.А. Лебедевич*. Корректор *В.П. Шкредова*. Компьютерная верстка *М.В. Бригер*

Подписано в печать 15.03.2006. Формат 84×108/32. Бумага типографская № 2. Гарнитура «Школьная». Офсетная печать. Усл. печ. л. 21,84. Уч.-изд. л. 22,34. Тираж 2000 экз. Заказ 717.
Республиканское унитарное предприятие «Издательство "Вышэйшая школа"». ЛИ № 02330/0056829 от 02.03.2004. 220048, Минск, проспект Победителей, 11.
Республиканское унитарное предприятие «Типография "Победа"». 222310, Молодечно, ул. Тавлая, 11.

ISBN 985-06-1189-8

© Лупачёв В.Г., 2006
© Издательство "Вышэйшая школа", 2006

ОТ АВТОРА

Сто лет прошло со дня изобретения покрытых сварочных электродов для ручной дуговой сварки шведским инженером Оскаром Кельбергом, основателем фирмы ESAB. Однако и в настоящее время ручная дуговая сварка покрытым металлическим (штучным) электродом является наиболее универсальным, доступным и сравнительно простым способом выполнения неразъемных соединений различных металлов и сплавов.

Ручная дуговая сварка покрытыми электродами широко используется при изготовлении различных металлических конструкций в энергетике, химии и нефтехимии, в автомобилестроении, при строительстве нефте- и газопроводов. Сварка также находит применение при ремонте различных деталей и изделий.

Объемы применения ручной дуговой сварки ежегодно возрастают. Это обусловливает необходимость расширения подготовки рабочих-сварщиков в профессионально-технических учебных заведениях и на производстве.

В книге содержатся сведения, которые позволяют сварщикам освоить технологические процессы ручной дуговой сварки, широко используемые при изготовлении конструкций, восстановлении и ремонте различных деталей машин и оборудования.

Структура учебника обусловлена последовательностью изучения тем. Вначале приводятся общие сведения о сварке, строении и свойствах сварочной дуги, сварных соединениях и швах, описывается оборудование сварочного поста. Затем рассматриваются технология и техника ручной дуговой сварки. Излагаются особенности сварки цветных металлов и наплавки твердыми сплавами. Основная часть книги посвящена сварке сталей. Приводятся широко используемые в промышленности и строительстве основные и сварочные материалы. Даны примеры сварки некоторых типовых конструкций. В заключение описываются дефекты сварных швов, даются сведения о методах неразрушающего контроля сварных соединений,

а также рассматривается техника безопасности при проведении сварочных работ. Для лучшего усвоения программного материала, закрепления полученных знаний и самоконтроля после каждой главы приведены контрольные вопросы и тесты.

Профессия «Электросварщик ручной дуговой сварки» является широко распространенной в современном производстве и строительстве. Высокий технический уровень сварочного производства предполагает и высокий уровень общеобразовательной и специальной подготовки сварщиков в профессионально-технических училищах и на производстве. Цель данного учебника – дать обучающимся основы ручной дуговой сварки, что в сочетании с производственным обучением позволит им стать квалифицированными сварщиками.

Материал учебника соответствует программе подготовки электросварщиков ручной дуговой сварки в профессионально-технических учебных заведениях и на производстве. Он может быть использован при подготовке и повышении квалификации сварщиков на производстве, при самостоятельном изучении технологии сварочных работ, а также при подготовке к аттестации и сертификации сварщиков.

Признательность за критическое и доброжелательное отношение к учебнику автор выражает рецензентам: В.Н. Ковалевскому – доктору технических наук, профессору, заведующему кафедрой «Порошковая металлургия, сварка и технология материалов» Белорусского национального технического университета и В.Н. Аушеву – директору Бобруйского государственного машиностроительного профессионально-технического колледжа, объективные замечания которых помогли улучшить содержание книги.

Замечания и пожелания можно направлять по адресу: 220048, Минск, проспект Победителей, 11, издательство «Вышэйшая школа».

ВВЕДЕНИЕ

Сваркой называется процесс получения неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между соединяемыми частями при их нагревании и (или) пластическом деформировании.

Сварка – один из наиболее распространенных технологических процессов. К сварке относятся собственно сварка, наплавка, сваркопайка, пайка, склеивание, напыление и некоторые другие операции.

С помощью сварки соединяют между собой различные металлы, их сплавы, некоторые керамические материалы, пластмассы, стекла и разнородные материалы. Наибольшее применение сварка металлов и их сплавов находит при сооружении новых конструкций, изготовлении и ремонте различных изделий, машин и механизмов, создании двухслойных материалов. Сваривать можно металлы любой толщины. Прочность сварного соединения в большинстве случаев не уступает прочности основного металла. Сварку можно выполнять на земле, под водой, в космосе. Сваривать швы можно в любых пространственных положениях.

Возникновение первых простейших методов сварки относится к началу периода освоения человеком металлов. Археологические музеи хранят образцы изделий, изготовленных с применением сварки в VIII–VII тыс. до н.э.

Прежде всего была освоена кузнечная сварка меди и некоторых ее сплавов с подогревом до 300–400 °С. В дальнейшем люди научились сплавлять небольшие куски металла и изготавливать изделия путем заливки металла в каменные или глиняные формы – так возникло искусство литья. Это привело к созданию литейной сварки: соединяемые детали помещали в форму, место соединения заливали жидким металлом. Позднее были найдены более легкоплавкие металлы, появился метод пайки, во многих случаях более удобный и производительный. Многовековой опыт и искусство древних мастеров довели сварку и пайку до высокой степени совершенства. Образцы их изделий мы видим в коллекциях музеев.

Лишь во II в. до н.э. началось освоение человеком железа – важнейшего металла современности. Широко используя железо, человек долго не мог его расплавлять из-за высокой температуры плавления. Трудом поколений мастеров был создан и доведен до совершенства способ кузнечной сварки железа. Раскаленное до «сварочного жара» железо еще не плавится, но становится мягким, пластичным и способно свариваться под большим давлением или под ударами молота: соединение происходит в твердом состоянии металла.

Революционную роль в развитии сварочной техники сыграли новые источники нагрева: мощные электрические токи, горючие газы, сжигаемые в технически чистом кислороде, и др. Они обеспечили концентрированный нагрев зоны сварки и получение весьма высоких температур, что позволило полностью модернизировать существующие способы сварки. При этом производительность сварки увеличилась в сотни раз.

Трудно по-настоящему постигнуть и оценить сегодняшние достижения науки и техники, не зная того, что было сделано нашими предшественниками.

Впервые мысль о возможности практического применения «электрических искр» для плавления металлов высказал в 1753 г. академик Российской Академии наук Г.В. Рихман, выполнивший ряд исследований атмосферного электричества.

В 1802 г. профессор Санкт-Петербургской военно-хирургической академии В.В. Петров открыл явление электрической дуги, первым в мировой литературе описал электрическую дугу и ее свойства, в частности плавление металла, а также указал возможные области практического применения.

Удивительна судьба этого открытия. Дуга В.В. Петрова дала старт грандиозной эстафете поисков, изобретений и открытий. Ее ярчайший свет привлек внимание многих ученых мира и изобретателей, людей различных характеров, способностей, устремлений и судеб. Некоторые из них всю свою жизнь посвятили изучению необыкновенного огня, пытаясь понять его сущность.

Электрическая дуга послужила основой создания мощных источников тока, прожекторной техники, развития электросварки, электрометаллургии и электроэнергетики.

Электрический разряд назвал «дугой» английский ученый-химик Г. Дэви, который независимо от В.В. Петрова открыл ее спустя 10 лет. В 1812 г. в Лондоне вышла его книга «Элементы философии, химии», в которой он описал свои опыты с дугой. Во время экспериментов, которые проводил Г. Дэви, электроды были расположены параллельно Земле, ее магнитное поле притягивало электрический разряд и он принимал форму огненного мостика-дуги.

В 1849 г. американец К. Стэт получил патент на соединение металлов с помощью электричества. Однако этот патент не был реализован на практике.

Дуговая сварка как промышленный способ соединения металлов была изобретена в России. В 1882 г. Н.Н. Бенардос предложил способ прочного соединения и разъединения металлов с помощью электрического тока. Он практически осуществил способы сварки и резки металлов электрической дугой угольным электродом. Ему также принадлежит много других важных изобретений в области сварки (способ контактной и шовной сварки, спиралешовные трубы, порошковая проволока и др.). 6 июля 1885 г. Н.Н. Бенардос подал заявку в Департамент торговли и мануфактур на выдачу привилегии на его изобретение «Способ соединения и разъединения металлов непосредственным действием электрического тока», названное им «Электрогефест».

В Петербурге было организовано Общество «Электрогефест» по эксплуатации и внедрению изобретения Н.Н. Бенардоса и открыты показательная мастерская и небольшой завод для производства сварочных работ по способу Н.Н. Бенардоса. Ученый получил патент на изобретение способа дуговой сварки «Электрогефест» во Франции, Англии, Германии.

Электрическая сварка получила дальнейшее развитие в работах Н.Г. Славянова. 17 марта 1888 г. он подал заявку на получение привилегии на изобретение «Электрическая отливка металлов». Способ Н.Г. Славянова отличается от способа Н.Н. Бенардоса тем, что металлический стержень одновременно является и электродом, и присадочным металлом. Это позволило разработать устройства

для механизированной подачи электрода в дугу и тем самым механизировать процесс сварки.

Н.Г. Славянов разработал технологические и металлургические основы дуговой сварки. Он применил флюс для защиты металла сварочной ванны от воздуха, предложил способы наплавки, горячей сварки чугуна, организовал электросварочный цех. Н.Г. Славянов получил патенты на свои изобретения во Франции, Германии, Англии. В 1892 г. в Петербурге была издана его книга «Электрическая отливка металлов» – первый в мире научный труд, где описывалась дуговая сварка.

Каждый раз, когда сварщики берут в руки пачку электродов шведской фирмы ESAB, они встречают аббревиатуру ОК. Это инициалы основателя фирмы ESAB Оскара Кельберга. Инженер Оскар Кельберг в сентябре 1904 г. изобрел металлические электроды с нанесенным на их поверхность покрытием. Покрытие предохраняет металл шва от вредного воздействия воздуха (окисления и азотирования) и стабилизирует горение дуги. Применение покрытых электродов значительно повысило качество сварных соединений.

В середине 1920-х гг. интенсивные исследования процессов сварки были начаты во Владивостоке (В.П. Вологдин, Н.Н. Рыкалин), в Москве (Г.А. Николаев, К.К. Окерблом). Особую роль в развитии и становлении сварки сыграл академик Е.О. Патон, организовавший в 1929 г. лабораторию, а затем в 1934 г. – Институт электросварки (ИЭС) в Киеве.

В 1924–1935 гг. в основном применяли ручную сварку электродами с тонкими ионизирующими (меловыми) покрытиями. В эти годы под руководством академика В.П. Вологдина были изготовлены первые отечественные котлы и корпуса нескольких судов. С 1935–1939 гг. начали применять толстопокрытые электроды, в которых стержни изготавливали из легированной стали, что обеспечило широкое использование сварки в промышленности и строительстве.

Новый этап в развитии механизированной дуговой сварки начался в конце 1930-х гг., когда на основе идей, высказанных еще Н.Г. Славяновым, учеными Института электросварки АН УССР под руководством академика

Е.О. Патона был разработан новый способ сварки – автоматическая сварка под флюсом.

Сварка под флюсом за счет увеличения мощности сварочной дуги и надежной изоляции плавильного пространства от окружающего воздуха позволяет резко повысить производительность процесса, обеспечить стабильность качества сварного соединения, улучшить условия труда и получить значительную экономию материалов и электроэнергии.

Способ дуговой сварки в защитных газах получил промышленное применение в конце 1940-х гг. Газ для защиты зоны сварки впервые использовал американский ученый А. Александер еще в 1928 г. Однако этот способ сварки не нашел широкого промышленного применения из-за сложности получения защитных газов. Положение изменилось после того, как начали использовать гелий и аргон в США, углекислый газ в СССР и различные смеси газов.

Сварку неплавящимся (угольным) электродом в углекислом газе впервые осуществил Е.Г. Остапенко. Затем в 1950-е гг. был разработан высокопроизводительный способ дуговой сварки в углекислом газе плавящимся электродом.

Использование дешевых защитных газов, улучшение качества сварки и повышение производительности процесса обеспечили широкое применение этого способа главным образом при механизированной сварке различных конструкций. Механизированную сварку в защитных газах используют вместо ручной дуговой сварки покрытыми электродами и механизированной сварки под флюсом.

В начале 1950-х гг. в Институте электросварки им. Е.О. Патона создают электрошлаковую сварку для производства крупногабаритных деталей из литых и кованых заготовок, что снизило затраты при изготовлении оборудования тяжелого машиностроения.

Развитие сварочной техники неразрывно связано с изысканием новых источников теплоты для плавления металла. Одним из таких источников является концентрированный поток электронов в вакууме, на основе которого был создан новый вид сварки – электронно-лучевая. Эта сварка находит достаточно широкое применение при соединении тугоплавких химически активных металлов и сплавов и ряда специальных сталей.

2. Зак. 717.

В последние два десятилетия для сварки эффективно используют оптические квантовые генераторы – лазеры. В ближайшие годы можно ожидать дальнейших больших успехов в развитии и промышленном применении лучевых сварочных процессов.

Однако и в настоящее время ручная дуговая сварка покрытым металлическим (штучным) электродом является наиболее универсальным и сравнительно простым способом выполнения неразъемных соединений металлов.

Несмотря на широкое применение в промышленности различных способов механизированной сварки объемы применения этого способа сварки при изготовлении сварных металлических конструкций ежегодно возрастают. Поэтому ученые, занятые в области сварочного производства, работают над усовершенствованием ручной дуговой сварки покрытыми металлическими электродами. Основное внимание уделяется созданию:

- новых марок электродов для сварки конструкций из низко- и среднелегированных марок сталей средней и повышенной групп прочности, а также высоколегированных сталей;
- новых марок высокопроизводительных электродов, преимущественно с железным порошком в обмазке;
- специальных марок электродов, позволяющих производить сварку в различных пространственных положениях, включая сварку на вертикальной плоскости методом «сверху вниз», а также электродов «гравитационной» сварки и др.;
- нового оборудования, включая источники питания сварочной дуги, а также приспособлений для ручной дуговой сварки;
- специальной одежды для сварщиков.

Особое место в этих работах занимают исследования, направленные на улучшение гигиенических условий труда сварщиков за счет снижения токсичности сварочных электродов.

Глава 1

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СВАРКЕ

1.1. Сущность процесса сварки

Конструкции сложной формы, как правило, получают в результате объединения отдельных элементов (деталей, сборочных узлов) с помощью разъемных или неразъемных соединений.

Посредством сварки соединяют преимущественно детали из металлов, а также из неметаллов – пластмассы и керамики или их сочетаний.

При сварке соединение происходит за счет образования связей между атомами соединяемых деталей. Межатомные связи устанавливаются только тогда, когда атомы соединяемых деталей получают некоторую дополнительную энергию, необходимую для преодоления существующего между ними энергетического барьера. Эту энергию называют ***энергией активации***. При сварке ее вводят в зону соединения извне путем нагрева (*термическая активация*) или пластического деформирования (*механическая активация*).

Необходимыми условиями для образования неразъемных сварных соединений являются сближение свариваемых частей и введение энергии активации в зону сварки.

В зависимости от характера активации при выполнении соединений различают два основных вида сварки: плавлением и давлением.

При ***сварке плавлением*** детали по соединяемым кромкам оплавляются под действием источника нагрева. Расплавленный металл, сливаясь в общий объем, образует жидкую сварочную ванну. При охлаждении сварочной ванны жидкий металл затвердевает, получается сварной шов.

Шов может быть образован за счет расплавления металла свариваемых кромок или за счет металла кромок и дополнительного введения в сварочную ванну расплавляемой присадки.

При ***сварке давлением*** сварное соединение получают за счет пластического деформирования материала по кромкам свариваемых деталей. Благодаря пластической деформации облегчается установление межатомных связей соединяемых частей. Для ускорения процесса применяют сварку давлением с нагревом.

1.2. Классификация видов сварки

Сварочные процессы классифицируются по физическим, техническим и технологическим признакам (ГОСТ 19521–74).

Основа классификации по физическим признакам – вид энергии, применяемой для получения сварного соединения. Все сварочные процессы относят к одному из трех классов: термическому, термомеханическому и механическому.

Термический класс – все виды сварки плавлением, осуществляемые с использованием тепловой энергии (газовая, дуговая, электрошлаковая, плазменная, электронно-лучевая и лазерная).

Термомеханический класс – все виды сварки, осуществляемые с использованием тепловой энергии и давления (контактная, диффузионная, кузнечная, газо- и дугопрессовая).

Механический класс – все виды сварки давлением, проводимые с использованием механической энергии (холодная, трением, ультразвуковая и взрывом).

По техническим признакам сварочные процессы классифицируют:

- по степени механизации процессов сварки (ручные, механизированные, автоматизированные, автоматические);
- по непрерывности процесса (непрерывные, прерывистые);
- в зависимости от способа защиты металла в зоне сварки (в воздухе, в вакууме, в защитном газе, под флюсом, по флюсу, в пене, с комбинированной защитой);
- по типу защитного газа (в активных газах, в инертных газах, в смеси активных и инертных газов);
- по виду активного газа (в углекислом газе, в азоте, в водяном паре, в смеси активных газов);
- по виду инертного газа (в аргоне, в гелии, в смеси аргона и гелия).

По технологическим признакам сварочные процессы классифицируют:

- по форме сварного соединения (стыковое, угловое, тавровое, нахлесточное, торцовое);
- по роду и полярности тока (постоянным током, переменным током, на прямой полярности, на обратной полярности);
- по виду электрода (сварка плавящимся электродом, сварка неплавящимся электродом).

Такие признаки устанавливают для каждого вида сварки отдельно. Например, вид дуговой сварки может отличаться по типу электрода, характеру защиты или уровню механизации.

1.3. Виды дуговой сварки плавлением

Источником нагрева при дуговых способах сварки служит сварочная дуга, представляющая собой устойчивый электрический разряд, происходящий в газовой среде между электродом и деталью.

По характеру защиты свариваемого металла и сварочной ванны от окружающей среды существуют способы дуговой сварки с шлаковой, газошлаковой и газовой защитой.

По виду электродного материала различают дуговую сварку плавящимися и неплавящимися электродами. Плавящимися электродами служат металлические проволоки и стержни из стали, сплавов алюминия, титана, никеля, меди и других металлов; неплавящимися – угольные, графитовые, вольфрамовые стержни.

При горении дуги и плавлении свариваемого и электродного металлов необходима защита сварочной ванны от воздействия атмосферных газов – кислорода, азота и водорода, так как они растворяются в жидком металле и ухудшают качество металла шва.

По способу защиты сварочной ванны, самой дуги и конца нагреваемого электрода от воздействия атмосферных газов дуговую сварку разделяют на следующие виды: сварку покрытыми электродами; под флюсом; в защитном газе; самозащитной порошковой проволокой; в вакууме; с комбинированной защитой.

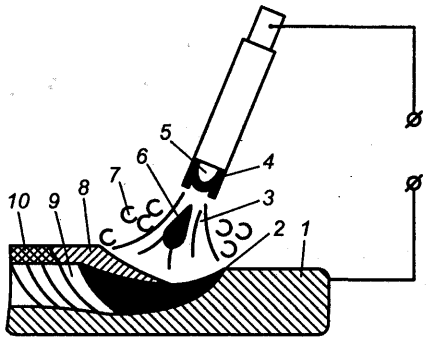


Рис. 1.1. Схема ручной дуговой сварки покрытым электродом:

1 – основной металл; *2* – сварочная ванна; *3* – дуга; *4* – электродное покрытие; *5* – электрод; *6* – капли электродного металла; *7* – газовая защита; *8* – жидкая шлаковая пленка; *9* – шов; *10* – шлаковая корка

По степени автоматизации процесса различают ручную, механизированную, автоматизированную и автоматическую сварку.

Ручная дуговая сварка – один из наиболее распространенных способов соединения материалов, используемых при изготовлении сварных конструкций.

Ручная дуговая сварка (рис. 1.1) – дуговая сварка, при которой возбуждение дуги, подача электрода и его перемещение проводятся вручную. При этом способе сварку выполняют штучными покрытыми электродами. Покрытый электрод представляет собой металлический стержень с нанесенным на его поверхность покрытием (обмазкой).

Покрытие электродов готовят из порошкообразной смеси различных компонентов. Его назначение – повысить устойчивость горения дуги, провести металлургическую обработку сварочной ванны, обеспечить защиту расплавленного металла от атмосферных газов и улучшить качество сварки.

Сварной шов образуется за счет расплавления металла свариваемых кромок и плавления стержня электрода. При этом сварщик вручную выполняет два основных технологических движения: подачу покрытого электрода в зону сварки по мере его расплавления и перемещение дуги вдоль свариваемых кромок.

Достоинства способа: простота и универсальность; возможность выполнения соединений в различных пространственных положениях и труднодоступных местах.

Недостатки способа: малая производительность процесса, зависимость качества сварки от квалификации сварщика.

Тестовые задания

1. Явление электрической дуги открыл профессор В.В. Петров в:

1) 1802 г; 2) 1812 г; 3) 1882 г; 4) 1888 г.

2. Электрический разряд назвал «дуговым» в 1812 г.:

1) Г. Дэви;
2) О. Кельберг;
3) Н.Н. Бенардос;
4) Н.Г. Славянов.

3. Изобретателем дуговой сварки является:

1) Е.О. Патон;
2) О. Кельберг;
3) Н.Н. Бенардос;
4) Н.Г. Славянов.

4. Первую книгу по сварке написал и опубликовал Н.Г. Славянов в:

1) 1802 г; 2) 1885 г; 3) 1892 г; 4) 1934 г.

5. Технологические и металлургические основы дуговой сварки первым разработал:

1) Н.Н. Бенардос;
2) Н.Г. Славянов;
3) Е.О. Патон;
4) В.П. Вологдин.

6. Первым предложил наносить на электрод для ручной дуговой сварки специальное покрытие:

1) Н.Н. Бенардос;
2) Н.Г. Славянов;
3) Е.О. Патон;
4) О. Кельберг.

7. Институт электросварки (ИЭС) в г. Киеве организовал Е.О. Патон в:

1) 1802 г; 2) 1885 г; 3) 1934 г; 4) 1956 г.

8. Сварку можно выполнять:

1) только на земле;
2) только под водой;
3) только в космосе;
4) на земле, под водой, в космосе.

9. Выполнять сварные швы можно в пространственных положениях:

1) любом;
2) только нижнем;
3) вертикальном;
4) потолочном.

10. Сваркой соединяют материалы:

1) только металлы;
2) металлы, пластмассы, стекло;
3) только стекло;
4) только пластмассы.

Глава 2

СВАРОЧНЫЕ ПОСТЫ ДЛЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ

2.1. Стационарные и передвижные сварочные посты

Специально оборудованное рабочее место для сварки называют ***сварочным постом.*** Сварочные посты могут быть стационарными и передвижными.

Стационарные сварочные посты (рис. 2.1) размещают в цехах для изготовления сварных конструкций. К посту подают собранную под сварку конструкцию, при выполнении швов сварщик передвигается, а источник питания током и пусковая аппаратура остаются неподвижными. Передвижения сварщика обусловлены дли-

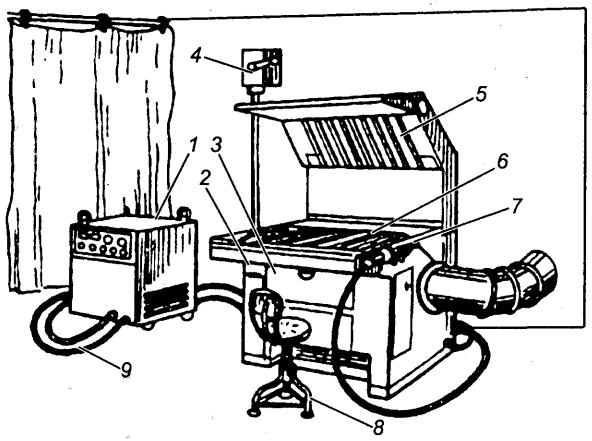


Рис. 2.1. Стационарный сварочный пост для ручной дуговой сварки: *1* – источник сварочного тока; *2* – стол; *3* – ящик для инструмента; *4* – рубильник; *5, 6* – вытяжная камера; *7* – электрододержатель; *8* – стул сварщика; *9* – сварочные провода

БИБЛИОТЕКА профессиональное училище № 129

ной сварочного кабеля – не более 30–40 м; при большей длине падает напряжение в сварочной цепи, что затрудняет процесс сварки.

При сварке небольших конструкций сварочный пост оборудуют в кабине размерами в плане примерно 2 х 2 м и высотой не менее 2 м. Стенки кабины могут быть изготовлены из негорючих и неэлектропроводящих материалов, например из асбестовых листов. При использовании фанеры и брезента их пропитывают огнестойким составом, например раствором алюмокалиевых квасцов. Стены окрашивают в светло-серый цвет красками, хорошо поглощающими ультрафиолетовые лучи (цинковые или титановые белила, желтый крон и др.). Освещенность кабины должна быть не менее 80 лк.

Кабину оборудуют местной вентиляцией с воздухообменом 40 м^3/ч на каждого рабочего. Вход в кабину закрывают брезентовыми шторами с огнестойкой пропиткой. Между стенками и полом должен быть зазор не менее 50 мм для вентиляции. Пол должен быть выложен огнестойким материалом (кирпичом, бетоном). Для включения источника сварочного тока в кабине имеется рубильник или магнитный пускатель.

Сварочный аппарат и пусковая аппаратура расположены обычно в кабине, однако они могут быть вынесены и за ее пределы. В этом случае сварочные аппараты устанавливают на расстоянии не более 15 м от кабины или места сварки в свободных промежутках между колоннами цеха.

Питание сварочным током может быть централизованным. В цехе устраивают машинный зал, оснащенный мощными сварочными аппаратами, от которых проводят медные шины вдоль колонн для подачи тока к 15–30 постам. Посты оборудуют распределительной пусковой аппаратурой, подсоединяемой к шине, и балластным реостатом для регулирования сварочного тока.

В кабине устанавливают металлический сварочный стол высотой 0,5–0,6 м для работы сидя или высотой 0,9–1,1 м для работы стоя. Вместо стола можно использовать манипулятор, кантователь или другое механическое оборудование, облегчающее поворот изделия при сварке швов. При работе применяют стул с подвижным сиденьем. Кабину, как правило, обустраивают вентиляцией и консольным краном для подачи изделий.

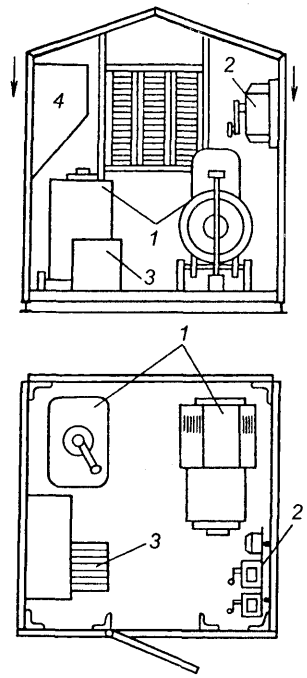


Рис. 2.2. Передвижной сварочный пост: *1* – сварочные аппараты; *2* – пусковые аппараты; *3* – печь для прокалки электродов; *4* – шкаф для инструмента

Передвижные сварочные посты (рис. 2.2) применяют при сварке крупногабаритных изделий (металлоконструкций, сосудов, трубопроводов), при строительстве зданий и сооружений на строительной площадке, а также при ремонтных работах. Такие посты размещают в передвижных машинных залах, изготовленных из стального каркаса, обшитого листовым железом. В зале устанавливают обычно 1–3 сварочных аппарата, пусковую аппаратуру, шкаф для инструмента и сварочного кабеля, печь для прокалки электродов.

Передвижные машинные залы имеют в верхних углах приваренные проушины для закрепления стропами и перемещения по высоте краном или погрузки на машины и вагоны, а внизу – полозья для перемещения на короткое расстояние волоком.

Допускается размещение передвижных постов непосредственно на строительной площадке, но обязательно под навесом. Рабочее место сварщика в условиях монтажа должно быть защищено от дождя, снега и ветра, а также ограждено переносными щитами или ширмами. Находящуюся на площадках сварочную аппаратуру также необходимо защищать от дождя и снега. Посты, установленные на высоте более 2 м, должны быть оборудованы ограждениями и лестницами. Для защиты рабочих от излучения дуги используют складные щиты.

Все участки, где производятся сварочные работы в стационарных или монтажных условиях, должны хорошо освещаться дневным или искусственным светом.

2.2. Оборудование сварочного поста

Основным оборудованием сварочного поста являются источник питания, балластный реостат, ограничитель напряжения холостого хода источника питания, пусковая аппаратура, рабочий стол сварщика, сварочный кабель, электрододержатель, приспособления для сборки и сварки.

Наиболее распространенными *источниками питания* для ручной дуговой сварки являются сварочные трансформаторы. Обычно применяют трансформаторы типов ТД и ТДМ. Для сложных и ответственных сварочных работ посты укомплектовывают источниками питания постоянного тока – преобразователями ПД-502 или ПСО, а также однопостовыми выпрямителями ВД-401, ВД-501 и др.

В цехе или при сварке крупных металлоемких конструкций используются многопостовые источники питания – преобразователь ПСМ-1001, выпрямитель ВДМ-1001 и др. В этом случае пост оборудуют балластными реостатами РБ-300 или РБ-500, которые подсоединяют к сварочному проводу (или шине), идущему от многопостового источника питания сварочной дуги.

Балластный реостат формирует падающую характеристику источника питания и ступенчато регулирует сварочный ток.

Ограничитель напряжения холостого хода источника питания снижает напряжение холостого хода сварочных трансформаторов до 12 В за время не более 1 с после прекращения горения дуги. Применяется при ручной дуговой сварке на открытом воздухе, в особо опасных помещениях, внутри металлических резервуаров, в траншеях, при сварке в неудобной позе или лежа.

Включение однопостового источника питания в силовую электрическую сеть осуществляется с помощью *пусковой и защитной электроаппаратуры*, рассчитанной на напряжение до 1000 В. Это рубильники закрытого типа и плавкие предохранители или автоматические выключатели. Применяют также контакторы (аппараты дистанционного управления сварочным током) и кнопки управления для включения и выключения контакторов.

В случае массовой сборки и сварки деталей в кабине вместо обычного устанавливают *поворотный стол с перегородкой посередине*, а также дополнительный стул для сборщика. В то время как на одной половине стола сварщик производит сварку, на другой – сборщик собирает детали под сварку. При сварке деталей с кольцевыми швами или сложной конфигурации в кабине устанавливают кантователь или манипулятор.

Вентиляция кабины осуществляется местным газоотсосом. Эффективность местного отсоса вредных газов из зоны дыхания сварщика определяется правильным выбором вентилятора, максимальным приближением вытяжных панелей к месту горения дуги и уменьшением излишних подсосов воздуха путем максимального закрытия места сварки.

Лучшим рабочим столом сварщика является стол с решеткой и вытяжкой газов и пыли в сторону или вниз.

2.3. Инструмент и принадлежности сварщика

Электрододержатели. Держатели электродов предназначены для закрепления электрода, подвода к нему сварочного тока и манипулирования электродом в процессе сварки. Электрододержатель должен удовлетворять определенным техническим требованиям, например обеспечивать смену электрода быстро (в течение не более 4 с), без затраты усилий на вставку электрода и удаление огарка. Длина огарка электрода должна быть минимальной. Держатели должны надежно фиксировать электрод при любом положении во время сварки. Кроме того, электрод должен закрепляться не менее чем в двух положениях: перпендикулярном и под углом. Электрододержатель должен выдерживать без ремонта 8000–10 000 зажимов электрода.

Электрододержатели должны быть достаточно прочны, удобны в эксплуатации, иметь минимальную массу, надежный электрический контакт с электродом и простое надежное соединение со сварочным проводом. Они должны быть пригодны для работы на открытом воздухе при температуре от –30 до + 55 °С.

Электрододержатели выпускают для номинального тока 125, 200, 250, 315, 400 и 500 А. Масса их колеблется от 0,35 кг (для номинального тока до 125 А) до 0,75 кг (для номинального тока 500 А). Рукоятки электрододержателей и поверхности их деталей изолированы электро- и теплоизоляционными материалами. Они имеют разнооб-

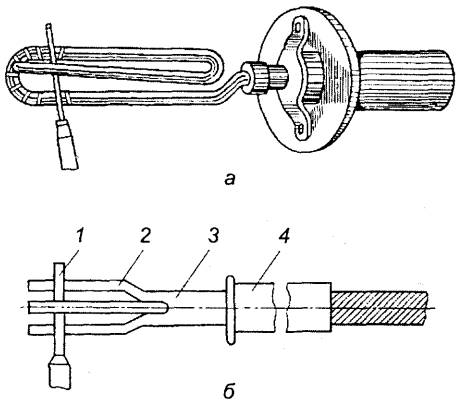


Рис. 2.3. Электрододержатели вилочного типа: *а* – пружинный; *б* – простой: *1* – электрод; *2* – вилочный держатель; *3* – токоподвод; *4* – ручка

разные конструкции. В зависимости от способа закрепления электрода различают вилочные, пассатижные, винтовые, рычажные, защелочные, эксцентриковые и другие держатели электродов.

Электрододержатели вилочного типа (рис. 2.3) имеют простую конструкцию и могут быть изготовлены в любой мастерской. Они легкие, имеют хороший контакт с электродом.

Электрододержатели ЭП пассатижного типа (рис. 2.4) предназначены для сварки и наплавки швов во всех пространственных положениях на токах до 250 А (ЭП-2) и до 500 А (ЭП-3). Электрод зажимается между токоподводящей губкой *5* и рычагом *3*. Усилие зажима электрода создается пружиной *2*, защищенной пластмассовыми колпачками *1*. Удаление огарка из электрододержателя и замена его новым электродом производится нажатием на рычаг *3*. Электрическое контактное соединение сварочного кабеля с электрододержателем осуществляется путем заклинивания его между конусом *6* нижней губки и корпусом *7* резьбовой втулки. Такое соединение обеспечивает надежный контакт между кабелем и электрододержателем. Кроме того, это соединение разъемное и позволяет быстро присоединить и отсоединить сварочный кабель. Изоляция электрододержателей осуществляется теплостойкими пластмассовыми деталями *4*.

Электрододержатели ЭД пассатижного типа имеют то же назначение, что и электрододержатели типа ЭП.

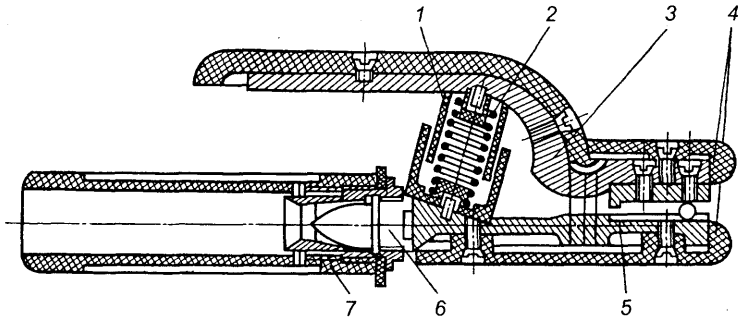


Рис. 2.4. Электрододержатель ЭП пассатижного типа

Они предназначены для сварки и наплавки швов во всех пространственных положениях на токах до 125 А (ЭД-125), до 315 А (ЭД-315) и до 500 А (ЭД-500). Удаление огарка из электрододержателя и замену его новым электродом выполняют так же, как в электрододержателях ЭП. Сварочный кабель соединяют с электрододержателем с помощью кабельного наконечника.

Электрододержатели ЭДС защелочного типа (рис. 2.5) предназначены для сварки и наплавки швов в нижнем и вертикальном положениях на токах до 125 А (ЭДС-125) и до 315 А (ЭДС-315). Особенностью электрододержателей ЭДС является то, что устройство для крепления электродов снабжено поворотной втулкой с фигурными выступами, которая, вращаясь вместе с муфтой *2*, воздействует на прижимной стержень *1*. Поворачивая муфту в любую сторону, можно зажимать электрод и освобождать его огарок. Это упрощает эксплуатацию электрододержателя, и специальные навыки сварщику не требуются. Сварочный кабель прикрепляется к электрододержателям с помощью специальных винтов.

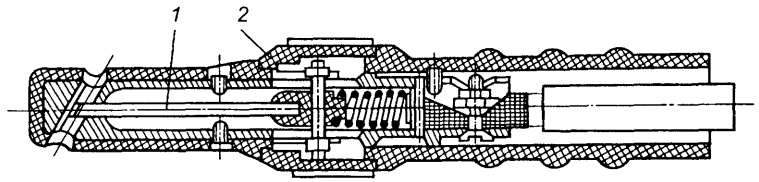


Рис. 2.5. Электрододержатель ЭДС защелочного типа

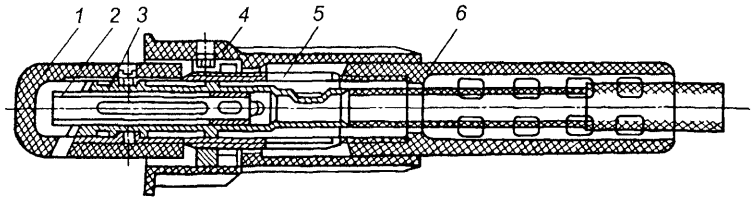


Рис. 2.6. Электрододержатель ЭВ винтового типа

Электрододержатели ЭВ винтового типа (рис. 2.6) предназначены для сварки и наплавки швов в нижнем и вертикальном положениях на токах до 125 А (ЭВ-4), до 315 А (ЭВ-3) и до 500 А (ЭВ-2). Электрод зажимается под углом 70° к продольной оси электрододержателя между ползуном *2* и токоподводом *3*. Электрододержатели изолированы с помощью теплостойких пластмассовых деталей: колпачка *1*, накладки *4* и рукоятки *6*. Соединение сварочного кабеля с электрододержателем неразъемное: оно выполняется путем опрессовки кабеля в токоподводе *3*. Характерно введение в конструкцию специальной детали – радиатора *5*, предназначенного для предотвращения перегрева рукоятки электрододержателя.

Электрододержатели ЭР с рычажным зажимом (рис. 2.7) предназначены для сварки и наплавки швов в нижнем и вертикальном положениях на токах до 300 А (ЭР-1) и до 500 А (ЭР-2). Электрод зажимается под углом 70° к про-

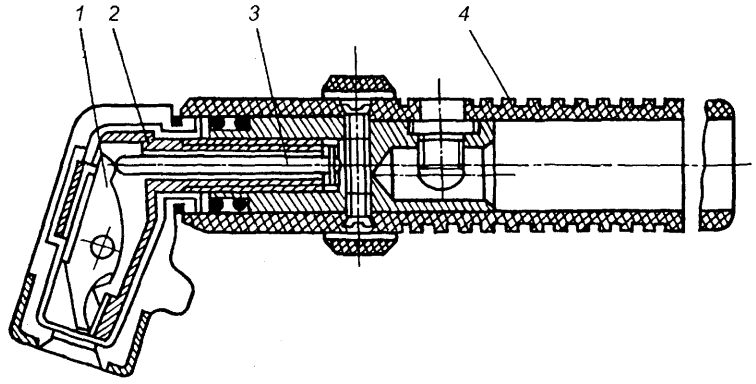


Рис. 2.7. Электрододержатель ЭР с рычажным зажимом

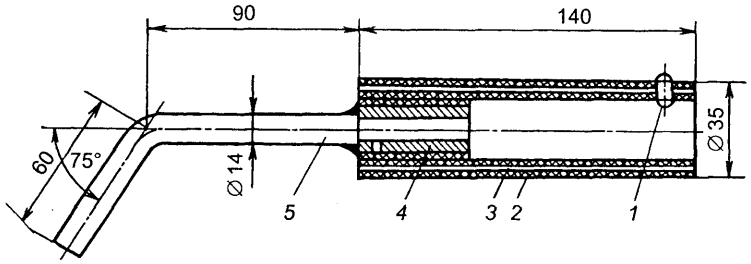


Рис. 2.8. Электрододержатель для безогарковой сварки:
1 – заклепка; *2*, *3* – трубки; *4* – шнур асбестовый; *5* – электрододержатель

дольной оси электрододержателя между токоподводящим наконечником *2* и рычагом *1* с помощью толкателя *3*, перемещаемого в осевом направлении при вращении рукоятки *4*. Изоляция электрододержателей осуществлена с помощью теплостойких пластмассовых деталей.

Электрододержатель для безогарковой сварки (рис. 2.8) легкий (масса 270–330 г) и простой в изготовлении. При его использовании снижается расход электроэнергии и примерно на 10% сокращается расход электродов. При безогарковой сварке электрод плавится почти полностью. Это достигается за счет того, что его обмазывают на всю длину и приваривают концом к электрододержателю.

Электрододержатель для трехфазной сварки (рис. 2.9) предназначен для сварки двумя параллельными электро-

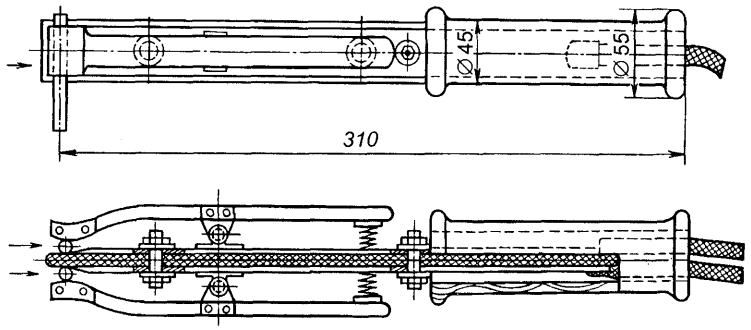


Рис. 2.9. Электрододержатель для трехфазной сварки двумя параллельными электродами

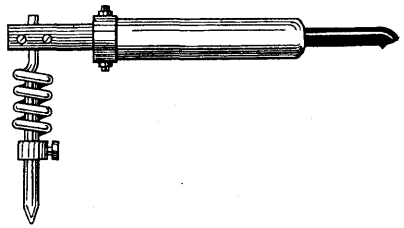


Рис. 2.10. Электрододержатель для угольного электрода с успокоительным соленоидом

дами. Основным требованием, предъявляемым к этим электрододержателям, является возможность свободной манипуляции электродами в любом направлении и исключение возможности замыкания между фазами, подведенными к разным губкам электрододержателя.

Электрододержатели для угольных электродов различаются по конструкции. В качестве примера на рис. 2.10 показан электрододержатель с успокоительным соленоидом для предотвращения блуждания дуги. Соленоид состоит из нескольких витков медной водоохлаждаемой трубки. Один его конец зажимается в электрододержателе, а на другом крепится электрод.

Сварочные кабели. Для подвода тока к электрододержателю и изделию от источника питания применяют гибкие кабели марок РГД, РГДО и РГДВ. Длина кабеля, к которому подсоединен электрододержатель, обычно не превышает 3 м, остальная его часть может заменяться кабелями марок КРПГН, КРПНТ и КРПСН. Использовать кабель длиной более 40 м не рекомендуется, поскольку это приводит к значительному падению напряжения в сварочной цепи, что может отрицательно сказаться на качестве сварки. В этих случаях сварочные кабели проверяют на падение напряжения (ΔU) по формуле

$$\Delta U = \frac{2 I_{св} \rho l_к}{S},$$

где $I_{св}$ – сила сварочного тока, А; ρ – удельное сопротивление металла кабелей, мкОм; $l_к$ – длина кабеля, м; S – поперечное сечение кабеля, мм^2.

Допустимым считается падение напряжение до 4 В. Если напряжение падает на величину, превышающую допустимую, следует увеличить сечение сварочных кабелей или приблизить к месту сварки источник питания.

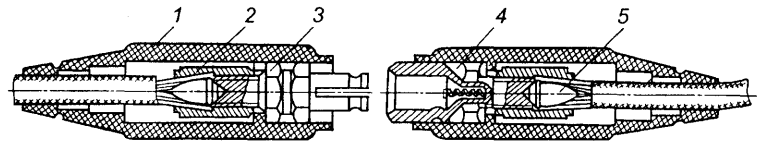


Рис. 2.11. Соединительная быстроразъемная муфта МС-2:
1 – корпус из теплостойкого изоляционного материала; *2* – гайка; *3, 4* – полумуфты; *5* – конус

Кабель, соединяющий свариваемое изделие с источником питания, может быть более жестким и менее дорогостоящим, например марки ПРН.

Площадь сечения сварочного кабеля выбирают в зависимости от сварочного тока и допустимых нагрузок, обычно из расчета 5–7 А/мм^2. Например, площадь сечения одножильного кабеля для сварочного тока 200 А должна составлять 40 мм^2.

Конец кабеля впаивают в наконечник, одна сторона которого выполнена в виде втулки, а другая в виде ушка с отверстием – для надевания на болт клеммы.

Для разъемного соединения кабелей применяют соединительные муфты МС-2, МСБ-2, М-315 и др. (рис. 2.11, 2.12).

Муфта МС-2 предназначена для кабелей сечением 35, 50 и 70 мм^2 и состоит из двух частей, которые соединяются вставками и закрепляются поворотом одной из частей. Разъединение осуществляется аналогично закреплению поворотом в обратную сторону. Перед соединением к каждой половинке муфты прикрепляется сварочный кабель

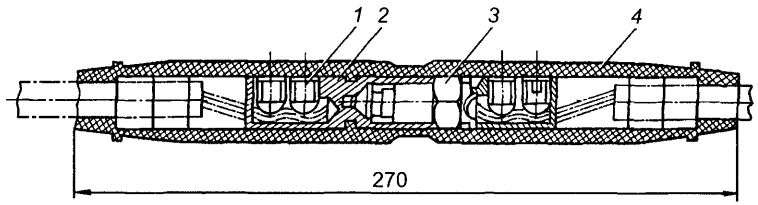


Рис. 2.12. Быстроразъемная муфта МСБ-2:
1 – зажимной винт; *2* – токоподвод; *3* – гайка; *4* – корпус из теплостойкого электроизоляционного материала

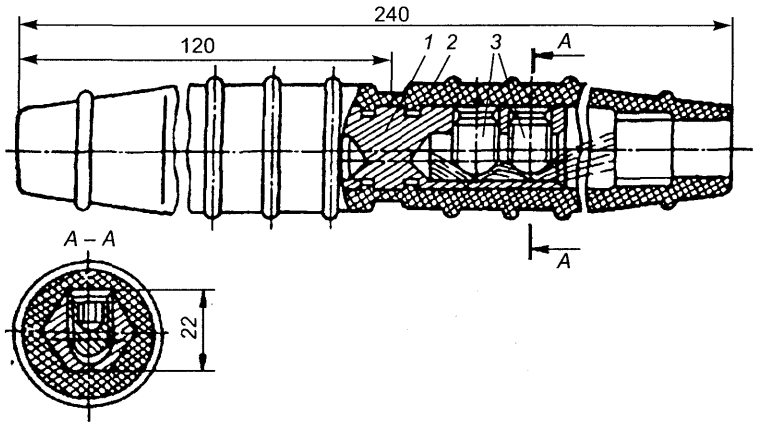


Рис. 2.13. Соединитель ССП-2

путем заклинивания жил его оголенной части между корпусом гайки, вставками и конусом. Соединитель покрыт резиновой изоляцией. Применяют и другие типы муфт, принципиально отличающиеся от МС-2.

Неразъемно кабели соединяют с помощью специального соединителя ССП-2, который состоит из токоподвода *1*, покрытого изоляционным материалом *2*, и винтов *3* (рис. 2.13).

Соединение отрезков сварочного кабеля путем скручивания его оголенных жил, а также подсоединение кабеля к сварочному аппарату без специального подсоединителя или наконечника категорически запрещается, так как это может привести к несчастным случаям или пожару.

К источнику питания кабели подключают медными кабельными наконечниками или соединительной муфтой МС-3. Для быстрого и надежного заземления свариваемых деталей применяют инвентарные струбцины или специальные клеммы заземления. Обратный кабель к заземляемому изделию присоединяют клеммами заземления типа КЗ-2, КЗП, КЗП-12 (рис. 2.14, 2.15).

Для подсоединения сварочного провода к изделию служат пружинные или винтовые зажимы, в которые токопроводящий провод впаивают высокотемпературным припоем или закрепляют механически (рис. 2.16).

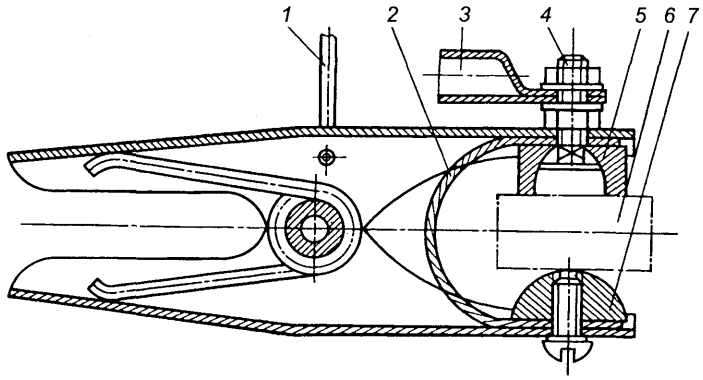


Рис. 2.14. Клемма заземления КЗ-2:
1 – проушина; *2* – стержень; *3* – наконечник; *4* – болт; *5, 7* – губки; *6* – заземляемый предмет

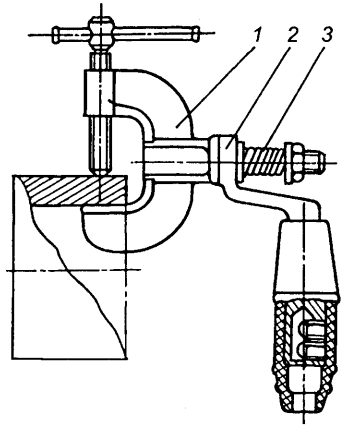


Рис. 2.15. Поворотная клемма заземления КЗП-12:
1 – скоба; *2* – муфта соединительная концевая МК-500; *3* – пружина

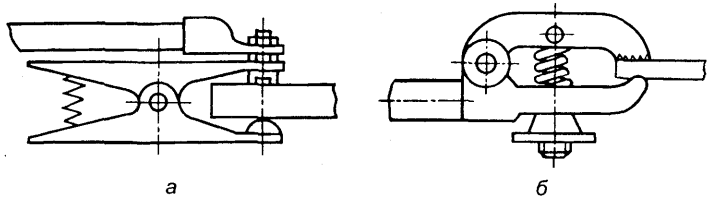


Рис. 2.16. Пружинный (*а*) и винтовой (*б*) зажимы

При продолжительной непрерывной работе сварочный аппарат, кабель и электрододержатель перегреваются. Сечение кабеля выбирают с учетом возможности его нагрева при работе до 80 °С.

Для устранения перегрева устанавливают два сварочных аппарата, которые включают поочередно через каждые два часа работы. Аналогично поступают и для предотвращения перегрева электрододержателя.

Сварочные щитки и шлемы. Щитки и шлемы изготавливают из фибры или пластмассы. Их внутренняя поверхность должна быть гладкой, матовой, черного цвета.

Щиток состоит из корпуса со смотровым окошком и ручки, имеющей круглое поперечное сечение и длину не менее 120 мм.

Шлем состоит из корпуса со смотровым окошком и наголовника, который должен обеспечивать два фиксированных положения корпуса: опущенное (рабочее) и откинутое назад.

Светофильтры. Для защиты глаз от излучения щитки и шлемы снабжены *светофильтрами* типа С темно-зеленого цвета. Их выпускают 13 классов для сварки с применением тока силой 13–900 А (см. табл. 23.1). Защита светофильтра от брызг металла при сварке обеспечивается пластинками из оргстекла, которые по мере повреждения заменяют новыми (обычно 1–2 раза в месяц).

Одежда сварщика. Спецодежда предназначена для защиты частей тела электросварщика от брызг металла, шлака и вредных излучений дуги. Это куртка, брюки, рукавицы, ботинки с высоким верхом из кожи, головной убор.

Куртки и брюки шьют из ткани, пропитанной специальным раствором. Одежда из прорезиненного материала не применяется, так как легко прожигается брызгами электродного металла. Брюки надевают поверх обуви для предохранения ног от ожогов брызгами металла. Рукавицы могут быть брезентовыми или кожаными.

Инструмент сварщика. Стальные щетки служат для зачистки места сварки от ржавчины и грязи перед сваркой и удаления с поверхности швов остатков шлака и брызг металла. Для клеймения швов, вырубки дефектных мест, удаления брызг и шлака применяют соответственно клейма, зубила и молотки.

Сборочные операции перед сваркой выполняют с помощью шаблонов, отвесов, линеек, угольников и других приспособлений. Для проверки размеров швов используют специальные шаблоны. Слесарный инструмент должен быть уложен в переносной инструментальной ящик.

Зачистку шва и околошовной зоны производят ручными пневматическими шлифовальными машинами.

Для сушки электродов служат специальные пеналы, подключаемые к сварочному источнику тока.

При монтажных сварочных работах сварщики держат электроды в брезентовых сумках, которые надевают на плечо.

Тестовые задания

1. Электрододержатели выпускают для номинального тока:

1) менее 125 А;
2) 220 А;
3) 380 А;
4) 125, 200, 250, 315, 400 и 500 А.

2. Масса электрододержателя может составлять:

1) 0,35–0,75 кг;
2) до 0,35 кг;
3) свыше 0,75 кг;
4) 100 г.

3. Электрододержатели должны обеспечивать смену электрода за время не более:

1) 1 с; 2) 4 с; 3) 10 с; 4) 40 с.

4. Длина сварочного кабеля не должна превышать:

1) 10 м; 2) 40 м; 3) 100 м; 4) 400 м.

5. Площадь сечения сварочного кабеля выбирают в зависимости от сварочного тока и допустимых нагрузок из расчета:

1) 1–4 А/мм^2;
2) 5–7 А/мм^2;
3) 8–14 А/мм^2;
4) 15–20 А/мм^2.

6. Площадь сечения одножильного кабеля для силы сварочного тока 200 А должна составлять:

1) 10 мм^2; 2) 40 мм^2; 3) 100 мм^2; 4) 400 мм^2.

7. При продолжительной непрерывной работе кабель и электрододержатель перегреваются, поэтому сечение кабеля выбирают с учетом возможности его нагрева при работе до:

1) 30 °С; 2) 40 °С; 3) 80 °С; 4) 100 °С.

8. Выпускают 13 классов светофильтров и выбирают их в зависимости от:

1) возраста сварщика;
2) скорости сварки;
3) напряжения на дуге;
4) силы сварочного тока.

9. Светофильтры для сварщиков имеют цвет:

1) красный;
2) желтый;
3) зеленый;
4) синий.

10. Защита светофильтра от брызг металла при сварке обеспечивается пластинками из оргстекла, которые по мере повреждения заменяют новыми 1–2 раза в:

1) час;
2) смену;
3) месяц;
4) год.

Глава 3

СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ И ШВЫ

3.1. Типы сварных соединений

Термины и определения. Термины и определения для сварных конструкций, узлов, соединений и швов установлены ГОСТ 2601–84.

Соединения – конструктивные скрепления частей изделий. Различают разъемные соединения (болтовые), которые можно разбирать и снова собирать, и неразъемные (сварные и заклепочные).

Сварным соединением называют неразъемное соединение двух и более элементов (деталей), выполненное с помощью сварки. В сварное соединение входят сварной шов, прилегающая к нему зона основного металла со структурными и другими изменениями в результате термического действия сварки (зона термического влияния) и примыкающие к ней участки основного металла.

Сварной шов представляет собой участок сварного соединения, образовавшийся в результате кристаллизации расплавленного металла или в результате пластической деформации при сварке давлением или сочетания кристаллизации и деформации.

Сварной узел представляет собой часть сварной конструкции, в которой сварены примыкающие друг к другу элементы.

Сварной конструкцией называется металлическая конструкция, изготовленная из отдельных деталей или узлов с помощью сварки.

Металл деталей, подлежащих соединению сваркой, называют ***основным металлом.***

Металл, подаваемый в зону дуги дополнительно к расплавленному основному металлу, называют ***присадочным металлом.***

3. Зак. 717.

Переплавленный присадочный металл, введенный в сварочную ванну или наплавленный на основной металл, называют ***наплавленным металлом***.

Сплав, образованный переплавленным основным или основным и наплавленным металлами, называют ***металлом шва***.

Работоспособность сварного изделия определяется типом сварного соединения, формой и размерами сварных соединений и швов, их расположением относительно действующих сил, плавностью перехода от сварного шва к основному металлу и др.

При выборе типа сварного соединения учитывают условия эксплуатации (статические или динамические нагрузки), способ и условия изготовления сварной конструкции (ручная сварка, автоматическая в заводских или монтажных условиях), экономию основного металла, электродов и др.

Типы сварных соединений. По форме сопряжения соединяемых деталей (элементов) различают следующие типы сварных соединений: стыковые, угловые, тавровые, нахлесточные, торцовые (табл. 3.1).

Основные типы, конструктивные элементы и размеры сварных соединений приведены в табл. 3.2.

Стыковое соединение представляет собой сварное соединение двух элементов, расположенных в одной плоскости и примыкающих один к другому торцовыми поверхностями. Условные обозначения стыковых соединений: С1–С45.

Различают следующие стыковые соединения: с отбортовкой, без скоса кромок, с односторонним скосом (V-образным), с двусторонним скосом (X-образным), с криволинейным скосом кромок.

Стыковое соединение наиболее распространено в сварных конструкциях, поскольку имеет ряд преимуществ перед другими видами соединений. Его применяют в широком диапазоне толщины свариваемых деталей от десятых долей миллиметра до сотен миллиметров почти при всех способах сварки. При стыковом соединении на образование шва расходуется меньше присадочного материала, легко и удобно контролировать качество. Однако стыковое соединение требует более точной сборки деталей под сварку плавлением – нужно выдержать равномерный

Табл. 3.1. **Основные типы сварных соединений**

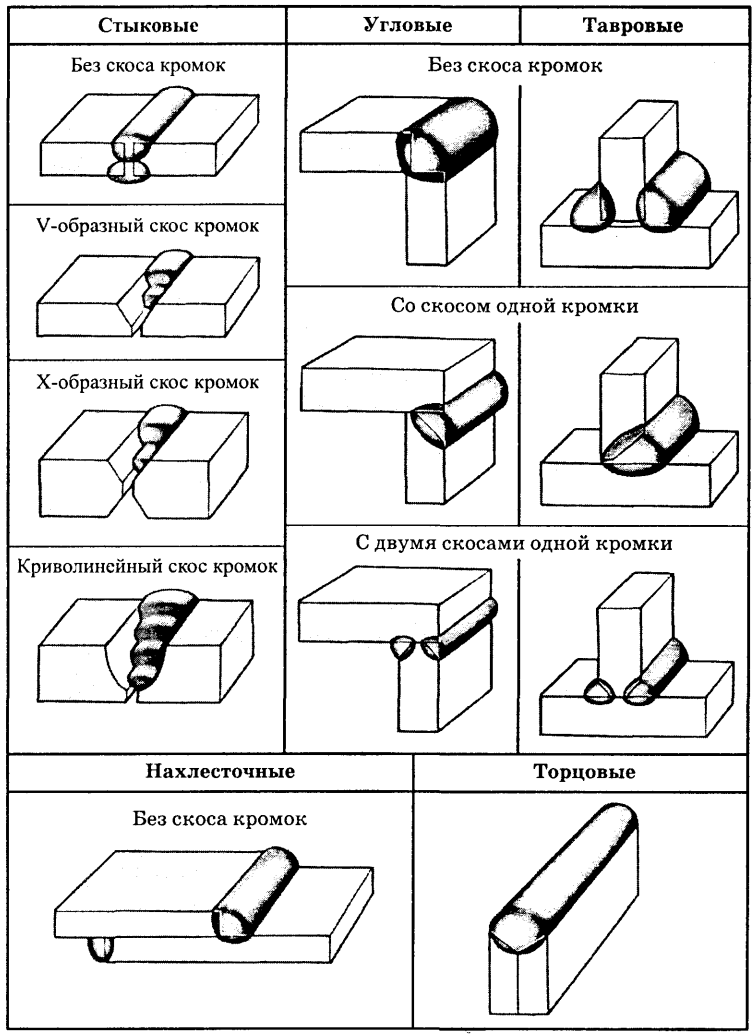


Табл. 3.2. **Основные типы, конструктивные элементы и размеры сварных соединений**

Тип соединения	Форма подготовленных кромок	Характер сварного шва	Форма поперечного сечения		Толщина свариваемых деталей, мм
			подготовленных кромок	сварного шва	
Стыковое	С отбортовкой	Односторонний			1–4
	Без скоса	Односторонний			1–6
	Без скоса	Двусторонний			3–8
	С V-образным скосом	Односторонний			3–60
	С X-образным скосом	Двусторонний			8–120
	С K-образным скосом	Двусторонний			8–100
	С криволинейным скосом	Двусторонний			15–100
Угловое	Без скоса	Двусторонний			2–30
	Со скосом одной кромки	Двусторонний			3–60
Тавровое	Без скоса	Двусторонний			4–40
	С двумя скосами одной кромки	Двусторонний			8–100
Нахлесточное	Без скоса	Двусторонний			2–60

зазор между кромками по всей длине стыка. Особенно сложно обрабатывать и подгонять кромки длинных (до нескольких метров) стыков и кромки профильного проката (уголков, швеллеров и т.п.).

Угловое соединение представляет собой сварное соединение двух элементов, расположенных под углом друг к другу и сваренных в месте приложения их кромок. Условные обозначения угловых соединений: У1–У10.

Угловые соединения широко применяются в машиностроительных, а также строительных конструкциях (балках, мачтах, фермах и т.п.).

Швы угловых соединений желательно выполнять в нижнем положении, которое называют «в лодочку». В таком положении обеспечиваются лучшие условия формирования сварного шва.

Тавровое соединение – это соединение, в котором к боковой поверхности одного элемента примыкает под углом и приварен торцом другой элемент. Как правило, угол между элементами прямой. Условные обозначения тавровых соединений: Т1–Т9.

Угловые и тавровые соединения обычно определяются особенностями конструкции свариваемого изделия. При большой толщине соединяемых деталей в стыковых, угловых и тавровых соединениях на соединяемых кромках выполняют разделку, которая обеспечивает возможность полного проплавления кромок.

Нахлесточное соединение представляет собой сварное соединение, в котором соединяемые элементы расположены параллельно и частично перекрывают друг друга. Эти соединения могут быть как с односторонними, так и с двусторонними швами. Условные обозначения: Н1 и Н2.

Нахлесточные соединения в разделке не нуждаются – это одно из их преимуществ. Они отличаются простотой сборки: за счет величины нахлестки можно подгонять размеры собираемой детали, увеличивать допуск на непараллельность кромок деталей. Но нахлестка требует увеличения расхода основного материала – величина нахлестки должна быть не менее трех толщин наиболее тонкой из свариваемых деталей. В щель между деталями по длине нахлестки может попасть влага, что приведет к коррозии соединения. Сварные швы в нахлесточном соединении

расположены в разных плоскостях, при эксплуатации в них будет сложное напряженное состояние, поэтому нахлесточные соединения хуже работают при переменной или динамической нагрузке.

Соединение внахлестку широко используют при изготовлении резервуаров, мачт, ферм, колонн и других конструкций.

Торцовое соединение – это соединение, в котором боковые поверхности элементов примыкают друг к другу, а шов выполняют общим на торцах обеих деталей. Условных обозначений в стандарте пока нет.

Помимо стыковых, тавровых, нахлесточных, угловых соединений, при сварке применяют соединения *в кромку* (при толщине свариваемых элементов до 3 мм) и *прорезные соединения*, имеющие прорезь в одной из деталей, привариваемой внахлестку. Прорезные соединения имеют круглые и удлиненные отверстия. Если диаметр отверстия превышает 30 мм, то сварку по внутреннему контуру отверстия выполняют без его полного заполнения.

Сварные швы в зависимости от типа соединения подразделяют на стыковые (в стыковых соединениях) и угловые (в угловых, тавровых и нахлесточных соединениях).

3.2. Классификация сварных швов

Сварной шов является элементом сварного соединения, который образуется после кристаллизации (затвердевания) расплавленного металла сварочной ванны по линии перемещения сварочной дуги при сварке.

Сварные швы классифицируют по ряду признаков.

❑ По внешнему виду швы делят на выпуклые, нормальные, вогнутые (рис. 3.1). Как правило, все швы выполняют с небольшим

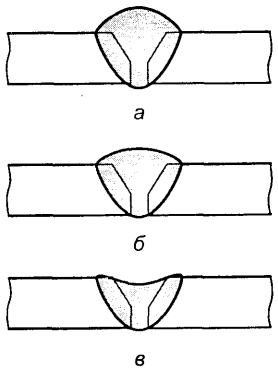


Рис. 3.1. Классификация швов по внешнему виду:
а – выпуклые; *б* – нормальные; *в* – вогнутые

усилением (выпуклыми). Если требуются швы без усиления, это должно быть указано на чертеже. Ослабленными (вогнутыми) выполняют угловые швы, что также отмечается на чертеже. Такие швы требуются для улучшения работы сварных соединений, например при переменных нагрузках. Стыковые швы ослабленными не делают, вогнутость в этом случае является браком. Увеличение размеров сварных швов по сравнению с заданными приводит к увеличению массы свариваемой конструкции и перерасходу электродов. В результате возрастает себестоимость сварных конструкций, повышается трудоемкость сварочных работ.

❑ По протяженности швы бывают непрерывные и прерывистые. В основном швы выполняют непрерывными.

Непрерывный шов – сварной шов без промежутков по длине.

Прерывистый шов – сварной шов с промежутками по длине.

Прерывистые швы обычно используют при малых нагрузках, действующих на конструкцию.

Швы тавровых соединений бывают двусторонние прерывистые, односторонние прерывистые, двусторонние цепные, двусторонние шахматные (рис. 3.2).

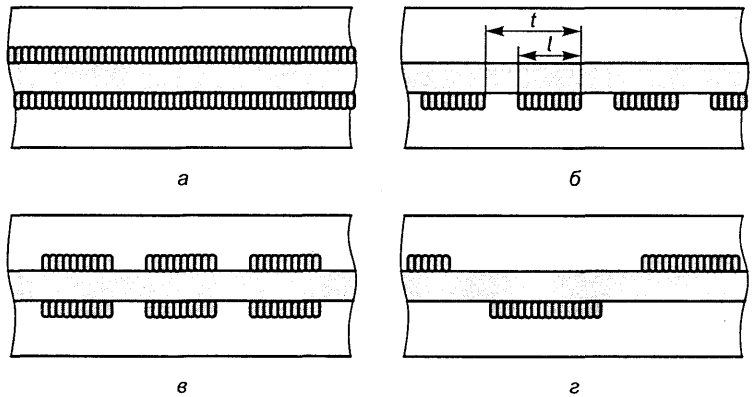


Рис. 3.2. Классификация швов по протяженности:
а – двусторонние непрерывные; *б* – односторонние прерывистые; *в* – двусторонние цепные; *г* – двусторонние шахматные: *l* – длина шва; *t* – шаг

Цепной прерывистый шов – двусторонний прерывистый шов, у которого промежутки расположены по обеим сторонам стенки один против другого.

Шахматный прерывистый шов – двусторонний прерывистый шов, у которого промежутки на одной стороне стенки расположены против сваренных участков шва с другой ее стороны.

❑ По выполнению швы подразделяют на односторонние и двусторонние (рис. 3.3). Швы выполняют как на весу, так и на различных подкладках и флюсовых подушках. Меньшая часть двустороннего шва, выполняемая предварительно для предотвращения прожогов при последующей сварке или накладываемая в последнюю очередь в корень шва, называется *подварочным швом*. *Корень шва* – часть сварного шва, наиболее удаленная от его лицевой поверхности.

❑ По числу слоев и проходов различают однослойные, многослойные, однопроходные, многопроходные швы (рис. 3.4).

Слой сварного шва – часть металла сварного шва, которая состоит из одного или нескольких валиков, располагающихся на одном уровне поперечного сечения шва.

Валик – металл сварного шва, наплавленный или переплавленный за один проход.

При сварке каждый слой многослойного шва отжигается при наложении последующего слоя. В результате такого теплового воздействия на металл сварного шва

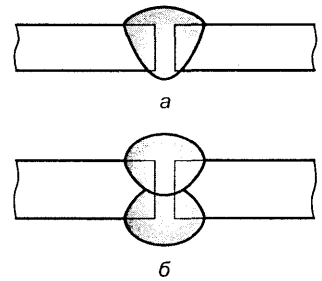


Рис. 3.3. Классификация швов по выполнению:
а – односторонние; *б* – двусторонние

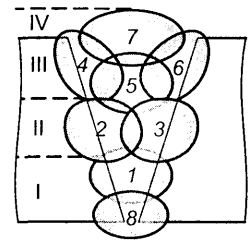


Рис. 3.4. Классификация швов по числу слоев и проходов:
I–IV – число слоев; *1–8* – число проходов

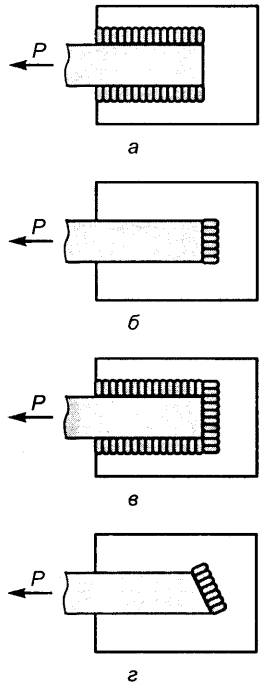


Рис. 3.5. Классификация швов по действующему усилию:
а – продольные (фланговые); *б* – поперечные (лобовые); *в* – комбинированные; *г* – косые

улучшаются его структура и механические свойства. Толщина каждого слоя в многослойных швах примерно равна 5–6 мм.

❑ По действующему усилию швы делят на продольные (фланговые), поперечные (лобовые), комбинированные, косые (рис. 3.5). Лобовой шов расположен перпендикулярно к усилию *P*, фланговый – параллельно, а косой – под углом.

❑ По положению в пространстве различают нижние, горизонтальные, вертикальные и потолочные швы (рис. 3.6). Отличаются они друг от друга углами, под которыми располагается поверхность свариваемой детали относительно горизонтали. Наиболее труден для исполнения потолочный шов, лучше всего шов формируется в нижнем положении. Потолочные, вертикальные и горизонтальные швы приходится обычно выполнять при изготовлении и особенно при монтаже крупногабаритных конструкций.

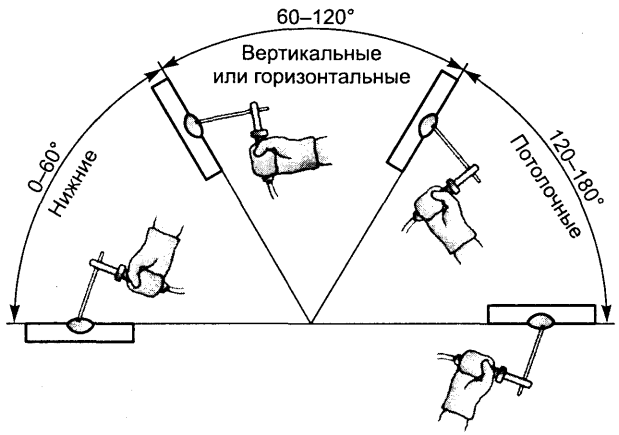


Рис. 3.6. Классификация сварных швов по их положению в пространстве

Примеры обозначения сварных швов по их положению в пространстве даны на рис. 3.7.

❑ По назначению швы делят на рабочие и связующие. *Рабочий шов* – это сварной шов, воспринимающий эксплуатационные нагрузки. *Связующий шов* нужен лишь для фиксации деталей в нужном положении, он не предназначен для передачи усилий при работе сварной конструкции.

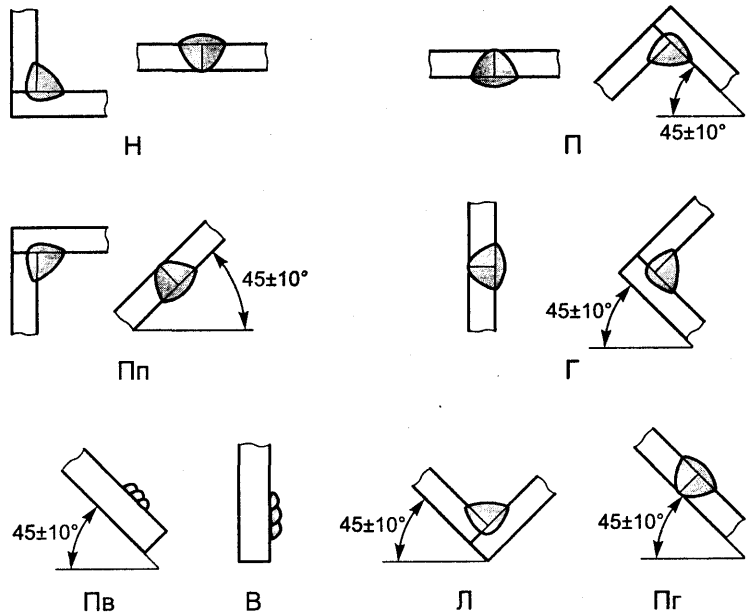


Рис. 3.7. Обозначение сварных швов по их положению в пространстве:
Н – нижние; П – потолочные; Пп – полупотолочные; Г – горизонтальные; Пв – полувертикальные; В – вертикальные; Л – «в лодочку»; Пг – полугоризонтальные

3.3. Геометрические параметры сварного шва

Стыковой шов. Элементами геометрической формы ***стыкового шва*** (рис. 3.8) являются: ширина шва – e, выпуклость шва – q, глубина провара – h, толщина шва – t, зазор – b, толщина свариваемого металла – S.

Ширина сварного шва – расстояние между видимыми линиями сплавления на лицевой стороне сварного шва при сварке плавлением.

Выпуклость сварного шва определяется расстоянием между плоскостью, проходящей через видимые линии границы сварного шва с основным металлом, и поверхностью сварного шва, измеренным в месте наибольшей выпуклости.

Глубина проплавления (провара) представляет собой наибольшую глубину расплавления основного металла в сечении шва. Это глубина проплавления свариваемых элементов соединения.

Толщина шва включает выпуклость сварного шва и глубину проплавления ($t = q + h$).

Зазор – расстояние между торцами свариваемых элементов. Устанавливается в зависимости от толщины свариваемого металла и составляет 0–5 мм (большой размер – для толстого металла).

Характеристикой формы шва является *коэффициент формы сварного шва* $K_п$ – коэффициент, выражаемый отношением ширины стыкового или углового шва к его толщине. Для стыкового шва $K_п = e/t$. Оптимальный $K_п$ – от 1,2 до 2 (может изменяться в пределах 0,5–4).

Другой характеристикой формы шва является *коэффициент выпуклости сварного шва*, который определяют отношением ширины шва к выпуклости шва: $K_у = e/q$. *Коэффициент* $K_у$ не должен превышать 7–10.

Ширина сварного шва и глубина провара зависят от способа и режимов сварки, толщины свариваемых элементов и других факторов.

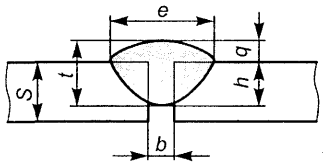


Рис. 3.8. Геометрические параметры стыкового шва

Угловой шов. Элементами геометрической формы ***углового шва*** (рис. 3.9) являются: катет шва – k, выпуклость шва – q, расчетная высота шва – p, толщина шва – a.

Катет углового шва – кратчайшее расстояние от поверхности одной из свариваемых частей до границы углового шва на поверхности второй свариваемой части.

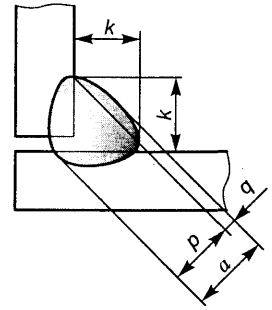


Рис. 3.9. Геометрические параметры углового шва

Выпуклость сварного шва определяется расстоянием между плоскостью, проходящей через видимые линии границы сварного шва с основным металлом, и поверхностью сварного шва, измеренным в месте наибольшей выпуклости.

Расчетная высота углового шва – длина перпендикуляра, опущенного из точки максимального проплавления в месте сопряжения свариваемых частей на гипотенузу наибольшего вписанного во внешнюю часть углового шва прямоугольного треугольника.

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

Если шов выполнен вогнутым, то измеряют *вогнутость углового шва*. Она определяется расстоянием между плоскостью, проходящей через видимые линии границы углового шва с основным металлом, и поверхностью шва, измеренным в месте наибольшей вогнутости.

В зависимости от параметров сварки и формы подготовки свариваемых кромок деталей доли участия основного и наплавленного металлов в формировании шва могут существенно изменяться (рис. 3.10).

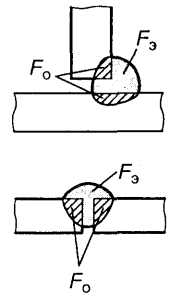


Рис. 3.10. Площади сечения расплавленного основного металла и наплавленного электродного металла

Коэффициент доли основного металла в металле шва определяют по формуле

$$K_о = F_о/(F_о + F_э),$$

где $F_о$ – площадь сечения шва, сформированная за счет расплавления основного металла; $F_э$ – площадь сечения шва, сформированная за счет наплавленного электродного металла.

При изменении доли участия основного и присадочного металлов в формировании шва его состав может изменяться, следовательно, изменяются и его механические, коррозионные и другие свойства.

Основные типы и конструктивные элементы швов сварных соединений для ручной дуговой сварки регламентирует ГОСТ 5264–80.

3.4. Конструктивные элементы разделки кромок

Существующие способы ручной дуговой сварки позволяют сваривать без разделки кромок металл ограниченной толщины – до 5 мм. Поэтому при сварке металла большой толщины выполняют разделку кромок под сварку для доступа сварочной дуги в глубь соединения и обеспечения качественного провара и формирования сварного шва.

Разделка кромок – придание кромкам, подлежащим сварке, необходимой формы (рис. 3.11).

Элементами геометрической формы подготовки кромок под сварку являются: угол разделки кромок – α, угол скоса кромки – β, зазор – *b*, притупление кромок – *c*.

Угол разделки кромок – угол между скошенными кромками свариваемых частей. В зависимости от способа сварки и типа соединения он изменяется от 60 до 90°. От типа и величины разделки кромок зависят количество дополнительного металла для заполнения разделки, а значит, и производительность сварки. Так, например, Х-образная разделка кромок по сравнению с V-образной позволяет уменьшить объем наплавленного металла в 1,6–1,7 раза.

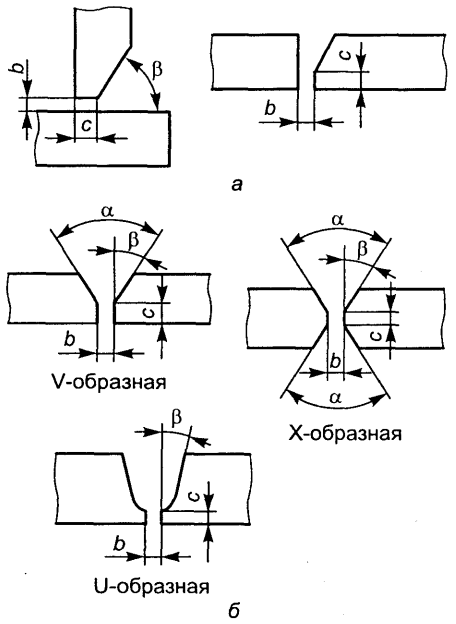


Рис. 3.11. Конструктивные элементы разделки кромок:
а – разделка одной кромки; *б* – разделка двух кромок

Угол скоса кромки – острый угол между плоскостью скоса кромки и плоскостью торца. Обычно составляет 30–50°.

Скос кромки – прямолинейный наклонный срез кромки, подлежащей сварке.

Зазор – кратчайшее расстояние между кромками собранных для сварки деталей. В зависимости от толщины свариваемого металла он обычно составляет 0–5 мм. Наличие зазора необходимо для провара корня шва. Чем больше зазор, тем глубже проплавление металла.

Притупление кромки – нескошенная часть торца кромки, подлежащей сварке. В зависимости от толщины свариваемого металла составляет 1–3 мм. Его назначение – обеспечить правильное формирование шва и предотвратить прожоги в корне шва.

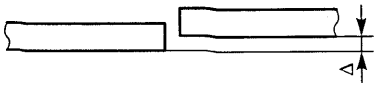


Рис. 3.12. Смещение Δ свариваемых кромок

При сборке деталей под сварку может возникать смещение Δ свариваемых кромок друг относительно друга (рис. 3.12). Допустимое смещение свариваемых кромок в зависимости от толщины свариваемого металла указано в табл. 3.3.

Табл. 3.3. **Допустимое смещение Δ свариваемых кромок**

Толщина металла, мм	До 4	4–10	10–100	Свыше 100
Наибольшее допустимое смещение Δ, мм	0,5	1,0	0,1S, но не более 3 мм	0,01S + 2, но не более 4 мм

При сварке листов разной толщины разделку кромок выполняют по схеме, показанной на рис. 3.13.

Для односторонней разделки ширина скоса

$$L = 5\,(S_1 - S),$$

где S_1 и S – толщина соответственно толстого и тонкого металла.

Для двусторонней разделки ширина скоса

$$L_1 = 2{,}5\,(S_1 - S).$$

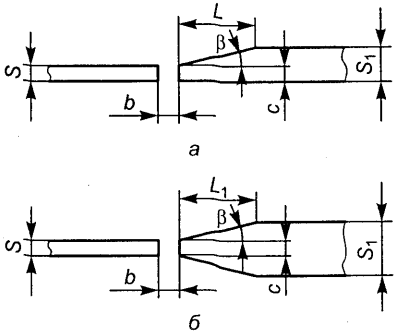


Рис. 3.13. Разделка кромок листов разной толщины:
а – скос одной кромки; *б* – скос двух кромок

3.5. Обозначения сварных швов

Условные изображения швов сварных соединений. Основные типы, конструктивные элементы, размеры и условные обозначения сварных соединений и швов на чертежах, а также форма и размеры подготовки свариваемых кромок из различных конструкционных материалов, применяемых при дуговой сварке, регламентируются стандартами.

На чертежах сварных изделий применяют условные изображения и обозначения швов, приведенные в ГОСТ 2.312–72.

Шов сварного соединения, независимо от способа сварки, условно изображают: видимый – сплошной линией (рис. 3.14, *а*, *в*), невидимый – штриховой (рис. 3.14, *г*).

Видимую одиночную сварную точку, независимо от способа сварки, условно обозначают знаком «+» (рис. 3.14, *б*), который выполняют сплошными линиями (рис. 3.15).

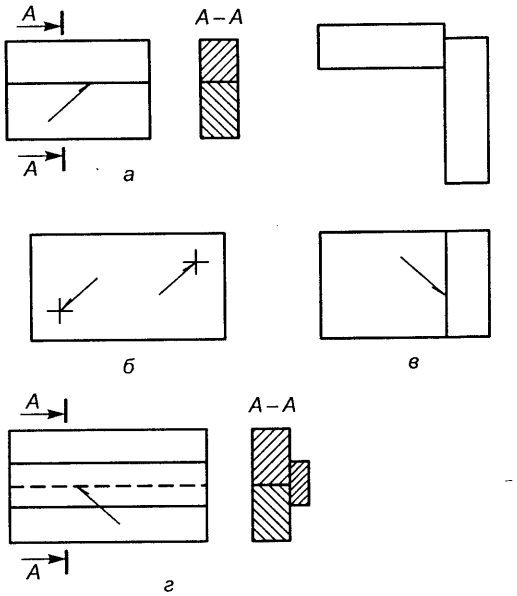


Рис. 3.14. Изображение сварных швов

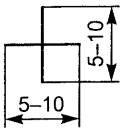


Рис. 3.15. Изображение видимой одиночной сварной точки

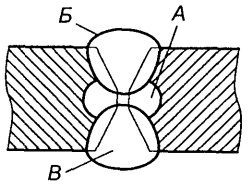


Рис. 3.16. Изображение сечения многопроходного шва

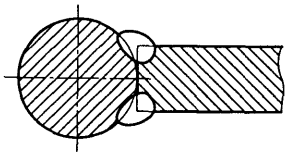


Рис. 3.17. Изображение нестандартных швов

От изображения шва проводят линию-выноску с односторонней стрелкой, указывающей место расположения шва (см. рис. 3.14). Линию-выноску предпочтительно выполнять от изображения видимого шва.

На изображение сечения многопроходного шва допускается наносить контуры отдельных проходов, при этом их необходимо обозначать прописными буквами русского алфавита (рис. 3.16).

Нестандартные швы изображают с указанием конструктивных элементов, необходимых для выполнения шва по данному чертежу (рис. 3.17).

На чертежах поперечных сечений границы шва наносят сплошными основными линиями, а конструктивные элементы кромок в границах шва – сплошными тонкими линиями.

Условные обозначения швов сварных соединений. Вспомогательные знаки для обозначения сварных швов приведены в табл. 3.4.

В условном обозначении шва (рис. 3.18) вспомогательные знаки выполняют сплошными тонкими линиями. Вспомогательные знаки должны быть одинаковой высоты с цифрами, входящими в обозначение шва.

Обозначения сварных швов наносят над полкой линии-выноски для лицевой стороны шва (рис. 3.19, *а*) и под полкой – для обратной (рис. 3.19, *б*).

При наличии на чертеже одинаковых швов обозначение наносят у одного из изображений, а от изображений остальных одинаковых швов проводят линии-выноски с полками. Всем одинаковым швам присваивается один порядковый номер, который наносят:

Табл. 3.4. **Вспомогательные знаки для условного обозначения сварных швов**

Вспомогательный знак	Значение	Расположение
	Усиление шва снять	
	Наплывы и неровности шва обработать с плавным переходом к основному металлу	
	Монтажный шов	
	Шов по замкнутому контуру	
	Шов по незамкнутому контуру	
	Шов прерывистый или точечный с цепным расположением участков	
	Шов прерывистый или точечный с шахматным расположением участков	

а) на линии-выноске, имеющей полку с нанесенным обозначением шва (рис. 3.20, *а*);

б) на полке линии-выноски, проведенной от изображения шва, не имеющего обозначения, с лицевой стороны (рис. 3.20, *б*);

в) под полкой линии-выноски, проведенной от изображения шва, не имеющего обозначения, с оборотной стороны (рис. 3.20, *в*).

Количество одинаковых швов допускается указывать на линии-выноске, имеющей полку с нанесенным обозначением (рис. 3.20, *а*).

Швы считаются одинаковыми, если одинаковы их типы и размеры конструктивных элементов в поперечном сечении и если к ним предъявляют одни и те же требования.

Примеры условных обозначений швов сварных соединений даны в табл. 3.5.

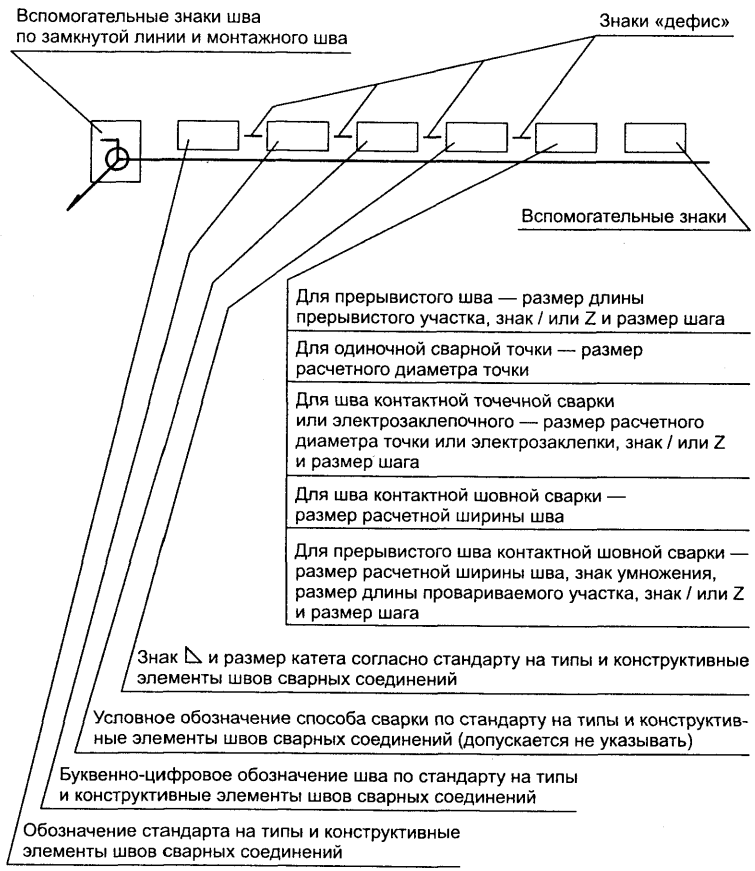


Рис. 3.18. Структура условного обозначения сварного шва

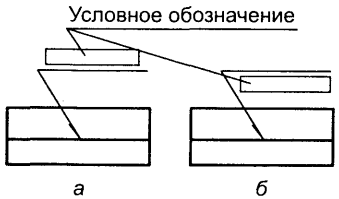


Рис. 3.19. Обозначения сварных швов

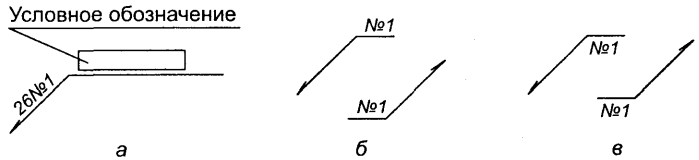


Рис. 3.20. Обозначение одинаковых швов

Табл. 3.5. **Обозначение сварных швов**

Шов	Обозначение
Стыковой односторонний на остающейся подкладке, со скосом двух кромок, выполняемый дуговой сваркой покрытыми электродами	ГОСТ 5264–80-С16
Стыковой двусторонний, с криволинейным скосом двух кромок, выполняемый дуговой сваркой покрытыми электродами	ГОСТ 5264–80-С19
Стыковой двусторонний, с двумя симметричными скосами двух кромок, выполняемый дуговой сваркой покрытыми электродами. Участки перехода от шва к основному металлу дополнительно обработаны	ГОСТ 5264–80-С21
Стыковой односторонний, со скосом двух кромок, по замкнутому контуру, выполняемый дуговой сваркой покрытыми электродами. Выпуклость шва снята механической обработкой	ГОСТ 5264–80-С17 ○
Стыкового соединения с криволинейным скосом одной кромки, двусторонний, монтажный, выполняемый дуговой сваркой покрытыми электродами	С лицевой стороны ГОСТ 5264–80-С9 С оборотной стороны ГОСТ 5264–80-С9
Углового соединения односторонний со скосом двух кромок, выполняемый дуговой сваркой покрытыми электродами. Катет шва 5 мм. Выпуклость шва снята механической обработкой	ГОСТ 5264–80-У4◺5○
Стыковой двусторонний, с двумя симметричными скосами двух кромок, выполняемый дуговой сваркой покрытыми электродами. Обозначение упрощенное, если стандарт указан в примечании чертежа	С21
Одинаковые швы при условии полного обозначения одного из них под № 3	№ 3
То же, если все швы на чертеже одинаковы	

На чертежах допускаются упрощения обозначений швов сварных соединений:

- при наличии на чертеже швов, выполняемых по одному и тому же стандарту, обозначение стандарта указывают в технических требованиях чертежа (запись по типу: «Сварные швы ... по ...») или в таблице;
- если все швы на чертеже одинаковы и изображены с одной стороны (лицевой или оборотной), одинаковым швам не присваивают порядковый номер. При этом швы, не имеющие обозначения, отмечают линиями-выносками без полок;
- на чертеже симметричного изделия при наличии на изображении оси симметрии можно отмечать линиями-выносками и обозначать швы только на одной из симметричных частей изображения изделия;
- одинаковые требования, предъявляемые ко всем швам или группе швов, приводят только один раз – в технических требованиях или таблице швов.

Чертежи, изображающие сварные изделия, сварные узлы и т.п., которые содержат необходимые данные для сборки, сварки и контроля, называют ***сборочными***. Сборочные чертежи дают возможность определить, как спроектировано и работает изделие, какие детали в него входят, какими должны быть типы сварных соединений, какой следует применить способ сварки для соединения деталей между собой, каким способом контроля нужно подвергнуть сварные соединения и швы, каким техническим требованиям должны соответствовать сварные швы и т.д.

Приступая к работе, сварщик должен прежде всего изучить чертеж: все надписи, изображаемые виды, условные обозначения, материал деталей, технические требования, предъявляемые к сварным швам.

3.6. Расчет сварных соединений

Прочность сварных соединений зависит от прочности применяемых материалов, их свариваемости, правильного выбора сварочных материалов (электродов) в соответствии с физико-химическими свойствами основного металла, от способа сварки и режимов сварки, а также от типа сварного соединения и его размеров.

При расчете сварного соединения на прочность учитывают, что его надежность определяется прочностью наиболее слабого элемента. Таким элементом часто является не только металл шва, но и прилегающая к нему зона термического влияния. Ее прочность иногда ниже прочности основного метала. Поэтому при конструировании сварных изделий учитывают расположение сварного соединения относительно действующих сил, тип соединения, вид сварки и сварочные материалы. Правильное сочетание всех этих факторов дает возможность обеспечить равнопрочность всего сварного изделия.

Расчет сварных швов на прочность сводится к определению напряжений, возникающих в соединении от нагрузок. При проектировании сварных конструкций используют два основных метода расчета: по допустимым напряжениям и по предельным состояниям.

При расчете конструкций ***по допустимым напряжениям*** условие прочности сварного соединения имеет вид $\sigma \le [\sigma]$, где σ – напряжение в опасном сечении детали, Н/м^2; $[\sigma]$ – допустимое напряжение, которое определяется по формуле:

$$[\sigma] = \sigma_т / n,$$

где $\sigma_т$ – предел текучести материала, Н/м^2; n – коэффициент запаса прочности.

Коэффициент запаса прочности имеет различные значения в зависимости от степени ответственности сварной конструкции и условий ее эксплуатации. Например, для строительных конструкций n принимают от 1,4 до 1,7.

Более точным методом расчета конструкций, учитывающим условия их работы, является метод расчета ***по предельным состояниям***. Условие прочности записывается следующим образом:

$$N/F \le mR,$$

где N – расчетное усилие, Н; F – площадь сечения, м^2; m – коэффициент, учитывающий условия эксплуатации сварной конструкции (для большинства строительных конструкций $m = 0{,}8$); R – расчетное сопротивление материала, Н/м^2.

Стыковые швы на прочность рассчитывают по формуле

$$N = R_{р}^{св} S l,$$

где N – расчетное усилие, Н; $R_{р}^{св}$ – расчетное сопротивление стыкового соединения растяжению, Н/м^2; S – толщина металла в расчетном сечении, м; l – длина шва, м.

Прочность лобовых швов определяют по формуле

$$N = 0{,}7 k l R_{с}^{св},$$

где N – максимальное усилие, Н; k – катет шва, м; l – длина шва, м; $R_{с}^{св}$ – расчетное сопротивление срезу, Н/м^2.

Коэффициент 0,7 показывает, что расчет ведется из предположения разрушения шва по гипотенузе прямоугольного треугольника (форма сечения углового шва).

Прочность угловых фланговых швов вычисляют по формуле

$$N = 2 \cdot 0{,}7 k l R_{с}^{св}.$$

Пример 1. Определить допустимое усилие в стыковом соединении, выполненном ручной дуговой сваркой, если $R_{р}^{св} = 18 \cdot 10^7$ Па, $S = 0{,}01$ м, $l = 0{,}4$ м (рис. 3.21, *а*).

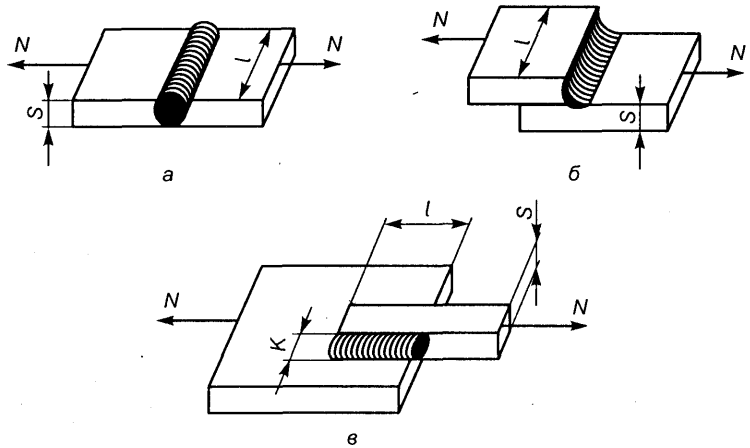


Рис. 3.21. Определение расчетных усилий на сварные швы: *а* – стыковой; *б* – угловой лобовой; *в* – угловой фланговый

Решение. $N = 18 \cdot 10^7 \cdot 0{,}01 \cdot 0{,}4 = 72 \cdot 10^4$ Н.

Пример 2. Определить допустимое усилие в нахлесточном соединении с лобовым швом, если $R_{с}^{св} = 15 \cdot 10^7$ Па, $k = 0{,}01$ м, $l = 0{,}1$ м (рис. 3.21, *б*).

Решение. $N = 0{,}7 \cdot 0{,}01 \cdot 0{,}1 \cdot 15 \cdot 10^7 = 10{,}5 \cdot 10^4$ Н.

Пример 3. Определить допустимое усилие в нахлесточном соединении с двумя фланговыми швами, если $R_{с}^{св} = 15 \cdot 10^7$ Па, $k = 0{,}01$ м, $l = 0{,}1$ м (рис. 3.21, *в*).

Решение. $N = 2 \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}01 \cdot 0{,}1 \cdot 15 \cdot 10^7 = 21 \cdot 10^4$ Н.

Тестовые задания

1. Металл сварного шва, наплавленный или переплавленный за один проход, называют:

1) шарик; 3) валик;
2) ролик; 4) слоик.

2. Сварной шов, воспринимающий эксплуатационные нагрузки:

1) основной; 3) рабочий;
2) связующий; 4) горячий.

3. Металл деталей, подлежащих соединению сваркой:

1) присадочный; 3) дополнительный;
2) основной; 4) электродный.

4. Часть сварной конструкции, в которой сварены примыкающие друг к другу элементы:

1) дополнительный металл; 3) сварной шов;
2) присадочный металл; 4) сварной узел.

5. Сплав, образованный переплавленным основным или основным и наплавленным металлами:

1) металл шва; 3) валик;
2) присадочный металл; 4) наплавленный металл.

6. Угол скоса кромки обычно составляет:

1) 3–5°; 2) 60–90°; 3) 30–50°; 4) 90–180°.

7. Зазор между торцами свариваемых элементов в зависимости от толщины свариваемого металла устанавливают равным:

1) 0–5 мм; 2) 6–10 мм; 3) 11–12 мм; 4) 15–20 мм.

8. Притупление кромок в зависимости от толщины металла обычно составляет:

1) 1–3 мм; 2) 4–6 мм; 3) 7–10 мм; 4) 15–20 мм.

9. Условным знаком ┐ на чертежах обозначается шов:

1) прерывистый;
2) облицовочный;
3) монтажный;
4) прихваточный.

10. Напряжения в сварных швах определяют по формуле:

1) $\sigma = P/2F$ (кг/мм^2);
2) $\sigma = PF$ (кг · мм^2);
3) $\sigma = F/P$ (мм^2/кг);
4) $\sigma = P/F$ (кг/мм^2).

Глава 4

ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ СВАРКИ СТАЛЕЙ И ЧУГУНА

4.1. Назначение покрытых электродов

Ручная дуговая сварка осуществляется плавящимися электродами (рис. 4.1), которые представляют собой стержни диаметром $d_э$ длиной L от 250 до 450 мм, покрытые специальной обмазкой (диаметр электрода с покрытием D). Один конец электрода на длине l примерно 20–30 мм не имеет покрытия. В этом месте он крепится в электрододержателе. Электрод включается в цепь сварочного тока и при сварке расплавляется в дуге. Электродный стержень выполняет роль присадочного металла.

При сварке покрытым электродом, чтобы процесс сварки проходил эффективно, должно обеспечиваться: устойчивое горение дуги, равномерное расплавление стержня и покрытия, надежная газовая защита дуги от воздействия воздуха, защита жидкого металла и равномерное покрытие ванны шлаком, необходимые металлургические процессы, получение металла шва требуемого химического состава и механических свойств, хорошее формирование шва, минимальные потери на угар и разбрызгивание, легкое удаление шлака после затвердевания, удобство выполнения швов в требуемых положениях, отсутствие токсичных выделений и др.

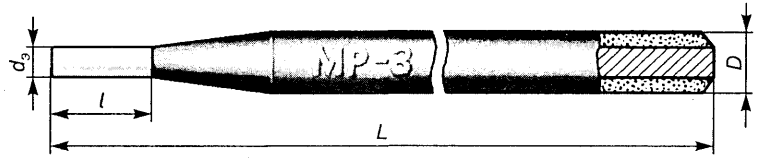


Рис. 4.1. Покрытый электрод для ручной дуговой сварки

Для обеспечения этих требований при изготовлении электродов необходимо правильно подбирать проволоку для стержней и состав электродного покрытия. Покрытие должно быть достаточно прочным и не осыпаться при транспортировке и сварке.

4.2. Сварочные проволоки

Свойства свариваемого (основного) металла зависят от его состава и структуры. Для того чтобы сварное соединение было равнопрочным основному металлу, необходимо получить структуру металла шва, аналогичную структуре свариваемого металла. Этого можно достичь путем подбора соответствующего химического состава металла шва, используя металлические присадочные материалы, специальные электродные покрытия и флюсы.

Сварочную проволоку применяют при изготовлении штучных плавящихся электродов для ручной дуговой сварки, а также как присадочный материал для различных способов механизированной и автоматической дуговой сварки плавлением.

Стальная сварочная проволока разделяется на низкоуглеродистую, легированную и высоколегированную. ГОСТ 2246–70 предусматривает 77 марок стальной сварочной проволоки разного химического состава: 6 марок из низкоуглеродистой стали (Св-08, Св-08А, Св-08АА, Св-08ГА, Св-10ГА, Св-10Г2); 30 марок из легированной стали (Св-08ГС, Св-08Г2С, Св-18ХГС и др.); 41 марку из высоколегированной стали (Св-12Х11НМФ, Св-10Х17Т, Св-06Х18Н9Т и др.). В стандарте указаны технические условия на маркировку, упаковку, транспортировку и хранение проволоки.

В среднелегированной стали содержится от 2,5 до 10% легирующих элементов, в высоколегированной – более 10%.

Марка проволоки расшифровывается следующим образом: буквенное обозначение Св – сварочная; цифры после Св – содержание углерода в сотых долях процента (например, 08 означает 0,08% углерода); буква А – пониженное содержание серы и фосфора, АА – еще более пониженное содержание этих элементов; последующие буквы – условные обозначения легирующих элементов; цифры после буквенных обозначений – среднее содержание легирующих элементов в процентах (при содержании легирующего элемента менее 1% цифра не указывается).

Химические элементы в сталях условно обозначаются следующим образом: алюминий (Al) – Ю, азот (N) – А (только в высоколегированных сталях), бор (B) – Р, ванадий (V) – Ф, вольфрам (W) – В, кремний (Si) – С, кобальт (Co) – К, марганец (Mn) – Г, медь (Cu) – Д, молибден (Mo) – М, никель (Ni) – Н, ниобий (Nb) – Б, титан (Ti) – Т, хром (Cr) – Х, цирконий (Zr) – Ц.

Условное обозначение проволоки Св-06Х18Н9Т означает: проволока сварочная; содержит 0,06% углерода, 18% хрома, 9% никеля, до 1% титана.

Марка проволоки 4Св-08Х20Н9Г7Т означает: диаметр проволоки 4 мм; проволока сварочная; содержит 0,08% углерода, 20% хрома, 9% никеля, 7% марганца, 1% титана.

Стальную сварочную проволоку, предназначенную для всех видов механизированной и автоматической сварки плавлением и для изготовления покрытых электродов, выпускают следующих диаметров: 0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0 и 12,0 мм.

Проволока диаметром до 3 мм применяется для механизированной сварки в защитных газах; 1,6–6,0 мм – для ручной сварки покрытыми электродами; 2–5 мм – для автоматической сварки под флюсом; проволока больших диаметров – для наплавочных работ.

Сварочную проволоку предохраняют от коррозии тонкослойным медным покрытием. Ее поставляют в мотках наружным диаметром до 600 мм.

Высоколегированная проволока должна поставляться в травленном и отбеленном состоянии или после термической обработки в инертной атмосфере со светлой, светло-матовой или серой поверхностью, без следов смазочного материала.

Сварочную проволоку поставляют в мотках диаметром 150–700 мм в зависимости от диаметра проволоки. С увеличением диаметра проволоки увеличивается диаметр мотка. Масса мотка достигает 80 кг.

Проволока диаметром 0,3–0,8 мм поставляется в мотках диаметром 150–220 мм, диаметром 1–1,2 мм – в мотках диаметром 250–400 мм, диаметром 1,6–2 мм – 250–

600 мм, диаметром 2,5–3 мм – 400–700 мм, диаметром 4–10 мм – 500–700 мм и проволока диаметром 12 мм – в мотках диаметром 700–750 мм. Проволока может быть намотана на катушки или в кассеты. Поверхность ее должна быть чистой (без окалины, ржавчины, масла и грязи).

Каждая партия проволоки сопровождается сертификатом (удостоверением), содержащим основные технические данные. Каждый моток или бухта проволоки имеет металлическую бирку, на которой указываются завод-изготовитель, марка проволоки, номер партии, клеймо ОТК.

Неомедненная проволока при обычном хранении окисляется и становится непригодной для сварки как присадочный металл и для изготовления штучных электродов. Возникает необходимость в удалении ржавчины и остатков смазочных веществ, применяемых при протяжке и консервации проволоки. Загрязненную проволоку очищают травлением в 20%-м растворе серной кислоты или щелочи, а затем нейтрализуют в щелочи и сушат.

Работы по очистке проволоки на предприятиях производят с помощью специальных устройств.

4.3. Покрытия электродов

Свойства электродов. Прочность и надежность сварного соединения и шва, а следовательно, и всей сварной конструкции в целом прежде всего зависит от применяемых электродов при соблюдении установленной технологии сварки.

При выборе электродов для проведения сварочных работ всегда следует предусматривать получение свойств металла шва не ниже свойств основного металла.

Электроды оценивают по устойчивости горения дуги, плавлению, защите металла сварочной ванны, пригодности для сварки в различных пространственных положениях, качеству формирования сварного шва, степени загрязнения окружающей среды (газы, пылевидные частицы), возможности обеспечения высокой производительности сварки, стойкости покрытия против механических повреждений (осыпание, скалывание).

Основные технологические свойства электродов определяются следующими показателями: род тока (постоянный, переменный); полярность (прямая, обратная) постоянного тока; рекомендуемая сила сварочного тока для электродов разных диаметров; коэффициент наплавки; степень перехода металла стержня в сварной шов. Технологические свойства электрода зависят от химического состава металла электродного стержня, состава и качества нанесения электродного покрытия.

Назначение покрытий. Электродные покрытия должны обеспечивать стабильность горения сварочной дуги и получение металла шва с заранее заданными свойствами (прочность, стойкость к высоким температурам и др.).

Электродные покрытия выполняют ряд функций.

❑ ***Стабилизация горения дуги*** достигается снижением потенциала ионизации воздушного промежутка между электродом и свариваемой деталью. Для устойчивого горения дуги в покрытие вводят вещества (соли щелочных металлов, калиевое и натриевое жидкое стекло и др.), содержащие элементы с низким потенциалом ионизации (калий, натрий).

❑ ***Газовая защита*** зоны сварки и расплавленного металла создается при сгорании газообразующих веществ и предохраняет расплавленный металл от воздействия кислорода и азота. Газообразующие вещества входят в покрытие в виде неорганических соединений (мрамор $CaCO_3$, магнезит $MgCO_3$ и др.) и органических соединений (древесная мука, целлюлоза, крахмал и др.)

Минералы – мрамор и магнезит – при температуре ~900 °С разлагаются с образованием углекислого газа, который тяжелее воздуха и поэтому вытесняет его из зоны горения дуги, что обеспечивает газовую защиту:

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2;\ MgCO_3 \rightarrow MgO + CO_2\ .$$

Органические вещества – мука, крахмал, декстрин – диссоциируют при температуре ~200 °С:

$$Cn(H_2O) \rightarrow (n-1)CO + (n-1)H_2 + C.$$

Обычно 10 г расплавленного электрода выделяет 1000–1500 см^3 защитного газа, что обеспечивает достаточно надежное оттеснение воздуха из зоны сварки.

❑ ***Раскисление металла*** сварочной ванны обеспечивается элементами, обладающими большим сродством с

кислородом, чем железо, и связывающими кислород. К ним относятся кальций, алюминий, титан, кремний, марганец, хром и др. Эти элементы, находясь в расплавленном металле сварного шва, легче вступают в химические соединения с кислородом и, будучи сами нерастворимыми в стали или имея ограниченную растворимость, в виде оксидов всплывают на поверхность сварочной ванны:

$$FeO + Mn = MnO + Fe;$$
$$2FeO + Si = SiO_2 + 2Fe;$$
$$Fe_2O_3 + 2Al = Al_2O_3 + 2Fe.$$

Большинство раскислителей входят в покрытие не в чистом виде, а в виде ферросплавов (ферромарганца, ферросилиция и др.). Алюминий как раскислитель вводится в покрытие в виде порошка (пудры).

❑ ***Шлаковая защита*** служит для защиты расплавленного металла от воздействия кислорода и азота воздуха путем образования шлаковых оболочек на поверхности капель электродного металла, переходящих через дуговой промежуток, и для создания шлакового покрова на поверхности расплавленного металла сварочной ванны и шва. Шлаковое покрытие уменьшает скорость охлаждения и кристаллизацию металла шва, способствует выходу из него газовых пузырьков и неметаллических включений. Шлакообразующими компонентами покрытий являются: титановый концентрат, марганцевая руда, каолин, мрамор, мел, кварцевый песок, доломит, полевой шпат, гранит и др. В качестве шлакообразующих компонентов выступают оксиды: SiO_2, TiO_2, Al_2O_3, CaO, MnO, MgO, а также галоген – CaF_2. Например, гранит содержит 70% SiO_2, 20% Al_2O_3, 5% CaO.

❑ ***Легирование металла шва*** придает специальные свойства наплавленному металлу (в основном повышает механические свойства, а также износостойкость, жаростойкость, сопротивление коррозии). Наиболее часто применяются такие легирующие компоненты, как хром, никель, молибден, вольфрам, марганец, титан и др. Легирование металла шва иногда производится специальной проволокой, содержащей нужные элементы. Чаще металл шва легируют введением специальных компонентов в

виде ферросплавов или чистых металлов в покрытие электрода. Это требуется для возмещения выгоревших при сварке легирующих компонентов сталей.

❑ ***Закрепление покрытия на электродном стержне*** осуществляют с помощью специальных веществ, которые называют *связующими компонентами*. Они скрепляют порошковые материалы покрытия в однородную массу. Чаще всего в качестве таких компонентов используют водные растворы силикатов натрия и калия, называемые натриевым (Na_2SiO_2) или калиевым (K_2SiO_2) жидким стеклом, а также, желатин, пластмассы и др. После высыхания они скрепляют покрытие.

Пластические свойства покрытия обеспечивают *формовочные добавки* (пластификаторы) – бетонит, каолин, декстрин, слюда и др. Некоторые материалы покрытия выполняют одновременно несколько функций. Например, мрамор является стабилизирующим, газозащитным и шлакообразующим компонентом.

С целью повышения производительности сварки в покрытие добавляют железный порошок, содержание которого может составлять до 60% массы покрытия.

Электроды бывают тонкопокрытые (с тонким слоем обмазки), со средним по толщине слоем покрытия, толстопокрытые и с особо толстым покрытием.

Толстопокрытые электроды часто называют *качественными электродами* или электродами с качественной обмазкой. Некоторые из них имеют толщину слоя покрытия 3 мм.

Толщина слоя покрытия характеризуется отношением $d_э/d$, где $d_э$ – диаметр электрода с покрытием, d – диаметр стержня.

Значения $d_э/d < 1{,}2$; $1{,}2 < d_э/d < 1{,}45$; $1{,}45 < d_э/d < 1{,}8$; $d_э/d > 1{,}8$ характеризуют электроды с тонким, средним, толстым и особо толстым покрытиями соответственно.

Тонкое покрытие электродов обеспечивает только устойчивое горение дуги при сварке. Такие электроды применяют для сварки неответственных конструкций из низкоуглеродистых сталей, поскольку небольшое количество образующихся газов и шлаков не дает надежную защиту сварочной ванны.

5. Зак. 717.

Толстое покрытие электродов обеспечивает устойчивое горение сварочной дуги и получение сварных соединений, обладающих высокими механическими свойствами. Эти электроды используют для сварки ответственных конструкций различного назначения.

Электроды с толстым покрытием создают при сварке газовую и шлаковую защиту, стабилизируют дугу, раскисляют расплавленную ванну металла, легируют наплавленный металл, формируют сварной шов. Такие электроды в зависимости от назначения подразделяют на электроды для сварки конструкционных, легированных сталей и для наплавки.

Электроды с особо толстым покрытием используют для высокопроизводительной сварки.

Газовая защита наплавленного металла от кислорода и азота воздуха зависит от качества электродного покрытия. Например, если при сварке голым электродом содержание кислорода и азота в шве составляет соответственно 0,221 и 0,11%, то при сварке электродами УОНИ-13/45 их содержание уменьшается до 0,02 и 0,025%.

Электродные покрытия влияют на механические свойства металла шва. Наиболее высокие механические свойства (временное сопротивление, относительное удлинение, ударная вязкость) металла шва достигаются при использовании электродов с толстыми покрытиями.

Масса толстых электродных покрытий составляет 30–40% массы электродного стержня. Для приготовления обмазочной пасты к сухой смеси добавляют 30% водного раствора жидкого стекла. Повысить производительность сварки можно введением в покрытие электродов железного порошка. В зависимости от процентного содержания железного порошка в обмазке (5–50%) коэффициент наплавки увеличивается в 1,5–2 раза.

Наиболее простая тонкая обмазка для электродов – мел, сцементированный жидким стеклом. В состав тонкого покрытия могут быть введены гранит, соединения кальция в виде природных минералов, полевой шпат, а также мел, мрамор и другие компоненты.

Вещества, входящие в состав покрытия, вместе с электродным стержнем при сварке плавятся и испаряются, активно насыщая дуговой воздушный промежуток электрическими зарядами – электронами и ионами.

Пары кальция и некоторых других элементов легко ионизируются. Благодаря этому дуга между электродом и сварочной ванной горит устойчиво, стабильно. Поэтому тонкие покрытия называют *стабилизирующими*, а также *ионизирующими*, так как они усиливают ионизацию дугового промежутка. Толщина стабилизирующего покрытия 0,1–0,25 мм, а масса его составляет 1–5% массы электродного стержня.

При сварке электродами с тонким покрытием образующееся при их плавлении количество газов и шлака очень мало и недостаточно для хорошей защиты расплавленного металла от вредного воздействия азота и кислорода воздуха. При сварке такими электродами выгорают углерод, марганец, кремний. В результате получается сварное соединение с низкими механическими свойствами.

Органические соединения, а также мрамор, мел, известняк, входящие в обмазку электрода, разлагаются под действием высокой температуры вблизи торца электрода. Образующиеся при этом газы нагреваются, расширяются, оттесняя окружающий воздух.

Шлак образуется за счет химического взаимодействия металла сварочной ванны с компонентами электродного покрытия (полевым шпатом, марганцевой рудой, кварцевым песком, мелом, мрамором и др.). Температура плавления шлака достигает ~1200 °С. Незначительная его вязкость способствует хорошему формированию сварного шва. Шлаки не имеют строго определенной температуры плавления. С увеличением температуры шлака его вязкость постепенно снижается и он переходит в жидкое состояние. При понижении же температуры вязкость шлака постепенно возрастает и он затвердевает.

Разные составы электродных покрытий дают шлаки, затвердевающие с различной скоростью. Для хорошего формирования шва предпочтительны шлаки, которые переходят из твердого состояния в жидкое и наоборот в небольшом температурном интервале.

Изготовление электродов. Приготовление электродного покрытия на стержень заключается в измельчении

компонентов, составляющих покрытие, перемешивании их и, наконец, замешивании порошков на жидком стекле.

Покрытие (обмазку) наносят на электродные стержни двумя способами: окунанием и опрессовкой.

Качество нанесенного покрытия характеризуется его равномерностью по длине стержня, толщиной, концентричностью расположения относительно стержня.

При нанесении покрытия на электродные стержни окунанием нужно периодически перемешивать обмазочную массу, извлекать электрод из этой массы вертикально и с постоянной скоростью. Нельзя допускать стекание покрытия по стержню при сушке электрода. Нанесение покрытия на стержень опрессовкой выполняют в специальных обмазочных станках.

Технология изготовления электродов оказывает влияние на их сварочно-технологические характеристики и физико-химические свойства наплавленного металла. Согласно стандарту электроды с покрытием изготавливают из проволоки диаметром 1,6–12 мм длиной 250–450 мм. Наибольшее применение получили электроды диаметром 4 и 5 мм, длиной 400–450 мм.

Виды электродных покрытий. Электродные покрытия могут обеспечивать разную защиту. У одних преобладает газовая защита, у других – шлаковая. По-разному может осуществляться выведение из металла шва такого нежелательного элемента, как водород – за счет кислорода или за счет фтора. Различной может быть степень очищения металла шва от серы и фосфора.

Различают шесть видов электродных покрытий: А, Б, Р, Ц, П и смешанное.

А – ***кислое покрытие***, отличается тем, что в его состав входят образующие шлаковую защиту различные руды и материалы, содержащие большое количество кислорода, например гематит содержит 92% Fe_2O_3, гранит – 66–71% SiO_2, 15–20% Al_2O_3 и т.п.

Для удаления кислорода и восстановления железа из оксидов применяют ферросплавы, для газовой защиты вводят органические примеси – крахмал, декстрин. В сварочной ванне происходит активное раскисление железа, она кипит, что способствует дегазации металла. Для этих

покрытий невозможно легирование шва вследствие окисления легирующих элементов.

Сварка электродами с этим покрытием возможна на постоянном (прямой и обратной полярности) и переменном токах во всех положениях. Допускается сварка при небольшой ржавчине и окалине, однако в этом случае увеличивается разбрызгивание. Кроме того, металл шва склонен к образованию кристаллизационных трещин.

Вследствие применения ферромарганца выделяется значительное количество токсичных марганцевых соединений, что ограничивает использование таких покрытий.

Наиболее распространены электроды с кислыми покрытиями марок ОММ-5 и ЦМ-7.

Б – ***основное покрытие*** содержит фтористокальциевые соединения (плавиковый шпат, в котором более 75% CaF_2, карбонаты кальция – мрамор, мел, в которых более 92% $CaCO_3$) и ферросплавы.

При расплавлении это покрытие выделяет большое количество углекислого газа, образующегося вследствие диссоциации карбонатов. Кальций хорошо рафинирует металл шва, извлекая из него серу и фосфор. Фтор связывает водород в соединение HF и выводит его из шва. Содержание фтора ограничивают, поскольку он снижает устойчивость горения дуги.

Электроды с основным покрытием предназначены для сварки постоянным током обратной полярности во всех положениях. При сварке переменным током в покрытие добавляют более активные стабилизаторы – калиевое жидкое стекло, поташ и др.

Металл, наплавленный электродами с основным покрытием, обладает высокими механическими показателями, особенно ударной вязкостью при положительных и низких температурах, не склонен к образованию горячих и холодных трещин, содержит минимальное количество кислорода и азота. Эти электроды применяют для сварки наиболее ответственных конструкций, а также для сварки деталей, имеющих большие сечения.

Недостатком основных покрытий является их повышенная склонность к образованию пор при увеличении длины дуги, наличии ржавчины на свариваемых кром-

ках, а также при сварке непрокаленными (влажными) электродами.

Другой недостаток этих покрытий – пониженная устойчивость горения дуги, обусловленная наличием в покрытии фтора, обладающего высоким потенциалом ионизации. Поэтому сварку обычно производят постоянным током.

Сварка электродами с основным покрытием должна вестись короткой дугой и при хорошей очистке свариваемых кромок от ржавчины, окалины, масла и влаги для избежания образования пористости в швах.

Наиболее известны электроды марок УОНИ-13/45, УОНИ-13/55, ТМУ-21 и др.

Широко используют электроды марки АНО-11 с фтористо-кальциевым покрытием. Они предназначены для сварки переменным и постоянным током ответственных конструкций из низкоуглеродистых, среднеуглеродистых и низколегированных сталей. Этими электродами можно сваривать швы в различных пространственных положениях, они обладают хорошими сварочно-технологическими свойствами (легкая отделяемость шлаковой корки, незначительные потери расплавленного металла на разбрызгивание). Вредных выделений при этом значительно меньше, чем при сварке электродами других марок с аналогичным покрытием. Металл сварного шва обладает высокой прочностью, пластичностью и ударной вязкостью.

Р – ***рутиловое покрытие***, которое содержит 50% рутилового концентрата в виде оксида титана (TiO_2), а также карбонаты кальция – мрамор, тальк, мусковит, магнезит, ферросплавы, целлюлозу. Газовая защита происходит за счет диссоциации материалов и органической составляющей. Раскисление и легирование металла шва обеспечивается ферросплавами.

Электроды с таким покрытием позволяют получить плотный металл сварного шва при наличии ржавчины на свариваемых кромках, незначительное разбрызгивание электродного металла при сварке, они пригодны для сварки постоянным и переменным током во всех пространственных положениях, обеспечивают устойчивое горение сварочной дуги, обладают хорошими технологическими свойствами и применяются для сварки низкоуглеродистых сталей.

Наиболее распространены электроды марок АНО-4, АНО-21, АНО-24, ОЗС-4, МР-3.

Ц – ***целлюлозное покрытие*** содержит в основном оксицеллюлозу или аналогичные ей органические вещества, а также рутил и ферросплавы. Это покрытие при расплавлении выделяет много защитного газа и небольшое количество шлака, необходимого для процесса раскисления. Электроды с таким покрытием пригодны для сварки во всех пространственных положениях постоянным током и употребляются в основном для сварки первого слоя стыков трубопроводов. Основной недостаток – повышенное разбрызгивание электродного металла при сварке.

Наиболее известны электроды марок ВСЦ-4, ВСЦ-4А.

Смешанные покрытия обозначают двойной буквой, например БЦ – покрытие основного типа со значительным количеством целлюлозы.

Покрытия, обозначенные буквой П, не имеют явно выраженного кислого, основного, целлюлозного или рутилового состава.

Существуют сотни марок штучных электродов. Однако только незначительное количество их широко используется в сварочном производстве. При выборе электродов учитывают возможность получения требуемых механических и других свойств металла шва. Каждому типу электрода может соответствовать несколько марок, которые различаются составом покрытия.

В технических условиях каждой марки электрода указаны характеристики покрытия, область применения электродов, марка стержня, рекомендуемое пространственное положение, технологические особенности, рекомендуемые электрический ток (постоянный, переменный) и полярность, диаметр сварочного тока, коэффициент наплавки, характеристика перехода металла стержня в сварной шов, механические свойства и химический состав наплавленного металла и др.

Длина электрода. От длины электрода зависит удобство управления процессом сварки. Чем длиннее электрод, тем неудобнее выполнять сварку. Однако при сварке

короткими электродами увеличиваются потери времени и электродов в результате более частой их смены.

На выбор оптимальной длины электрода влияют его диаметр и физические свойства металла стержня. Существенное значение имеет электрическое сопротивление металла стержня. Чем больше сопротивление, тем меньшей должна быть длина электрода. Например, электроды для сварки коррозионно-стойких сплавов несколько короче, чем электроды для сварки углеродистой стали, при прочих равных условиях.

С уменьшением диаметра электрода сокращают его длину (электрическое сопротивление электродного стержня возрастает с уменьшением диаметра электрода, и при большой его длине электрод будет перегреваться).

Производительность сварки. ***Коэффициент расплавления электрода*** $\alpha_р$ определяется массой расплавленного электродного металла, приходящегося на один ампер силы тока в течение часа горения дуги (г/А · ч).

Расплавленный электродный металл не полностью переносится в сварной шов, часть его теряется на разбрызгивание, испарение и угар при горении дуги.

Коэффициент наплавки $\alpha_н$, как правило, меньше коэффициента расплавления $\alpha_р$ на величину потерь металла.

Коэффициент расплавления электрода в зависимости от марки покрытия составляет 7–22 г/А · ч, а коэффициент наплавки меньше на 1–3 г/А · ч.

Коэффициент наплавки $\alpha_н$ может быть равен коэффициенту расплавления $\alpha_р$ или превышать его, если в состав обмазки введен железный порошок.

Коэффициент потерь ψ обычно составляет 3–30%.

Коэффициенты расплавления и наплавки определяют опытным путем для каждой марки покрытия и используют для нормирования расхода электродов и времени сварки.

Производительность сварки тем больше, чем больше коэффициент наплавки. Он колеблется в пределах 7–22 г/А · ч. С увеличением сварочного тока и продолжительности горения дуги масса наплавленного металла увеличивается.

Для определения производительности наплавки при сварке штучными электродами коэффициент наплавки

данных электродов следует умножить на силу тока. Например, при сварке током 180 А и коэффициенте наплавки $\alpha_н = 7$ г/А · ч производительность наплавки $П_н = \alpha_н I = 7 \cdot 180 = 1{,}26$ кг/ч.

Масса наплавленного металла и масса расплавленного металла электрода не одинаковы. Часть металла электрода теряется на угар, разбрызгивание и испарение. Потери при сварке не должны превышать 3%.

4.4. Типы электродов

Классификация стальных покрытых электродов. Металлические электроды для дуговой сварки сталей и наплавки изготовляют в соответствии с ГОСТ 9466–75. По назначению они подразделяются на следующие группы (ГОСТ 9467–75):

У – для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву до 600 МПа. ГОСТ предусматривает девять типов электродов: Э38, Э42, Э42А, Э46, Э46А, Э50, Э950А, Э55, Э60;

Л – для сварки легированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву свыше 600 МПа – пять типов: Э70, Э85, Э100, Э125, Э150;

Т – для сварки легированных теплоустойчивых сталей – девять типов: Э-09М, Э-09МХ, Э-09Х1М, Э-05Х2М, Э-09Х2М1, Э-09Х1МФ, Э-10Х1М1НФБ, Э-10Х3М1БФ, Э-10Х5МФ;

В – для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами – 49 типов (ГОСТ 10052–75);

Н – для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами – 44 типа (ГОСТ 10051–75).

Цифры в обозначениях типов электродов для сварки конструкционных сталей означают гарантируемый предел прочности металла шва.

Пример обозначения электродов: Э42А – тип электрода (Э – электрод для дуговой сварки; 42 – минимальное гарантируемое временное сопротивление металла шва, кг/мм^2; А – гарантируется получение повышенных пластических свойств металла шва).

6. Зак. 717.

По толщине покрытия в зависимости от отношения диаметра электрода с покрытием D к диаметру стального стержня $d_э$ различают электроды:

М – с тонким покрытием ($D/d_э \leq 1{,}20$);

С – со средним покрытием ($1{,}20 < D/d_э \leq 1{,}45$);

Д – с толстым покрытием ($1{,}45 < D/d_э \leq 1{,}80$);

Г – с особо толстым покрытием ($D/d_э > 1{,}80$).

По качеству, т.е. точности изготовления, состоянию поверхности покрытия, сплошности металла шва, содержанию серы и фосфора в наплавленном металле, электроды делят на группы: 1, 2 и 3. Чем выше номер, тем лучше качество.

По допустимым пространственным положениям при сварке и наплавке электроды делят на следующие группы: 1 – включает все положения; 2 – все положения, кроме вертикального «сверху вниз»; 3 – нижнее, горизонтальное на вертикальной плоскости и вертикальное «снизу вверх»; 4 – нижнее положение и нижнее «в лодочку».

По роду и полярности тока, а также по номинальному напряжению холостого хода используемого источника питания сварочной дуги переменного тока электроды подразделяют на группы от 0 до 9:

0 – сварка на постоянном токе обратной полярности;

1, 4, 7 – сварка на переменном и постоянном токе любой полярности при напряжении холостого хода источника питания, равном или превышающем 50, 70, 90 В соответственно;

2, 5, 8 – сварка на переменном и постоянном токе прямой полярности при U_{xx}, равном или превышающем 50, 70, 90 В соответственно;

3, 6, 9 – сварка на переменном или постоянном токе обратной полярности при U_{xx}, равном или превышающем 50, 70, 90 В соответственно.

Типы покрытых электродов. Электроды для сварки конструкционных сталей в зависимости от механических свойств металла шва и сварного соединения классифицируют на несколько типов. Каждому типу соответствует одна или несколько марок электрода, например к типу Э46 относятся электроды следующих марок: АНО-8, АНО-4, МР-8, ОЗС-4, ОЗС-6 и др. Марка электрода характеризуется определенным составом покрытия, маркой электродного стержня, технологическими свойствами, свойствами металла шва.

Выбор типа и марки электрода зависит от марки свариваемой стали, толщины металла, пространственного положения, условий сварки, эксплуатации сварной конструкции и т.д.

Для сварки ответственных конструкций используют электроды марок АНО-4, АНО-5, АНО-9, АНО-13, АНО-14, ОЗС-12, при отрицательных температурах применяют электроды марки СМ-11.

Для сварки особо ответственных конструкций используют электроды марок УОНИ-13/45, УОНИ-13/55.

Общие требования к электродам, правила приемки, методы испытаний швов и сварных соединений, условия маркировки и упаковки, документация на электроды регламентированы ГОСТ 9466–75.

Условное обозначение покрытых электродов. Обозначение электродов состоит из названия типа электрода, его марки, диаметра стержня, типа покрытия и номера ГОСТа (рис. 4.2).

Пример условного обозначения электрода:

$$\frac{\text{Э46А-УОНИ-13/45-3,0-УД2}}{\text{Е-43 2 (5)-Б10}}\ \text{ГОСТ 9466–75.}$$

Оно расшифровывается следующим образом: Э46А – тип электрода (Э – электрод для дуговой сварки; 46 – мини-

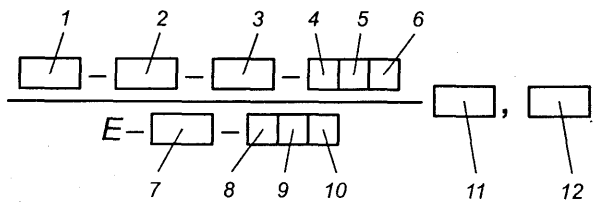


Рис. 4.2. Условное обозначение покрытых электродов:
1 – тип; *2* – марка; *3* – диаметр, мм; *4* – назначения электродов; *5* – толщина покрытия; *6* – группа электродов; *Е* – символ ручной дуговой сварки; *7* – указывает характеристики наплавленного металла; *8* – вид покрытия; *9* – допустимые пространственные положения сварки; *10* – род, полярность тока; *11* – стандарт, регламентирующий требования к электродам; *12* – стандарт, регламентирующий типы электродов

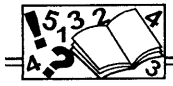
мальный гарантируемый предел прочности металла шва в кг/мм^2 (460 МПа); А – гарантируется получение повышенных пластических свойств металла шва); УОНИ-13/45 – марка электрода; 3,0 – диаметр; У – электроды для сварки углеродистых и низколегированных сталей; Д2 – с толстым покрытием второй группы; Е – электрод; 43 2 (5) – группа индексов, указывающих характеристики наплавленного металла и металла шва (43 – временное сопротивление разрыву не менее 430 МПа, 2 – относительное удлинение не менее 22%, 5 – ударная вязкость не менее 34,5 Дж/см^2 при температуре –40 °С); Б – основное покрытие; 1 – для сварки во всех пространственных положениях; 0 – постоянным током обратной полярности.

Электроды в технических документах обозначаются более кратко: УОНИ-13/45-3,0-2 ГОСТ 9466–75.

В обозначении наплавочных электродов буквы ЭН означают электрод наплавочный, затем приводится химический состав основных элементов стального стержня и, наконец, цифры, характеризующие твердость наплавленного металла. Для наплавки применяют электроды, имеющие и другие обозначения.

Электроды марок Т-540, Т-620 и другие предназначены для наплавки кузнечно-прессового инструмента, быстроизнашивающихся стальных и чугунных деталей; наплавленный металл отличается высокой твердостью; наплавку этими электродами выполняют постоянным током при обратной полярности и переменном токе.

Электроды марок ЦН-250, ЦН-350, ОЗН-250 и другие используют для наплавки деталей из низколегированных и низкоуглеродистых сталей с целью повышения их износостойкости.



Тестовые задания

1. Длина сварочного электрода для ручной дуговой сварки составляет:

1) 200–240 мм; 3) 500 мм;
2) 250–450 мм; 4) 550 мм.

2. Цифры после букв Св в марке сварочной проволоки Св-08Г2С обозначают содержание в сотых долях процента:

1) кислорода; 3) марганца;
2) углерода; 4) кремния.

3. Буква Г в марке сварочной проволоки Св-08Г2С обозначает химический элемент, который называется:

1) углерод; 3) марганец;
2) медь; 4) кремний.

4. С целью стабилизации горения дуги в электродное покрытие вводят:

1) мрамор; 3) ферросплавы;
2) жидкое стекло; 4) алюминий.

5. Для обеспечения газовой защиты зоны сварки в электродное покрытие вводят:

1) минералы; 3) ферросплавы;
2) жидкое стекло; 4) алюминий.

6. Углекислый газ по сравнению с воздухом:

1) имеет одинаковую плотность; 3) тяжелее;
2) легче; 4) не имеет плотности.

7. Химическая формула мела:

1) C_2H_2; 2) CaC_2; 3) $CaCO_3$; 4) CN.

8. Наиболее высокие механические свойства шва обеспечивает покрытие электрода:

1) кислое; 3) рутиловое;
2) основное; 4) целлюлозное.

9. Тип сварочного электрода для ручной дуговой сварки обозначается:

1) Э46; 2) АНО-4; 3) МР-3; 4) УОНИ-13/45.

10. Наибольшее количество защитного газа получается при горении электродов, имеющих покрытие:

1) кислое; 3) рутиловое;
2) основное; 4) целлюлозное.

Глава 5

СВАРОЧНАЯ ДУГА

5.1. Возникновение и строение сварочной дуги

Возникновение сварочной дуги. ***Сварочной дугой*** называется устойчивый электрический разряд в ионизированной смеси газов и паров материалов, используемых при сварке.

Сварочная дуга характеризуется большой плотностью тока, высокой температурой и сильным свечением.

Возникновение сварочной дуги происходит в несколько этапов (рис. 5.1).

На рис. 5.2 показана схема горения сварочной дуги.

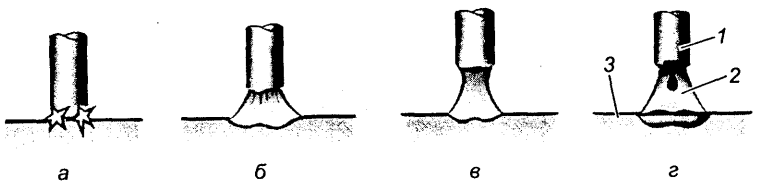


Рис. 5.1. Возникновение сварочной дуги:
а – короткое замыкание; *б* – образование прослойки из жидкого металла; *в* – образование шейки; *г* – возникновение дуги: *1* – электрод; *2* – дуга; *3* – основной металл

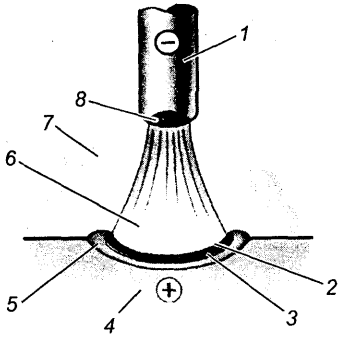


Рис. 5.2. Схема горения сварочной дуги:
1 – электрод; *2* – кратер; *3* – анодное пятно; *4* – свариваемый металл; *5* – сварочная ванна; *6* – столб дуги; *7* – газовое облако; *8* – катодное пятно

Процессы в сварочной дуге. Возникает дуга при прохождении электрического тока через газ. Любой газ при комнатной температуре и нормальном давлении состоит из электрически нейтральных молекул и является изолятором, поскольку в нем нет носителей тока – электрически заряженных частиц. Для образования и поддержания горения дуги необходимо иметь в промежутке между электродами электрически активные отрицательно заряженные частицы – электроны, а также положительные – ионы.

Процесс образования электронов и ионов называется *ионизацией*, а газ, содержащий электроны и ионы, *ионизированным*.

Ионизацию можно выразить уравнением

$$A^{\circ} \rightarrow A^{+} + e^{-},$$

где A° – нейтральный атом; A^{+} – положительный ион; e^{-} – свободный электрон.

Ионизация дугового промежутка происходит во время зажигания дуги за счет эмиссии электронов с катода и непрерывно поддерживается в процессе горения (рис. 5.3).

Эмиссия – появление электронов проводимости.

В сварочной дуге происходит также *рекомбинация* – объединение отрицательных электронов и положительных ионов в нейтральные атомы.

Сварочная дуга характеризуется плотностью тока. *Плотность тока* – величина, численно равная отношению силы тока к площади поперечного сечения проводника.

Строение сварочной дуги. Ионизированный газ концентрируется в объеме около 1 см^3. Но и в этом небольшом пространстве можно выделить три области (рис. 5.4). Две из них – *катодная* $l_к$ и *анодная* $l_а$ – пограничные между электродами и ионизированным газом. В этих областях наблюдается значительное падение напряжения, вызванное образовани-

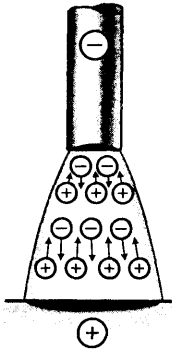


Рис. 5.3. Процессы в сварочной дуге:
⊖ – электроны; ⊕ – положительные ионы

ем около электродов пространственных зарядов (скоплением заряженных частиц). Третья область, расположенная между катодной и анодной областями, называется *столбом дуги* $l_{ст}$.

На поверхности анода и катода образуются электродные пятна (они представляют собой основание столба дуги), через которые проходит сварочный ток. Электродные пятна выделяются яркостью свечения.

Общая длина сварочной дуги $l_д$ равна сумме длин всех трех областей:

$$l_д = l_а + l_к + l_{ст}.$$

Длина дуги при ручной дуговой сварке обычно составляет 3–5 мм. Причем катодная и анодная области имеют малую протяженность: 10^{-6}–10^{-4} мм.

Общее напряжение сварочной дуги $U_д$ слагается из суммы падений напряжений в отдельных областях дуги:

$$U_д = U_к + U_{ст} + U_а,$$

где $U_к$, $U_{ст}$, $U_а$ – соответственно падение напряжения в катодной области, столбе дуги и анодной области. В сварочных дугах $U_д$ обычно составляет 10–60 В.

Падение напряжения в катодной области $U_к$ часто принимают равным потенциалу ионизации газов. Потенциал ионизации паров железа $U_i^{Fe} = 7{,}8 \approx 8$ В. Падение напряжения в анодной области при ручной дуговой сварке покрытыми электродами примерно $U_а = 6$ В. Сумму падения напряжений в катодной и анодной областях можно определить, постепенно уменьшая длину дуги и замеряя напряжение при минимальной ее длине, когда падением напряжения в столбе дуги можно пренебречь. Падение напряжения в столбе дуги обычно составляет примерно 2 В

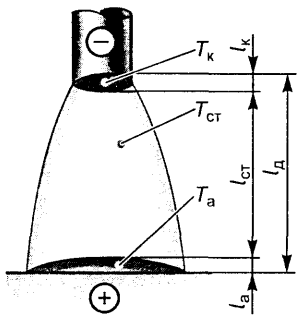


Рис. 5.4. Строение сварочной дуги

на 1 мм длины дуги. Таким образом, напряжение дуги длиной 4 мм будет $U_д = U_к + U_{ст} + U_а \approx 8 + 2 \cdot 4 + 6 \approx 22$ В.

Распределения температур и выделяющейся теплоты в дуге. Дуговой промежуток (см. рис. 5.4) состоит из наиболее нагретых участков электрода и основного металла (катодное и анодное пятна) и из столба дуги. Сварочная дуга отличается большой концентрацией теплоты и высокой температурой. Температура в столбе сварочной дуги $T_{ст}$ может быть от 5000 до 12 000 °С и зависит от плотности тока, состава газовой среды дуги, материала и диаметра электрода.

Ориентировочно температуру дуги для ручной дуговой сварки плавящимся стальным электродом можно определить по формуле

$$T_д = 800\, U_i,$$

где U_i – потенциал ионизации газа дуги.

При ручной дуговой сварке покрытыми электродами температура дуги достигает 6000–8000 °С. Температура катода $T_к$ составляет примерно 3000 °С, а анода $T_а$ достигает 4000 °С.

В катодном пятне сварочной дуги выделяется ~36% основного количества теплоты дуги, в столбе дуги ~21%, в анодном пятне ~43% общей теплоты дуги.

Процессы в столбе дуги. Столб дуги заполнен заряженными частицами. Почти всегда там присутствуют и нейтральные частицы – атомы и даже молекулы паров веществ, из которых сделаны электроды, и газов, окружающих дугу. На движение частиц в дуге оказывают действие электромагнитные силы и газовые потоки.

Наибольшую скорость имеют электроны. Они легко разгоняются и, сталкиваясь с атомами и ионами, передают им свою энергию. Столкновения электронов с атомами могут быть упругими и неупругими.

При упругих столкновениях атом, в который попал электрон, начинает двигаться быстрее – увеличивается его кинетическая энергия. В результате повышается температура дуги.

Электрон, который в электрическом поле приобрел достаточно большое количество энергии, может неупруго

столкнуться с атомом, выбив из него электроны. Атом при этом становится положительным ионом: однозарядным, если выбит один электрон, двузарядным – если два, и т.д.

Энергия, которая должна быть сообщена электрону для ионизации какого-либо атома, измеряется в электронвольтах (эВ) и называется ***потенциалом ионизации***. Его величина зависит от строения атома. Чем меньше номер группы и больше номер периода в таблице элементов Д.И. Менделеева, тем меньше энергии необходимо затратить для ионизации (табл. 5.1). Наименьшим потенциалом ионизации (3,9 эВ) обладает атом цезия. Он самый тяжелый из всех щелочных металлов. Самый легкий из инертных газов – гелий – обладает наивысшим потенциалом ионизации (24,5 эВ).

Табл. 5.1. **Первые потенциалы ионизации U_i некоторых атомов**

Атом	Cs	K	Na	Ca	Fe	O	Ar	F	He
U_i, эВ	3,9	4,3	5,1	6,1	7,8	13,6	15,7	18,6	24,5

При температуре сварочной дуги ~6000 °С происходит *диссоциация* (разделение) молекул химических соединений. Все вещества испаряются и пребывают в газообразном состоянии. Энергия частиц при этом становится настолько большой, что они производят неупругие соударения, вызывающие ионизацию атомов. Ионизация, происходящая за счет высокой температуры газа, называется ***термической ионизацией***.

Уравнение термической ионизации:

$$A^{\circ} + e^{-} = A^{+} + 2e^{-},$$

где A° – нейтральный атом; A^{+} – положительный ион; e^{-} – свободный электрон.

При ионизации атомов электроны выходят за пределы атома и становятся свободными носителями электрических зарядов. Если же для отрыва электрона от атома энергии недостаточно, то электрон возбуждается и переходит на более отдаленную орбиту. Но на ней он долго удержаться не может, возвращается на свою прежнюю орбиту и при этом испускает квант света. В сварочной дуге таких электронов образуется очень много (миллионы в секунду), что и является причиной яркого свечения.

Энергия, расходуемая на диссоциацию различных молекул, также различна. Так, например, для диссоциации молекулы водорода необходимо затратить 4,48 эВ, фтора – 1,6 эВ, а углекислого газа – 9,7 эВ.

Для поддержания равновесного состояния плазмы дуги наряду с прямыми процессами, требующими затраты энергии, такими, как диссоциация, возбуждение и ионизация, необходимы и обратные процессы.Особо важное значение имеют процессы *деионизации*, т.е. переход электрически заряженных частиц в электрически нейтральное состояние. Из процессов деионизации отметим *рекомбинацию*: $A^{+} + e^{-} = A^{\circ}$, т.е. объединение положительного иона с электроном и отдачей освободившейся энергии в виде излучения.

Явления, происходящие у катода и анода. Процессы, которые происходят у поверхности электродов, сложные. Именно здесь прерывается течение электронов по металлическому проводнику-электроду и образуется ток дуги, который создается как электронами, так и ионами. Изменяется характер не только электрических, но и термических явлений. Горячая плазма дуги, температура которой 5000–12 000 °С, граничит со сравнительно холодной поверхностью электродов, нагретых всего до 2000–3000 °С.

Протяженность переходных областей очень мала и в обычных сварочных условиях составляет тысячные доли миллиметра. Через катод и анод в металл поступает основная часть теплоты.

Устойчивость горения дуги. *Устойчивой* является дуга, горящая равномерно, без произвольных обрывов, требующих повторного зажигания. Если дуга горит неравномерно, часто обрывается и гаснет, то она называется *неустойчивой*.

Устойчивость дуги зависит от многих причин, основными из которых являются род тока, состав покрытия электрода, вид электрода, полярность и длина дуги.

При переменном токе дуга горит менее устойчиво, чем при постоянном. Это объясняется тем, что в тот момент, когда ток падает до нуля, ионизация дугового промежутка уменьшается и дуга может погаснуть.

Для повышения устойчивости горения сварочной дуги в электродное покрытие вводят элементы (калий, натрий и др.), которые повышают степень ионизации и, следовательно, увеличивают стабилизацию горения сварочной дуги.

Сварочную дугу можно возбудить без касания электродом свариваемого изделия. Для этого нужно в сварочную цепь параллельно включить источник тока высокого напряжения и высокой частоты (осциллятор). При этом для возбуждения дуги достаточно приблизить конец электрода к поверхности изделия на расстояние 2–3 мм.

Тепловые свойства дуги. Наиболее важными для процесса сварки являются тепловые свойства дуги. Тепловые возможности сварочной дуги измеряются ее тепловой мощностью. ***Мощность сварочной дуги*** Q зависит от силы сварочного тока I и напряжения дуги $U_д$: $Q = IU_д$.

Теплота, выделяемая сварочной дугой, не вся переходит в сварной шов. Часть ее теряется на нагрев окружающей среды, плавление электродного покрытия или флюса, угар, разбрызгивание металла, световое излучение и т.п.

Мощность дуги, используемая на нагрев и расплавление основного и присадочного металла, называют *эффективной тепловой мощностью* $Q_{эф}$:

$$Q_{эф} = \eta I U_д,$$

где η – коэффициент полезного действия дуги.

Коэффициент полезного действия при сварке тонкопокрытыми электродами составляет 0,5–0,65; электродами с толстым покрытием – 0,7–0,85; под флюсом – 0,8–0,92; в защитных газах – 0,6–0,7.

Для определения затрат теплоты при сварке используют понятие ***погонной энергии сварки*** – это количество теплоты, вводимой в металл в единицу времени, отнесенное к единице длины шва. Погонную энергию сварки (Дж/м) определяют по формуле

$$q_п = Q_{эф} / v_{св},$$

где $v_{св}$ – скорость сварки, м/ч.

5.2. Классификация сварочной дуги

По подключению к источнику питания сварочная дуга бывает прямого действия, косвенного действия и комбинированная (рис. 5.5).

При дуге *прямого действия* (рис. 5.5, *а*) дуговой разряд происходит между электродом и изделием. Используется при дуговой сварке покрытым электродом, при сварке неплавящимся электродом в защитных газах, при сварке плавящимся электродом под флюсом или в защитных газах.

При дуге *косвенного действия* (рис. 5.5, *б*) дуговой разряд происходит между двумя электродами. Она используется при специальных видах сварки и атомно-водородной сварке и наплавке.

При *комбинированной дуге* (рис. 5.5, *в*) два дуговых разряда происходят между электродами и изделием, а третий – между электродами. Используется, например,

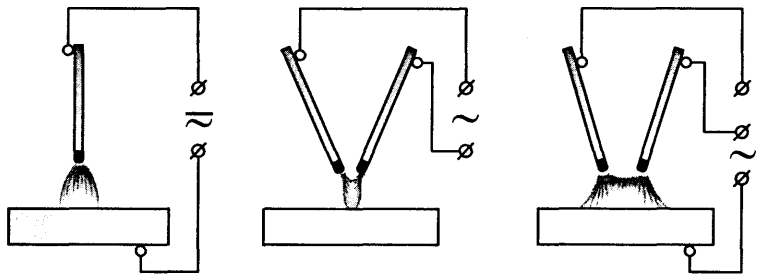


Рис. 5.5. Классификация сварочной дуги по подключению к источнику питания

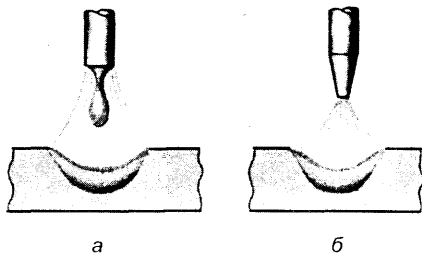


Рис. 5.6. Классификация сварочной дуги по применяемым электродам

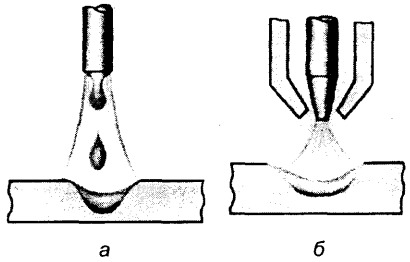


Рис. 5.7. Классификация сварочной дуги по степени сжатия

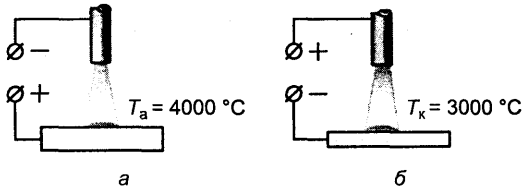


Рис. 5.8. Классификация сварочной дуги по полярности

при сварке спиралешовных труб на станках автоматической сварки под флюсом.

По применяемым электродам дуга бывает *при плавящемся электроде* (рис. 5.6, *а*) и *при неплавящемся электроде* (рис. 5.6, *б*).

По степени сжатия дуга бывает *свободная* (рис. 5.7, *а*) и *сжатая* (рис. 5.7, *б*).

По полярности постоянного тока дуга бывает прямой (рис. 5.8, *а*) и обратной полярности (рис. 5.8, *б*).

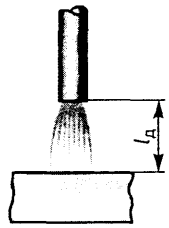
Прямая полярность – полярность, при которой электрод присоединяется к отрицательному полюсу источника питания дуги, а объект сварки – к положительному.

Обратная полярность – полярность, при которой электрод присоединяется к положительному полюсу источника питания дуги, а объект сварки – к отрицательному.

При обратной полярности температура на поверхности металла ниже, поэтому такую полярность используют, например, при сварке тонкого металла или высоколегированной стали.

По длине дуга бывает короткая, нормальная и длинная (рис. 5.9).

Рис. 5.9. Классификация сварочной дуги по длине



Длина дуги – это расстояние между торцом электрода и поверхностью расплавленного металла свариваемого изделия (рис. 5.9). Для стального электрода длина дуги не должна превышать 3–4 мм. Такая дуга называется *короткой*, она горит устойчиво и обеспечивает стабильный процесс сварки.

Нормальной принято считать дугу длиной 4–6 мм.

Дуга длиной больше 6 мм является *длинной*. В этом случае процесс плавления металла электрода идет неравномерно. Стекающие с конца электрода капли металла в большей степени могут окисляться кислородом и обогащаться азотом воздуха. Наплавленный металл получается пористым, шов имеет неровную поверхность, а дуга горит неустойчиво. При длинной дуге снижается производительность сварки, увеличивается разбрызгивание металла и количество непроваров или неполного сплавления наплавленного металла с основным.

5.3. 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. Газовый столб электрической дуги является гибким проводником электрического тока, поэтому он подвержен воздействию результирующего магнитного поля, которое образуется в сварочном контуре.

Нормальная дуга бывает при симметричном относительно нее подводе тока (рис. 5.10, *а*). В этом случае собственное круговое магнитное поле тока оказывает равномерное воздействие на столб дуги.

При несимметричном относительно дуги подводе тока к изделию дуга из-за воздействия магнитных полей искривляется (рис. 5.10, *б*, *в*). Подвод тока к изделию на некотором расстоянии от дуги приведет к отклонению ее вследствие сгущения силовых линий кругового магнитного поля со стороны токопровода.

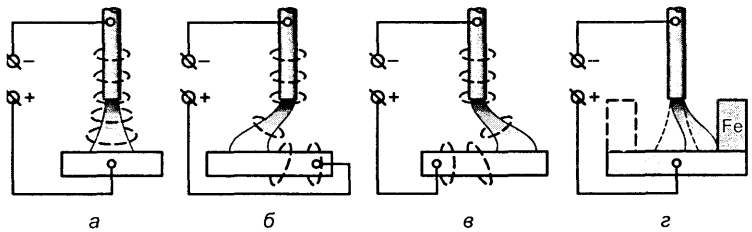


Рис. 5.10. Магнитное дутье:
а – нормальное положение дуги; *б* – отклонение влево; *в* – отклонение вправо; *г* – действие ферромагнитной массы

Под действием электромагнитных сил происходит отклонение дуги от оси электрода в поперечном или продольном направлении, что по внешним признакам подобно смещению факела открытого пламени при сильных воздушных потоках. Это явление называют магнитным дутьем.

Магнитное дутье – отклонение дуги в результате действия магнитных полей или ферромагнитных масс при сварке. Оно может быть вызвано присутствием ферромагнитных масс вблизи сварки (рис. 5.10, *г*). Из-за этого стабильность горения дуги нарушается, затрудняется процесс сварки.

На величину отклонения дуги влияет также угол наклона электрода, поэтому для его уменьшения электрод наклоняют в сторону отклонения дуги, а также уменьшают длину дуги.

Отклонение дуги могут вызвать несимметричность обмазки электрода (рис. 5.11) и химическая неоднородность свариваемой стали (рис. 5.12).

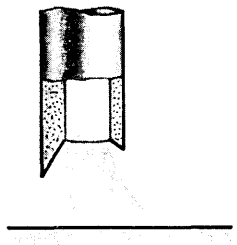


Рис. 5.11. Отклонение дуги из-за несимметричности обмазки электрода

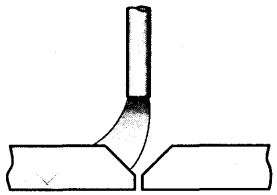


Рис. 5.12. Отклонение дуги по причине химической неоднородности свариваемой стали

Меры предотвращения отклонения дуги: сварка короткой дугой; подвод сварочного тока в точке, максимально близкой к дуге; изменение угла наклона электрода к изделию; размещение у места сварки компенсирующих ферромагнитных масс; использование трансформаторов или инверторных источников питания.

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

При сварке нередко наблюдается *блуждание дуги* – беспорядочное перемещение сварочной дуги по изделию, обусловливаемое влиянием загрязнения металла, потоков воздуха и магнитных полей. Это явление особенно часто 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.

5.4. Вольт-амперная характеристика сварочной дуги

Зависимость напряжения дуги при постоянной ее длине от силы сварочного тока называется ее ***вольт-амперной характеристикой***.

В вольт-амперной характеристике различают три области (рис. 5.13). Область *I* – это область малых токов (~до 100 А).

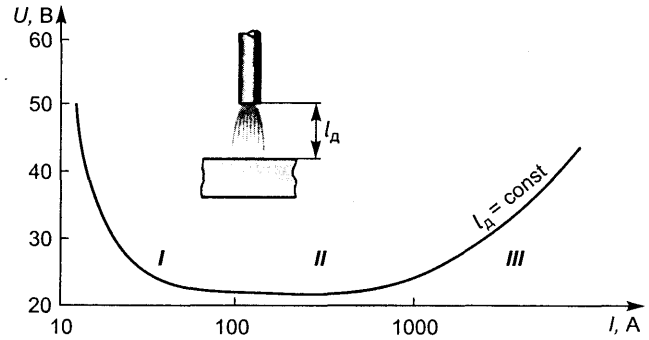


Рис. 5.13. Статическая вольт-амперная характеристика сварочной дуги

Ей соответствует *падающая характеристика*, поскольку с увеличением тока увеличивается объем разогретого газа (увеличивается площадь сечения столба дуги) и степень его ионизации, электрическая проводимость дуги при этом возрастает, а сопротивление столба дуги уменьшается. В результате падает нужное для поддержания дугового разряда напряжение. Сварочная дуга, имеющая падающую вольт-амперную характеристику, обладает малой устойчивостью.

В области *II* при дальнейшем увеличении тока столб дуги несколько сжимается и объем газа, участвующего в переносе зарядов, уменьшается. Это приводит к уменьшению скорости образования заряженных частиц. Напряжение дуги становится мало зависящим от тока, а вольт-амперная характеристика – *жесткая*.

Падающая и жесткая характеристики соответствуют ручной дуговой сварке покрытыми электродами и сварке неплавящимся электродом в защитных газах.

Область *III* – это область больших токов, и степень ионизации здесь очень высока. С увеличением силы тока происходит интенсивное сжатие столба дуги, его напряжение увеличивается, а вольт-амперная характеристика становится *возрастающей*. Такая характеристика соответствует дуговой сварке под флюсом и сварке в защитных газах тонкой проволокой токами большой плотности.

Зависимость напряжения в сварочной дуге от ее длины описывается уравнением

$$U = a + bl_д,$$

где a – сумма напряжений на аноде и катоде, В; b – падение напряжения в столбе дуги на 1 мм ее длины, В/мм; $l_д$ – длина дуги, мм.

С увеличением длины дуги ее напряжение увеличивается, и кривая вольт-амперной характеристики дуги поднимается выше, сохраняя свою форму.

5.5. Перенос электродного металла

Конец электрода при сварке нагревается до температуры 2300–2500 °С и в результате на нем образуются капли расплавленного металла.

Перенос металла – процесс перехода расплавленного электродного металла в сварочную ванну.

Перенос металла всегда происходит от сварочного электрода к изделию. Непосредственно под дугой на металле изделия образуется углубление, заполненное жидким металлом, которое называется ***сварочной ванной***. Одновременно под действием теплоты дуги расплавляется металл на конце электрода и в виде капель проходит через дуговой промежуток в сварочную ванну, образуя сварной шов.

На рис. 5.14 показаны стадии процесса плавления электрода и основного металла. Вначале под действием теплоты сварочной дуги происходит оплавление конца электрода и плавление основного металла (рис. 5.14, *а*). Оплавившийся слой электродного металла принимает форму капли с образованием у ее основания шейки (рис. 5.14, *б*). Поперечное сечение шейки с течением времени уменьшается. Это приводит к значительному увеличению плотности тока у шейки, вследствие чего капля под действием электродинамических сил отрывается от электрода и происходит ее перенос через дугу (рис. 5.14, *в*), а затем идет взаимодействие капли со сварочной ванной (рис. 5.14, *г*).

Характер плавления и переноса электродного металла оказывает большое влияние на производительность сварки, ход металлургических процессов. От него зависят устойчивость горения дуги, потери металла, формирование шва и др.

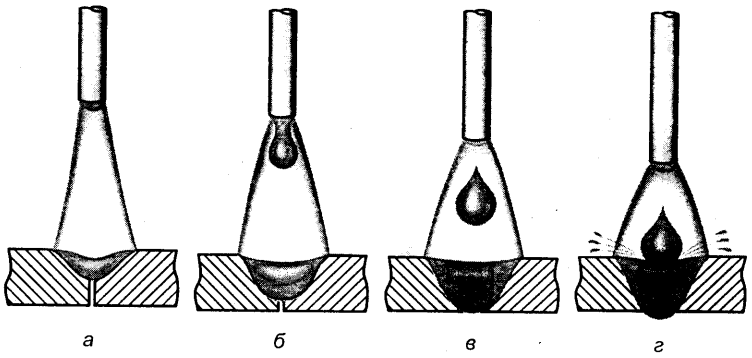


Рис. 5.14. Стадии процесса плавления электрода и основного металла

Капли расплавленного металла переходят с электрода в сварочную ванну при горении сварочной дуги во всех пространственных положениях (горизонтальное, вертикальное, потолочное). За 1 с от электрода отрываются и переходят на изделие несколько капель расплавленного металла. При больших плотностях тока за 1 с может образоваться несколько десятков капель.

Формирование и перенос капель осуществляется под воздействием силы тяжести, сил поверхностного натяжения, давления газов, образующихся внутри расплавленного металла, давления газового потока, электростатических и электродинамических сил, реактивного давления паров металла. В зависимости от соотношения сил, действующих на каплю, различают следующие виды переноса электродного металла (рис. 5.15):

- *крупнокапельный* с коротким замыканием дуги (характерен для ручной дуговой сварки покрытыми электродами с основным покрытием): диаметр капли $d_к$ больше диаметра электрода $d_э$;
- *среднекапельный* (характерен для ручной дуговой сварки покрытыми электродами с рутиловым и кислым покрытием): $d_к = d_э$;
- *мелкокапельный* (характерен для ручной дуговой сварки покрытыми электродами с целлюлозным покрытием, а также наблюдается при сварке под флюсом и в защитных газах – аргоне, углекислом газе и др.): $d_к < d_э$;

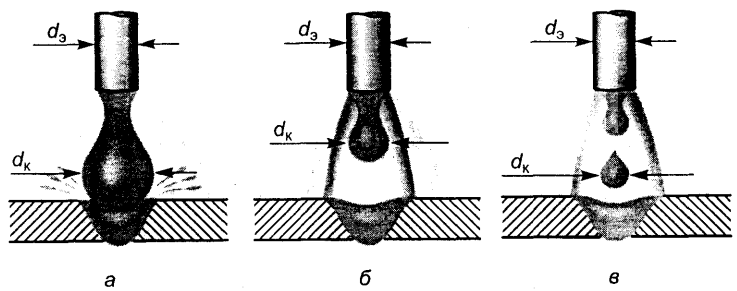


Рис. 5.15. Виды переноса электродного металла:
а – крупнокапельный с коротким замыканием дуги; *б* – среднекапельный; *в* – мелкокапельный

- *струйный* (имеет место при сварке в аргоне большими токами).

Мелкокапельный и струйный переносы электродного металла обеспечивают более устойчивый процесс сварки и лучшее формирование шва.

Разбрызгивание электродного металла при сварке обусловлено главным образом электрическим взрывом перемычки между отделяющейся каплей и концом электрода под действием электромагнитных сил.

Сварку производят дугой переменного и постоянного тока. При сварке дугой переменного тока промышленной частоты (50 периодов в секунду) катодное и анодное пятна меняются местами 100 раз в секунду. В начале и конце каждого периода дуга угасает. Поэтому дуга, питаемая переменным током, горит менее устойчиво, чем дуга, питаемая постоянным током.

При сварке переменным током полярность меняется 100 раз в секунду, поэтому безразлично, к какому зажиму сварочного трансформатора присоединены изделие и электрод.

Тестовые задания

1. Температура в столбе сварочной дуги достигает:

1) 1000 °С; 2) 1539 °С; 3) 2500 °С; 4) 6000 °С.

2. Сварочная ванна при дуговой сварке сталей нагревается до температуры:

1) 100 °С; 2) 1539 °С; 3) 2000 °С; 4) 6000 °С.

3. Наиболее низкий потенциал ионизации имеет:

1) никель; 3) фтор;
2) марганец; 4) калий.

4. При ручной дуговой сварке покрытыми электродами характерен перенос электродного металла:

1) крупнокапельный; 3) струйный;
2) мелкокапельный; 4) парами.

5. Напряжение на дуге при ручной дуговой сварке составляет примерно:

1) 22 В; 2) 220 В; 3) 380 В; 4) 1000 В.

6. Процесс отрыва электрона от атома:

1) рафинирование; 3) диссоциация;
2) рекомбинация; 4) ионизация.

7. Распад молекул на атомы в сварочной дуге:

1) раскисление; 3) диссоциация;
2) окисление; 4) ионизация.

8. Процесс соединения электрона и иона в сварочной дуге:

1) рафинирование; 3) диссоциация;
2) рекомбинация; 4) ионизация.

9. При ручной дуговой сварке длина дуги обычно составляет:

1) 1–2 мм; 2) 3–4 мм; 3) 5–7 мм; 4) 8–10 мм.

10. Полярность, при которой электрод присоединяется к отрицательному полюсу источника питания дуги, а объект сварки – к положительному:

1) прямая; 3) косвенная;
2) обратная; 4) независимая.

Глава 6

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ СВАРКЕ

6.1. Особенности сварочных металлургических процессов

Общие сведения. По своей природе дуговая сварка плавлением – металлургический процесс. Под ***металлургическими процессами*** понимают высокотемпературные процессы взаимодействия жидкого металла с газами и сварочными шлаками, а также затвердевающего металла с жидким и кристаллизующимся шлаками. Эти процессы происходят в период плавления электрода, перехода капли жидкого металла через дуговой промежуток и в самой сварочной ванне.

В отличие от металлургических процессов, протекающих в обычных сталеплавильных печах, сварочный процесс имеет некоторые особенности.

❑ Малый объем сварочной ванны и быстрая скорость ее охлаждения приводят к тому, что не все начавшиеся реакции заканчиваются. Кроме того, создаются препятствия полному очищению металла шва от различных оксидов, неметаллических включений и газов, которые из-за быстрого затвердевания металла шва не успевают выйти на поверхность сварочной ванны.

❑ Активное взаимодействие расплавленного металла с окружающей газовой средой и шлаками, нагретыми до высокой температуры, способствует дополнительному насыщению металла шва газами и шлаковыми включениями.

❑ Большая температура сварочной дуги и металла сварочной ванны приводит к диссоциации газов, т.е. распаду, например, молекул кислорода, азота, водорода на атомы: $O_2 = O + O$; $N_2 = N + N$; $H_2 = H + H$.

Находясь в атомарном состоянии, эти газы становятся весьма активными и, взаимодействуя с металлом шва, резко ухудшают его качество.

В результате металлургических процессов может происходить окисление и раскисление металла шва, легирование его соответствующими элементами, а также растворение и выделение в шве азота, водорода и других газов.

Строение и форма сварочной ванны. Сварочная ванна – это часть металла сварного шва, находящегося в момент сварки в расплавленном состоянии, которая занимает относительно небольшой объем жидкого металла, образуемый под воздействием источника теплоты из расплавляемых основного и присадочного металлов и дающий при затвердевании сварной шов (рис. 6.1).

Сварочная ванна характеризуется длиной, шириной и глубиной проплавления основного металла (рис. 6.1, *а*). Она ограничивается изотермической поверхностью, имеющей температуру основного металла. В плане сварочная ванна имеет эллипсовидное вытянутое вдоль направления сварки очертание (рис. 6.1, *б*). В поперечном сечении в зависимости от режима и условий сварки сварочная ванна может иметь разную форму, но наиболее характерной является форма провара, приближающаяся к полуокружности (рис. 6.1, *в*).

Приближенно среднюю продолжительность существования сварочной ванны $t_{св}$ можно определить из зависимости

$$t_{св} \approx L / \upsilon_{св},$$

где L – длина ванны, мм; $\upsilon_{св}$ – скорость сварки, мм/с.

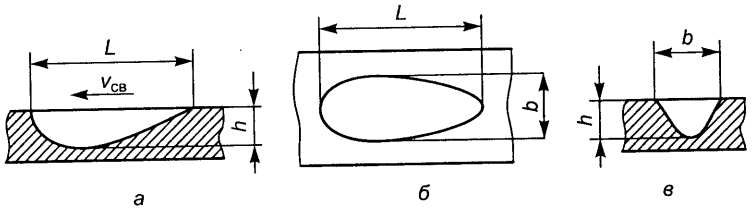


Рис. 6.1. Форма сварочной ванны:
L – длина; b – ширина; h – глубина

Процессы, происходящие в сварочной ванне. В сварочной ванне происходят кристаллизация металла и формирование сварного шва. Металл окисляется, раскисляется и легируется. При этом могут образовываться газовые поры и шлаковые включения.

На процессы, происходящие в сварочной ванне, большое влияние оказывает воздух, соприкасающийся с расплавленным металлом и отрицательно влияющий на свойства металла. В связи с этим возникает необходимость защиты расплавленного металла сварочной ванны от воздействия воздуха.

Металлургические реакции при сварке. Химические реакции взаимодействия расплавленного металла с газами и средствами защиты называются ***сварочными металлургическими реакциями.***

Выделяют две основные зоны взаимодействия расплавленного металла с газами и шлаком – торец электрода с образующимися на нем каплями и сварочную ванну.

Металлургические реакции при сварке одновременно протекают в газовой, шлаковой и металлической фазах.

Сварочные металлургические реакции происходят при высокой температуре нагрева и относительно малом объеме расплавляемого металла и характеризуются кратковременностью процессов.

Средняя температура капель электродного металла, поступающего в ванну, возрастает с увеличением плотности тока и составляет при сварке сталей 2200–2700 °С, т.е. имеет место значительный перегрев металла (температура плавления железа – 1539 °С, температура кипения – 2860 °С).

Температура сварочной ванны также значительно превышает (на 300–700 °С) точку плавления металла, что способствует большой скорости протекания реакций.

6.2. Взаимодействие расплавленного металла с газами

Основные реакции в зоне сварки. При дуговой сварке газовая фаза зоны дуги, контактирующая с расплавленным металлом, состоит из смеси N_2, O_2, OH, CO_2, CO, паров H_2O, а также продуктов их диссоциации (распада) и паров металла и шлака.

7. Зак. 717.

Азот попадает в зону сварки главным образом из воздуха.

Источником кислорода и водорода являются воздух, сварочные электроды, флюсы, защитные газы и т.п., а также оксиды, влага и другие загрязнения на поверхности основного и присадочного металлов.

В зоне высоких температур происходит распад молекул газа на атомы. Молекулярный кислород, азот и водород переходят в атомарное состояние $O_2 = 2O$, $N_2 = 2N$, $H_2 = 2H$. Активность газов в атомарном состоянии резко повышается.

При контакте кислорода с жидким металлом происходит его растворение в металле, а при достижении предела растворимости – химическое взаимодействие с образованием оксидов. Одновременно происходит окисление примесей и легирующих элементов, содержащихся в металле. В первую очередь окисляются элементы, обладающие большим сродством к кислороду, например марганец: $Mn + O = MnO$.

Водород также растворяется в большинстве металлов. Он является вредной примесью, так как служит причиной возникновения пор и трещин в шве и зоне термического влияния.

Углекислый газ, присутствующий в зоне дуги, активно окисляет металл. Реакция протекает в две стадии:

$$CO_2 = CO + O,\ Fe + O = [FeO].$$

В суммарном виде реакция имеет вид:

$$CO_2 + Fe = [FeO] + CO,$$

где [FeO] – оксид железа, растворяющийся в железе.

Образующийся оксид углерода CO в металле шва не растворяется, он выделяется в процессе кристаллизации сварочной ванны и может образовывать поры. Углекислый газ применяют для защиты зоны сварки при использовании раскисляющих элементов (Mn, Si), нейтрализующих окислительное действие CO_2.

Водяной пар, находящийся в газовой фазе, взаимодействует с жидким металлом:

$$H_2O + Fe = [FeO] + H_2.$$

При сварке расплавленный металл поглощает из воздуха кислород и азот. В результате насыщения металла этими газами его механические свойства ухудшаются.

Кислород в металле снижает временное сопротивление, предел текучести и ударную вязкость.

Азот растворяется в большинстве конструкционных материалов и со многими элементами образует соединения, называемые *нитридами*. С железом он образует нитриды Fe_2N и Fe_4N, которые снижают пластичность металла и приводят к старению сталей.

Кислород и азот – вредные примеси и в металле сварного шва. При разработке сварочных материалов и технологии сварки вопросам уменьшения содержания этих газов в металле уделяют существенное внимание. Основные способы борьбы с вредным влиянием газов – качественная защита жидкого металла и применение элементов-раскислителей в сварочных материалах.

Для предохранения металла сварочной ванны от воздействия воздуха создают газовую защиту, которая оттесняет воздух от расплавленного металла. В результате снижается возможность растворения кислорода и азота воздуха в жидком металле. Защитные газы образуются при сгорании компонентов покрытия электродов.

С увеличением длины сварочной дуги длительность пребывания расплавленной капли металла в дуговом промежутке увеличивается. Насыщение капли металла кислородом и азотом будет повышаться, так как оно происходит на всем пути капли до ее попадания в сварочную ванну. Поэтому короткая сварочная дуга более целесообразна, чем длинная.

Окисление металла при сварке. Металл шва окисляется в основном кислородом, содержащимся в газах и шлаках сварочной ванны. Кроме того, окисление может происходить при наличии оксидов (окалины, ржавчины) на кромках деталей и поверхности электродной проволоки. В процессе нагрева имеющаяся в ржавчине влага испаряется, а содержащийся в ней кислород окисляет металл. Окалина при плавлении превращается в оксид железа с выделением свободного кислорода. При плохой защите сварочной ванны окисление вызывается кислородом воздуха.

Железо образует с кислородом три соединения (оксида): FeO (содержит 22,27% O_2); Fe_3O_4 (27,64% O_2); Fe_2O_3 (30,06% O_2). Наличие этих соединений в металле снижает его прочностные и пластические свойства.

При высокой температуре сварочной дуги за счет атомарного кислорода в результате реакции Fe + O = FeO образуется низший оксид, который при понижении температуры может переходить в высшие оксиды Fe_3O_4 и Fe_2O_3.

Наиболее опасным для шва является оксид FeO, способный растворяться в жидком металле. После остывания шва из-за невысокой температуры затвердевания FeO (1370 °С) остается в нем в виде пленок, окаймляющих зерна, что сильно снижает пластические свойства шва. Чем больше кислорода в шве находится в виде FeO, тем хуже его механические свойства. Высшие оксиды Fe_3O_4 и Fe_2O_3 не растворяются в жидком металле, и, если не всплывают на поверхность сварочной ванны, то остаются в металле шва в виде шлаковых включений.

Железо может окисляться также кислородом газов CO, CO_2 и паров воды H_2O:

$$Fe + CO = FeO + C;\ Fe + CO_2 = FeO + CO;$$

$$Fe + H_2O = FeO + H_2.$$

Кроме железа, окисляются и другие элементы, находящиеся в стали, например углерод, марганец, кремний. При переходе капли металла через дугу окисление элементов происходит в результате соединения их с атомарным кислородом:

$$C + O = CO;\ Mn + O = MnO;\ Si + 20 = SiO_2.$$

В сварочной ванне элементы окисляются при взаимодействии с FeO:

$$C + FeO = CO + Fe;\ Mn + FeO = MnO + Fe;$$

$$Si + 2FeO = SiO_2 + 2Fe.$$

В результате окисления содержание этих элементов в металле уменьшается. Кроме того, образующиеся оксиды

могут оставаться в шве в виде газовых пор и шлаковых включений, что значительно снижает механические свойства сварных соединений.

Раскисление металла при сварке. Раскисление металла – удаление кислорода из жидкого металла. Применительно к сварке ***раскислением*** называют переход растворенного оксида железа FeO в нерастворимые соединения с последующим удалением в шлак. Реакции раскисления выражаются в основном теми же уравнениями, что и реакции окисления, но происходят в обратном направлении. В общем случае характерная реакция раскисления имеет вид:

$$FeO + R = Fe + RO,$$

где R – раскислитель.

Раскислители – вещества, применяемые для удаления кислорода из жидкого металла сварочной ванны. Они восстанавливают металлы из их оксидов. В качестве раскислителей применяют марганец, кремний, титан, алюминий, углерод и другие элементы, обладающие большим сродством с кислородом, чем железо. Раскислители вводятся в сварочную ванну через электродную проволоку, покрытия электрода и флюсы. Ниже приводятся наиболее типичные реакции раскисления.

❑ Раскисление марганцем: FeO + Mn = Fe + MnO.

Оксид марганца малорастворим в железе, но хорошо растворяет в себе оксид железа FeO, увлекая его за собой в шлак.

❑ Раскисление кремнием: $2FeO + Si = 2Fe + SiO_2$.

Оксид кремния плохо растворим в железе и всплывает в шлак. Раскисление кремнием сопровождается реакциями образования легкоплавких силикатов марганца и железа, которые также переходят в шлак:

$$MnO + SiO_2 = MnO \cdot SiO_2;\ FeO + SiO_2 = FeO \cdot SiO_2.$$

❑ Раскисление титаном: $2FeO + Ti = 2Fe + TiO_2$.

Титан – энергичный раскислитель, но более дорогой, чем марганец и кремний. Раскисление титаном сопровождается реакциями образования легкоплавких титанов марганца и железа:

$$MnO + TiO_2 = MnO \cdot TiO_2;\ FeO + TiO_2 = FeO \cdot TiO_2.$$

Марганец, кремний и титан вводятся в сварочную ванну через электродную проволоку, покрытие электрода или флюс в виде ферромарганца, ферросилиция или ферротитана.

❑ Раскисление алюминием: $3FeO + 2Al = 3Fe + Al_2O_3$.

Алюминий еще более энергичный раскислитель, чем титан, но образует тугоплавкие оксиды (с температурой плавления около 2050 °С), которые очень медленно переходят в шлак и частично остаются в шве. Кроме того, он способствует окислению углерода, что вызывает пористость шва. Вводится алюминий в сварочную ванну через электродное покрытие или флюс в виде алюминиевого порошка.

❑ Раскисление углеродом: $FeO + C = Fe + CO$.

Образовавшийся оксид углерода выделяется в атмосферу, вызывая сильное кипение сварочной ванны и образуя поры в шве. Для получения плотных швов реакцию раскисления углеродом следует «подавить» введением в сварочную ванну более энергичных раскислителей, например кремния.

6.3. Взаимодействие металла со шлаками и газами

Назначение шлаков. В сварочной ванне при дуговой сварке образуется неметаллический материал – ***сварочный шлак***.

Шлак формируется из электродных покрытий, а также в результате взаимодействия металла с газами. Он состоит из расплава неметаллических соединений – оксидов и пр. В расплавленном состоянии металл и шлак представляют собой несмешивающиеся жидкости. Шлаки не растворяются в металлах (кроме некоторых элементов, входящих в их состав). Свойства жидкого шлака оказывают влияние на качество металла шва.

Химический состав шлака определяется компонентами электродных покрытий. Шлаки состоят из оксидов кремния (SiO_2), титана (TiO_2), марганца (MnO), железа (Fe_2O_3) и солей различных кислот.

Сварочные шлаки выполняют такие функции:

❑ защита жидкого металла от непосредственного контакта с воздухом;

❑ раскисление, легирование и рафинирование металла;

❑ улучшение теплового режима сварки путем снижения скорости охлаждения металла;

❑ поддержание устойчивого процесса сварки;

❑ обеспечение правильного формирования шва.

Все это возможно только при определенных свойствах сварочных шлаков.

Шлаки затвердевают при температуре 1100–1400 °С. В этом интервале происходит переход шлака из жидкого состояния в мягкое и затем твердое.

Основное назначение сварочного шлака – изоляция расплавленного металла от воздуха. Электродные покрытия стабилизируют дугу, способствуют качественному формированию шва, осуществляют металлургическую обработку расплавленного металла – его раскисление и легирование.

Сварочные шлаки, которыми покрыт расплавленный металл, защищают его от вредного воздействия воздуха, предохраняют расплавленные капли электродного металла от воздуха при их прохождении через дуговой промежуток. Кроме того, в результате химического взаимодействия с металлом шлак раскисляет металл сварочной ванны, растворяет вредные примеси, легирует металл шва, накапливая теплоту, замедляет охлаждение металла шва, что способствует улучшению его качества. В зависимости от элементов, составляющих шлак, его химическое воздействие на жидкий металл может быть окисляющим или раскисляющим.

Для получения необходимых свойств металла шва важное значение имеют физические и технологические свойства шлака.

Сварочный шлак должен обладать меньшей температурой плавления, чем основной металл (примерно на 200–300 °С). Это необходимо для того, чтобы шлак в расплавленном состоянии покрывал всю поверхность сварочной ванны (возрастает защитное действие шлака, улучшается формирование шва). Шлак должен обладать меньшей плотностью, чем плотность основного металла; хорошей жидкотекучестью (для ускорения химических процессов); способностью защищать расплавленный металл от воздуха и вместе с тем легко пропускать газы, выделяю-

щиеся из ванны металла; хорошей растворимостью различных соединений; минимальным количеством вредных примесей; способностью легко отделяться от металла сварного шва в твердом состоянии.

Шлаковые включения. В процессе сварки металл сварочной ванны, нагретый до температуры, превышающей температуру его плавления, взаимодействует со шлаками. Это взаимодействие может улучшить качество металла, но ухудшить его химический состав.

Шлаковые включения в металле шва являются результатом присутствия в электродных покрытиях кварца (SiO_2) и корунда (Al_2O_3). Эти включения образуют с оксидами (MnO, FeO) легкоплавкие включения.

К неметаллическим включениям относятся также химические соединения азота с металлами. При дуговой сварке сталей наибольшее влияние на свойства металла шва оказывают химические соединения азота с железом. Они обладают высокой твердостью и резко снижают пластические свойства металла.

Шлаковые включения делают металл неоднородным, ухудшают его свойства. По химическому составу шлаковые включения отличаются от наплавленного металла, что способствует появлению коррозии.

Для снижения содержания шлаковых включений в металле сварного шва зачищают поверхность в местах сварки, удаляют ржавчину, окалину и загрязнения со свариваемых поверхностей, зачищают поверхности свариваемых швов при многослойной сварке, вводят в состав электродных покрытий элементы, снижающие температуру плавления оксидов и образующие соединения, легко всплывающие в металле и удаляемые вместе со шлаковой коркой.

Рафинирование металла шва. Сварочные материалы, кроме окислителей, могут содержать и вредные компоненты – серу и фосфор, которые являются причиной возникновения горячих трещин и повышения хрупкости металла шва. Очистка металла от вредных примесей называется ***рафинированием***.

В сварочную ванну сера попадает из основного металла, сварочной проволоки и иногда из покрытия электродов или флюса. Сера, соединяясь с железом, образует сульфид железа FeS.

Для очищения свариваемого металла от серы в сварочную ванну вводят элементы, имеющие большее сродство к сере, чем железо. Образующийся сульфид должен плохо растворяться в металле и хорошо – в шлаке. Таким элементом служит марганец, обладающий большим сродством к сере. Сульфид марганца не растворяется в металле, имеет малую плотность и легко всплывает в шлак сварочной ванны. Процесс идет по реакциям:

$$FeS + Mn \rightarrow MnS + Fe;\ FeS + MnO \rightarrow MnS + FeO.$$

Такого же эффекта достигают введением кальция по реакции:

$$FeS + CaO \rightarrow FeO + CaS.$$

Фосфор также относится к вредным примесям в сталях. Пути попадания его в шов те же самые, что и серы. В металле фосфор находится в виде соединений – фосфидов железа, температура плавления которых (1170 °C) намного ниже, чем у железа:

$$3Fe + P = Fe_3P;\ 2Fe + P = Fe_2P.$$

Фосфор в металле шва накапливается по границам зерен в виде прослоек, что приводит к снижению пластичности металла. Особенно сильно уменьшается пластичность при низких температурах, что является причиной хладноломкости металла. Снизить содержание фосфора можно окислением по реакциям:

$$2Fe_2P + 5FeO = P_2O_5 + 9Fe;\quad 2Fe_3P + 5FeO = P_2O_5 + 11Fe.$$

Затем фосфор взаимодействует с кальцием и связывается в прочные соединения, которые переходят в шлак:

$$3CaO + P_2O_5 = Ca_3P_2O_8;\quad 4CaO + P_2O_5 = Ca_4P_2O_9.$$

6.4. Образование пор

Образование пор внутри металла сварного шва и на его поверхности вызывают газы, выделяющиеся из жидкого наплавленного металла при его охлаждении и затвердевании. Этот процесс обусловлен наличием влаги и оксидов в присадочных материалах, а также влаги, окалины и ржавчины на кромках свариваемых материалов.

8. Зак. 717.

Ржавчина – водный оксид железа, по составу приблизительно соответствует формуле $Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$.

Окалина – продукт окисления железа, образующийся на его поверхности преимущественно при нагреве. По химическому составу окалина приближается к оксиду железа Fe_3O_4.

Присутствие в основном металле растворенного водорода также приводит к газовыделению и образованию пор.

Водород играет главную роль в образовании пор при сварке. Растворившись в металле сварочной ванны, он выделяется при кристаллизации металла. Поэтому очень важно, чтобы обмазка электродов и сварочный флюс не были сырыми, со свариваемых поверхностей перед сваркой были удалены ржавчина, масло и другие загрязнения. Оставшиеся в металле шва газы повышают его хрупкость и твердость и снижают пластичность.

Наличие пор в сварном шве зависит от режима сварки. Чем больше скорость охлаждения металла, тем более благоприятны условия для образования пор, так как газы не успевают выделиться из расплава.

При сварке на режимах, обеспечивающих большую тепловую мощность сварочной дуги, и при малых скоростях сварки поры не образуются.

Сварка элементов соединений малой и большой толщины на одинаковых режимах приводит к образованию пор в металле сварного шва из элементов большой толщины.

Сварочная ванна, в которой образуются и выходят на поверхность пузырьки газа, выглядит кипящей. Кипение сварочной ванны при сварке стали обычно вызывается образованием оксида углерода, не растворимого в металле.

6.5. Кристаллизация металла шва

Кристаллизация сварочной ванны. Металл сварочной ванны при кристаллизации находится одновременно под воздействием теплоты сварочной дуги и холодного нерасплавленного металла детали. Дуга вводит теплоту, окружающий металл отводит теплоту.

При переходе металла из жидкого состояния в твердое образуются кристаллы. Такой процесс называют ***кристаллизацией***. Кристаллизация сварного шва идет непрерывно в течение сварочного процесса – расплавления основного и присадочного металлов.

Сварной шов имеет структуру литого металла. В процессе сварки расплавляются кромки основного металла и электродная проволока, непрерывно подаваемая в сварочную ванну (рис. 6.2). Сварочная ванна может быть условно разделена на две части: переднюю (головную) *1* и хвостовую *2*. В передней части происходит плавление, а в хвостовой – кристаллизация и формирование сварного шва. Различают первичную и вторичную кристаллизацию.

Первичной кристаллизацией называется переход металла из жидкого состояния в твердое, в результате чего образуются кристаллы.

Вначале каждый кристаллик, образовавшийся в жидком металле, растет свободно и имеет правильную геометрическую форму. Одновременно развиваются и другие кристаллы. Когда они, увеличиваясь, начинают соприкасаться друг с другом, их правильная форма нарушается, они приобретают округленную форму в виде зерна. Такие кристаллы принято называть *зернами*.

В зависимости от того как протекал процесс кристаллизации, зерна могут быть крупными, видимыми невооруженным глазом, и мелкими, которые можно рассмотреть только с помощью микроскопа.

Кристаллическое строение металла или сплава называют ***структурой***. Строение металлов, видимое невооруженным глазом или в лупу, называют *макроструктурой*,

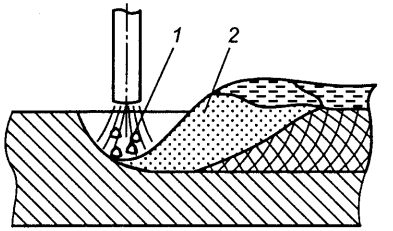


Рис. 6.2. Строение сварочной ванны

строение же металлов, которое можно увидеть только с помощью микроскопа, называют *микроструктурой*.

Кристаллизация сварных швов отличается от кристаллизации слитков высокими скоростями, поскольку после интенсивного нагрева сварочной ванны происходит быстрый отвод теплоты в свариваемое изделие.

Процесс кристаллизации происходит в отдельных тонких слоях. После образования первого кристаллизационного слоя наблюдается некоторая задержка охлаждения металла из-за выделения скрытой теплоты его кристаллизации. В дальнейшем начинает кристаллизоваться второй слой и т.д. до полного затвердевания сварочной ванны. Толщина кристаллизационных слоев лежит в пределах от десятых долей миллиметра до нескольких миллиметров и зависит от объема сварочной ванны и условий теплоотвода. Столбчатые кристаллы каждого последующего слоя являются продолжением кристаллов предыдущего слоя. Таким образом, образующиеся кристаллы как бы перерастают из слоя в слой.

Для первичной кристаллизации жидкого металла необходимо образование центров кристаллизации (зародышей) и их непрерывный рост. В начале кристаллизации центрами ее являются оплавленные зерна основного металла, находящиеся на дне сварочной ванны. В процессе кристаллизации, кроме центров в виде растущих кристаллов, могут появиться и новые центры кристаллизации – как самопроизвольно возникающие из жидкости, так и в виде отдельных тугоплавких частиц, обломков зерен и т.п. При многослойной сварке центрами кристаллизации являются поверхности кристаллов предыдущего слоя. Рост кристаллов происходит в результате присоединения к их поверхности отдельных частиц (атомов) из окружающего расплава. Каждый кристалл, растущий от отдельного зерна на границе сплавления, представляет собой группу совместно растущих элементарных столбчатых кристаллов, сросшихся одним концом с общим основанием, т.е. с оплавленным зерном основного металла. В зависимости от формы и расположения кристаллов затвердевшего металла различают зернистую, а также столбчатую и дендритную (древовидную) структуры.

При зернистой структуре зерна не имеют определенной ориентировки, а по форме напоминают многогранники. Такая структура обычно характерна для основного металла, а также для металла сварного шва, выполненного покрытыми электродами, при его быстром охлаждении. В случае столбчатой и дендритной структур зерна вытянуты в одном направлении. Причем в столбчатой структуре они имеют компактную форму, а в дендритной – ветвистую, елочную. Дендриты обычно располагаются в столбчатых зернах, являясь их основой. Такие структуры шов имеет при медленном охлаждении, т.е. при сварке под флюсом и электрошлаковой сварке.

Направление роста кристаллов связано с интенсивностью отвода теплоты от ванны жидкого металла. Кристаллы растут перпендикулярно к границе сплавления в направлении, противоположном направлению отвода теплоты. Кристаллизация шва с глубоким проваром без теплоотвода снизу формирует дендриты, растущие навстречу друг другу, в результате чего по оси шва в стыке кристаллов из-за плохого срастания концов дендритов образуется полость слабины, где могут возникнуть шлаковые и газовые включения. При кристаллизации же широкого шва с теплоотводом снизу дендриты изгибаются вверх, оттесняя в его верхнюю часть неметаллические включения и обеспечивая свободный выход шлаков и газов на поверхность.

Большой объем сварочной ванны и малая скорость охлаждения обеспечивают увеличение размеров кристаллов, что снижает механические свойства шва. Образованием столбчатых кристаллов заканчивается процесс первичной кристаллизации сварочной ванны.

При сварке сталей на железной основе кристаллы имеют аустенитную структуру, представляющую собой твердый раствор углерода в γ-железе. С дальнейшим понижением температуры происходят аллотропические превращения, которые проявляются в переходе γ-железа, имеющего гранецентрированную кубическую решетку, в α-железо, имеющее объемно-центрированную кубическую решетку. Это сопровождается изменением строения металла за счет появления новых образований в пределах первичных столбчатых кристаллов. Кристаллы, имеющие структуру аустенита, распадаются, образуя механи-

ческую смесь почти чистого α-железа (феррита) и карбида железа Fe_3C (цементита). Такое явление называется *вторичной кристаллизацией* или *перекристаллизацией*.

Особенности кристаллизации сварочной ванны. Рассмотрим отличительные особенности кристаллизации сварочной ванны при ручной дуговой сварке.

❑ Источник теплоты при сварке перемещается вдоль соединяемых кромок, а вместе с ним движется сварочная ванна. Столб дуги, расположенный в головной части ванны, оказывает давление на поверхность расплавленного металла за счет ударов заряженных частиц, давления газов и магнитного дутья дуги. Давление приводит к вытеснению жидкости металла из-под основания дуги и погружению столба дуги в толщу основного металла. Жидкий металл, вытесненный из-под дуги, по мере ее передвижения отбрасывается в хвостовую часть сварочной ванны. При удалении дуги отвод теплоты начинает преобладать над притоком и начинается затвердевание – кристаллизация сварочной ванны. В процессе затвердевания по границе расплавления образуются общие кристаллы, что и обеспечивает монолитность соединения.

❑ Сварочная ванна имеет малый объем (1–3 см^3), который зависит от основных параметров режима сварки. Это вызывает интенсивный отвод теплоты в прилегающий холодный металл, что обусловливает высокую скорость кристаллизации металла ванны.

❑ Расплавленный металл сварочной ванны сильно перегревается и интенсивно перемешивается. Температура сварочной ванны при сварке сталей достигает 1800–2200 °С.

❑ Кристаллизация сварочной ванны начинается в основном от готовых центров кристаллизации – частично оплавленных зерен основного металла. Металл шва имеет столбчатое строение, так как состоит из вытянутых (столбчатых) кристаллов, растущих при кристаллизации в направлении, противоположном теплоотводу.

Формирование свойств металла шва. Свойства металла определяются его составом и структурой. Структура литого металла, как правило, хуже структуры деформированного свариваемого основного металла. Наиболее

эффективным средством улучшения свойств металла сварного шва является придание ему соответствующего химического состава.

Регулирование химического состава металла шва достигается с помощью сварочных материалов (обмазок электродов, сварочной проволоки и др.).

Металл сварного шва представляет собой сплав свариваемого (основного) и присадочного металлов.

На соотношение между основным и присадочным металлами в сварном шве влияют способ сварки, объем наплавленного металла, скорость сварки и др. Так, например, при ручной дуговой сварке количество основного металла в металле сварного шва составляет 30–40%, а электродного металла 60–70%.

Модифицирование металла шва. С целью улучшения механических свойств металла шва производят его ***модифицирование*** – введение в сварочную ванну малых добавок веществ, которые способствуют измельчению зерен металла шва, практически без изменения его химического состава. Такие добавки называют ***модификаторами***. В качестве модификаторов для стали используются титан, алюминий, ванадий, цирконий и др.

Процесс модифицирования заключается либо в образовании в металле шва большого количества мелких, рассеянных (дисперсных) включений, являющихся дополнительными центрами кристаллизации, либо в обволакивании растущих в жидкости кристаллов поверхностно активными пленками, создающими барьер между кристаллом и жидкостью и препятствующими росту кристалла. В обоих случаях в результате кристаллизации появляется мелкозернистая структура.

Зональная и дендритная ликвация в металле шва. ***Ликвацией*** называют неравномерное распределение составляющих сплава, приводящее к неоднородности его химического состава. Ликвация обусловлена наличием в металле шва легирующих элементов и примесей (серы, фосфора, углерода и др.), не растворимых в нем или обладающих ограниченной растворимостью при температуре затвердевания.

Зональная макроскопическая ликвация в металле шва характеризуется различным химическим составом периферийной и центральной его частей. Обусловлено это тем,

что металл периферийных зон шва, затвердевающий в первую очередь, содержит минимальное количество ликвирующих примесей. Содержание же примесей в оставшемся жидком расплаве возрастает. По мере роста кристаллов расплав обогащается примесями, имеющими низкую температуру затвердевания. Они оттесняются к середине шва, поэтому центральная его часть оказывается наиболее загрязненной примесями; здесь возникает так называемая *зона слабины шва*. Ее можно обнаружить в однопроходных швах большого сечения.

Дендритная (внутрикристаллическая) микроскопическая ликвация характеризуется неоднородностью химического состава отдельных составляющих кристаллов. Это обусловлено тем, что при затвердевании металла шва первые кристаллы, образующие оси, а затем ветви дендритов содержат меньше примесей, чем исходный жидкий расплав. По мере роста осей и ветвей дендрита расплав обогащается примесями, и образовавшийся кристалл оказывается неоднородным по химическому составу: центральные части дендрита состоят из наиболее чистого твердого раствора, а междендритные пространства и особенно пограничные зоны его наиболее загрязнены.

Увеличение скорости охлаждения металла шва вызывает сокращение длительности пребывания металла сварочной ванны в двухфазном состоянии и сглаживание разницы между составом твердой и жидкой фаз, в результате чего дендритная ликвация менее заметна.

Процессы ликвации зависят также от температуры начала и конца кристаллизации. Чем больше этот температурный интервал, тем интенсивнее процессы ликвации. Так, для малоуглеродистой стали температурный интервал кристаллизации составляет всего 20–30 °С, поэтому значительного развития ликвация не получает. С повышением содержания углерода в стали температурный интервал кристаллизации резко возрастает, что способствует интенсивной ликвации металла. Это наряду с другими трудностями усложняет сварку сталей с повышенным содержанием углерода.

Ранее были рассмотрены процессы дендритной ликвации в сплавах при первичной кристаллизации. Однако сплавы на основе железа претерпевают аллотропические превращения в твердом состоянии и переходят из γ- в

α-железо. Это сопровождается изменением строения шва за счет появления новых образований в пределах первичных столбчатых кристаллов.

Изменение формы зерен при аллотропических превращениях, происходящих в твердом металле, наблюдается при вторичной кристаллизации. Процессы вторичной кристаллизации металла шва зависят от его химического состава, скорости охлаждения и ряда других факторов и будут рассмотрены ниже при изложении особенностей сварки различных металлов и сплавов.

6.6. Строение сварного соединения

Этапы образования сварного соединения. Процесс образования сварного соединения начинается с нагрева и расплавления основного и электродного металлов. Однако, хотя расплавление и сопровождается газовыделением, этот этап процесса сварки не оказывает существенного влияния на свойства металла шва.

Следующий этап сварочного процесса отличается от предыдущего тем, что металл шва, пребывая в расплавленном состоянии, изменяет химический состав за счет выгорания некоторых элементов соединения железа с кислородом и азотом и за счет растворения газов.

Последний этап процесса сварки – кристаллизация металла, которая определяет его строение и структуру. Скорость охлаждения сплава неодинакова по сечению шва. В результате структура металла получается неравномерной.

Структура наплавленного металла отличается от структуры обычного стального литья более мелким дендритным строением. Это объясняется тем, что в отличие от литья металл при сварке расплавляется в небольшом объеме и затем быстро кристаллизуется при большой скорости теплопередачи (охлаждения) в основной металл.

Термический цикл сварки. Теплота, выделяемая при сварке, распространяется вследствие теплопроводности из шва в основной металл. В каждой точке околошовной зоны температура вначале возрастает, достигая максимума, а затем снижается. Изменение температуры металла во время сварки называется ***термическим циклом сварки***. Чем ближе точка расположена к границе

сплавления, тем быстрее происходит нагрев металла и тем выше в ней максимальная температура. Поэтому структура и свойства основного металла в различных участках сварного соединения различны.

Свойства участков зоны термического влияния. Сварное соединение, выполненное дуговой сваркой, состоит из металла шва, зоны сплавления, представляющей собой переход от металла шва к нерасплавившемуся металлу, и из зоны термического влияния.

Зона термического влияния (ЗТВ) – участок основного металла, не подвергшийся расплавлению, структура и свойства которого изменились в результате нагрева при сварке или наплавке.

Протяженность ЗТВ зависит от способа сварки, ее режима, химического состава свариваемого и присадочного металлов, физических свойств свариваемых металлов и др. Увеличение силы сварочного тока, снижение скорости сварки вызывают рост ширины зоны термического влияния.

На рис. 6.3. приведены поперечное сечение стыкового сварного соединения при однослойной сварке низкоуглеродистой стали, кривая распределения температур по поверхности сварного соединения в момент, когда металл шва находится в расплавленном состоянии, и структуры различных участков ЗТВ после сварки, образованные в результате воздействия термического цикла сварки.

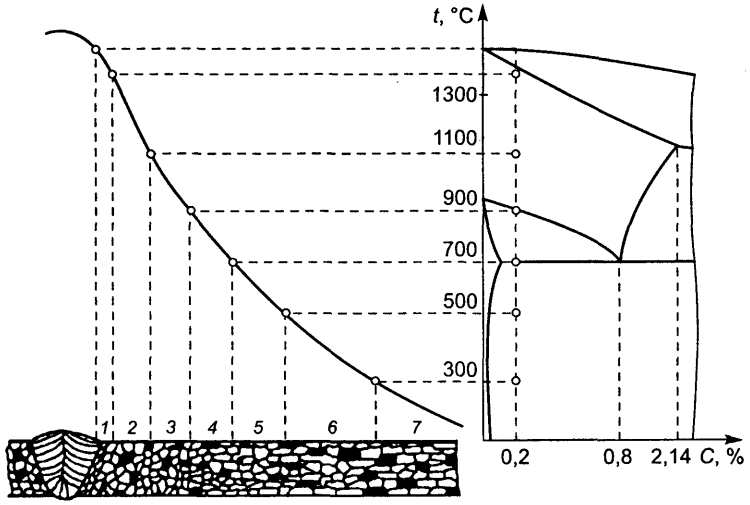


Рис. 6.3. Схема строения зоны термического влияния сварного соединения при дуговой сварке низкоуглеродистой стали

ЗТВ имеет несколько структурных участков, отличающихся формой и строением зерна в зависимости от температуры нагрева.

На участке сварного шва металл находится в расплавленном состоянии и, затвердевая, образует сварной шов, имеющий литую структуру из столбчатых кристаллов. Столбчатая структура металла шва является неблагоприятной, так как снижает пластичность металла.

Участок неполного расплавления 1 – переходный от наплавленного металла к основному. На этом участке образуется соединение и проходит граница сплавления. Он представляет собой очень узкую область (0,1–0,4 мм) основного металла, нагретого ниже линии ликвидуса (1539 °С), но выше линии солидуса (примерно 1500 °С), т.е. до частичного оплавления зерен металла. Здесь наблюдается значительный рост зерен, скопление примесей, потому этот участок обычно является наиболее слабым местом сварного соединения, обладает пониженными прочностью и пластичностью.

Участок перегрева 2 – область основного металла, нагреваемого до температуры 1100–1500 °С. Металл при сварочном нагреве претерпевает аллотропическое превращение из α- в γ- железо. Он нагревается до высоких температур, что вызывает перегрев и рост аустенитного зерна. В процессе остывания вторичная структура определяется составом металла и термическим циклом сварки. Металл отличается крупнозернистой структурой и пониженными механическими свойствами (пластичностью и ударной вязкостью). Эти свойства тем ниже, чем крупнее зерно и шире зона перегрева. Ширина этого участка 1–2 мм.

Участок нормализации 3 – область металла, нагреваемого до температуры 900–1100 °С. Металл обладает высокими механическими свойствами, так как при нагреве и охлаждении образуется мелкозернистая вторичная структура в результате перекристаллизации без перегрева. Ширина его в зависимости от способа и режима сварки составляет 0,5–1,5 мм.

Нормализация – термическая обработка, при которой сталь нагревают до температуры выше критической точки Ac_3 (выше 900 °С), а затем охлаждают на воздухе с целью получения тонкопластинчатой перлитной структуры.

Участок неполной перекристаллизации 4 – зона металла, нагреваемого при сварке до температуры 725–900 °С. Неполная перекристаллизация обусловлена недостаточными временем и температурой нагрева, структура этого участка состоит из мелких перекристаллизовавшихся и крупных зерен, которые не успели перекристаллизоваться. Металл обладает более низкими механическими свойствами, чем на участке нормализации. Ширина этого участка 0,5–1,2 мм.

Участок рекристаллизации 5 – область металла, нагреваемого до температуры 450–725 °С. Если сталь перед сваркой была подвергнута холодной деформации (прокатке, ковке, штамповке), в результате которых часть зерен основного металла сплющилась и вытянулась, а часть раздробилась, то на этом участке развиваются процессы рекристаллизации, приводящие к росту зерна, огрублению структуры и, как следствие, к разупрочнению. Ширина участка 0,5–1,0 мм.

Рекристаллизация – изменение микроструктуры деформированного металла, нагретого выше определенной температуры, при которой искаженная вследствие пластической деформации кристаллическая структура вещества переходит в ненапряженную. Температура рекристаллизации для чистых металлов составляет около 0,35 абсолютной температуры их плавления.

Участок старения 6, нагреваемый до температуры 200–450 °С, является зоной перехода от ЗТВ к основному металлу. При этой температуре появляются синие цвета побежалости на поверхности металла. Спустя некоторое время могут происходить процессы *старения* (изменения свойств металла) в связи с выпадением карбидов железа и нитридов. Этот участок не имеет заметных структурных превращений, однако при сварке низкоуглеродистой стали, содержащей повышенный процент газов (кислорода, азота, водорода), наблюдается выделение их в структурную решетку металла. Это повышает прочность, но снижает пластичность и вязкость металла, поэтому механические свойства металла этой зоны ухудшаются. Если металл перед сваркой был отожжен, то существенных изменений на участках старения *6* и основного металла *7* не происходит.

Ширина зоны термического влияния зависит от толщины свариваемого металла, вида сварки и ее режимов. При ручной дуговой сварке она составляет обычно 3–6 мм, при сварке в CO_2 – 2–4 мм, при сварке под флюсом средних толщин – около 5 мм, при газовой сварке – до 25 мм. В случае газовой сварки ширина ЗТВ велика вследствие большой зоны разогрева основного металла.

Структура металла. Структурные изменения металла в зоне термического влияния зависят от состава свариваемого (основного) металла. Так, например, в сплавах на основе меди и алюминия наблюдаются укрупнение зерен и утолщение их границ; в хромоникелевых сталях – образование карбидов (химическое соединение хрома с углеродом) у границ зерен и другие изменения. При сварке легированных сталей металл в зоне термического влияния изменяется существенно. Он становится неоднородным по структуре и свойствам.

При охлаждении и затвердевании расплавленного металла его объем уменьшается. Это явление называют *усадкой*. Оно приводит к изменению геометрических размеров изделий, образованию усадочных раковин, появлению напряжений и трещин в металле.

В зависимости от величины кристаллов различают *мелкозернистую* и *крупнозернистую структуры*. По форме кристаллов – *равноосную* (зернистую) и *неравноосную структуры*. Разновидностью литой неравноосной структуры является *столбчатая дендритная структура*. Последняя в случае, когда она распространяется по всему сечению детали или рассматриваемого участка, называется *транскристаллической*.

В процессе первичной или вторичной кристаллизации в условиях медленного охлаждения формируется равновесная структура; при больших скоростях охлаждения и направленном отводе теплоты – неравновесная структура.

Отдельные структурные составляющие металла, образующиеся в результате взаимодействия его компонентов друг с другом, могут представлять собой твердые рас-

творы, химические соединения или механические смеси фаз. Например, различают следующие основные структурные составляющие стали: *аустенит, феррит, мартенсит* (твердые растворы), *цементит* (химическое соединение Fe_3C), *перлит* (механическая смесь феррита и цементита).

Структурные превращения – процессы изменения структуры металла, происходящие вследствие того, что при изменении условий, например температуры, одно структурное состояние металла становится менее устойчивым, чем другое. Различают *диффузионные превращения*, когда имеет место изменение химического состава в отдельных микрообъемах металла, обусловленное диффузией, и *бездиффузионные превращения*, происходящие без изменения химического состава и заключающиеся только в перестройке кристаллической решетки.

Структурные превращения, происходящие при постоянной температуре, называются *изотермическими*, а превращения, развивающиеся при изменении температуры,– *анизотермическими*.

6.7. Образование трещин при сварке

Виды трещин. В процессе кристаллизации и формирования металла шва в сварном соединении могут образовываться трещины. По расположению относительно оси шва они бывают продольными и поперечными; в зависимости от величины – микро- или макроскопическими (первые обнаруживают с помощью микроскопа, вторые – невооруженным глазом или при небольшом увеличении через лупу); в зависимости от температуры, при которой они образуются, трещины разделяют на две группы: горячие (высокотемпературные) и холодные (низкотемпературные). Механизм их возникновения различен.

Горячие трещины. Образование горячих трещин (рис. 6.4) обусловлено процессом кристаллизации металла шва. Возникают они при температуре окончания затвердевания металла (обычно выше 1200 °С). Трещины проходят, как правило, по границам кристаллов, поэтому вызывают межкристаллическое разрушение. Объясняется это тем, что при затвердевании металла шва в процессе первичной кристаллизации между кристаллами остаются

жидкие или полужидкие прослойки, имеющие невысокую температуру плавления. Если в это время растягивающие напряжения, возникающие вследствие литейной усадки, будут достаточно велики, эти прослойки разрушатся и возникнут трещины. Если же процесс первичной кристаллизации заканчивается до появления больших растягивающих напряжений, горячие трещины не образуются.

Установлено, что возникновению горячих трещин способствует повышенное содержание в шве серы, углерода, кремния и никеля. Так, сера и никель образуют с железом легкоплавкие эвтектики, располагающиеся по границам зерен и увеличивающие вероятность появления трещин в шве. На образование трещин оказывает также влияние направление роста кристаллов. Узкие швы с глубоким проваром более склонны к возникновению трещин, чем широкие швы с небольшим проваром. Трещины при этом располагаются в середине шва между торцами кристаллов и не выходят на поверхность.

Для уменьшения склонности металла к образованию горячих трещин применяют следующие меры:

- ❑ используют сварочные материалы с минимальным содержанием серы и углерода, который способствует усилению ликвации серы;
- ❑ повышают содержание в металле шва марганца, который связывает серу и выводит ее в шлак;
- ❑ вводят в шов модифицирующие элементы (титан, алюминий и др.), способствующие измельчению структуры;
- ❑ производят предварительный и сопутствующий подогрев изделия, который уменьшает растягивающие напряжения в сварном шве.

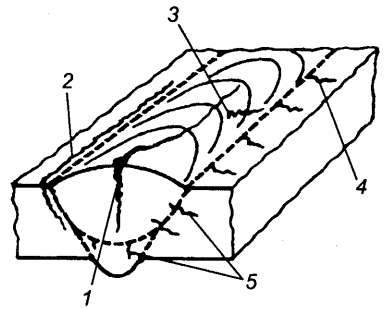


Рис. 6.4. Расположение горячих трещин в сварных соединениях:
1, 2 – продольные в шве и околошовной зоне; *3, 4* – поперечные в шве и околошовной зоне; *5* – поперечные по толщине свариваемого металла

Причиной появления трещин могут быть: скрытые дефекты материала (микроскопические трещины, возникшие при изгибе, штамповке и др.); загрязненность его маслом и наличие окалины (способствующие окислению шва, образованию пористости и микротрещин); дефекты заготовок под сварку (вырезы, в которых концентрируются напряжения); конструкция сварных деталей узлов, в которой не учтены особенности сварки, например пересекающиеся швы; последовательность выполнения сварных швов, вызывающая коробление деталей и концентрацию напряжений; резкое прекращение сварки.

Для определения стойкости металла шва к образованию горячих трещин проводят ряд испытаний, называемых *технологическими пробами*. Если в металле не возникают трещины при сварке в искусственно созданных жестких условиях, он не должен разрушаться и в реальных изделиях.

Холодные трещины. В сварных соединениях при температуре ниже 300 °С в результате значительных внутренних напряжений образуются холодные трещины. Они возникают на границах зерен, а затем с течением времени (до нескольких суток) распространяются по шву и околошовной зоне основного металла. Места расположения (топография) холодных трещин показаны на рис. 6.5. Чаще всего холодные трещины образуются в сварных швах, выполненных из закаливающихся сталей. На склонность стали к появлению холодных трещин оказывает влияние повышенное содержание углерода и легирующих элементов, вызывающих закалку, наличие в шве водорода, фосфора, быстрое охлаждение шва и др.

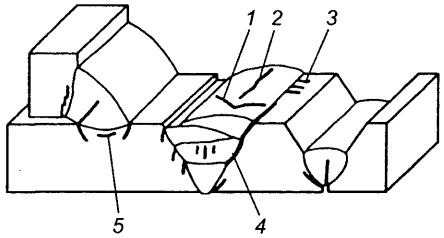


Рис. 6.5. Расположение холодных трещин в сварных соединениях: *1* – поперечные в шве; *2* – продольные в шве (поверхностные, корневые, внутренние); *3* – поперечные в зоне термического влияния; *4*–продольные в зоне сплавления; *5* – продольные в зоне термического влияния (отколы; корневые; от концентратора; подваликовые; слоистое растрескивание)

Образование холодных трещин при сварке может быть вызвано следующими причинами: повышение хрупкости металла вследствие закалочных процессов при быстром его охлаждении; остаточные напряжения, возникающие в сварных соединениях; повышенное содержание в сварных швах водорода, который усиливает неблагоприятное действие первых двух главных причин.

В основе борьбы с холодными трещинами лежат уменьшение степени подкалки металла, снятие остаточных напряжений, ограничение содержания водорода. Наиболее эффективным средством является подогрев металла перед сваркой.

С целью уменьшения склонности металла к образованию холодных трещин применяют следующие меры:

- используют сварочные материалы с минимальным содержанием фосфора, придающего стали хладноломкость;
- осуществляют прокаливание электродов и флюсов, а также подогрев защитных газов с целью удаления влаги, являющейся источником попадающего в шов водорода;
- производят горячую проковку швов после сварки для снятия или уменьшения внутренних напряжений;
- при необходимости применяют предварительный или сопутствующий подогрев свариваемых изделий.

Для определения стойкости металла к образованию холодных трещин используют ряд технологических проб.

Тестовые задания

1. Температура капель электродного металла, поступающего в сварочную ванну, достигает:

1) 1000 °С; 2) 1539 °С; 3) 2500 °С; 4) 6000 °С.

2. Наиболее опасным для шва является оксид железа, способный растворяться в жидком металле:

1) FeO; 2) Fe_2O_3; 3) Fe_3O_4; 4) $Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$.

3. Процесс удаления кислорода из металла сварного шва:

1) ионизация; 3) рафинирование;
2) диссоциация; 4) раскисление.

4. При сварке сталей в качестве раскислителей обычно используют:

1) W и Cr; 2) S и P; 3) Mn и Si; 4) Cr и Ni.

5. Процесс удаления вредных примесей из металла сварного шва:

1) рекомбинация; 3) рафинирование;
2) раскисление; 4) модифицирование.

6. Вредными примесями в стали являются:

1) W и Cr; 2) S и P; 3) Mn и Si; 4) Cr и Ni.

7. Химические элементы, которые вводят в сварной шов для измельчения зерна:

1) раскисляющие; 3) рафинирующие;
2) модифицирующие; 4) упрочняющие.

8. Химическая формула ржавчины:

1) FeO; 2) Fe_2O_3; 3) Fe_3O_4; 4) $Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$.

9. Сварочная ванна при ручной дуговой сварке имеет объем:

1) 1–3 см^3; 2) 4–8 см^3; 3) 9–10 см^3; 4) 11–15 см^3.

10. Трещины, которые образуются в сварных соединениях при высоких температурах:

1) горячие; 3) усталостные;
2) холодные; 4) внутренние.

Глава 7

НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ ПРИ СВАРКЕ

7.1. Причины возникновения напряжений и деформаций

Основные понятия. Изменение формы и размеров твердого тела под влиянием внешней или внутренней силы называется ***деформацией***. Если форма и размеры восстанавливаются после прекращения действия силы, деформация является *упругой*. Если тело не принимает первоначальную форму, значит, деформация *остаточная*, или *пластическая*. Величина деформации определяется приложенным усилием. Чем оно больше, тем значительнее вызываемая им деформация. О величине усилия судят по напряжению, вызываемому данным усилием в теле.

Напряжением называется внутренняя сила, приходящаяся на единицу площади поперечного сечения тела. Таким образом, между напряжением и вызываемой им деформацией существует прямая зависимость.

Напряжения и деформации, возникающие от неравномерного нагревания и охлаждения материала, называются *тепловыми* или *термическими*. Расширение металла зависит от температуры его нагревания и коэффициента линейного расширения – величины, на которую удлиняется металлический стержень длиной 1 м при нагревании его на 1 °С. Чем больше коэффициент термического линейного расширения и выше температура, тем большую деформацию будет испытывать металл при нагревании и охлаждении.

Если закрепить концы стержня так, что он не сможет свободно удлиняться или укорачиваться, то термические деформации стержня вызовут в нем термические напряжения. Чем большую нагрузку испытывает закрепленный стержень, тем больше его деформация и тем выше возникающие в нем напряжения.

На величину деформаций при сварке влияет теплопроводность металла. Чем она выше, тем деформация меньше. Так, например, при сварке нержавеющей стали, обладающей меньшей теплопроводностью и большим коэффициентом термического линейного расширения, чем малоуглеродистая сталь, деформации больше. Алюминий же, имеющий более высокий коэффициент термического линейного расширения, но значительно лучше проводящий теплоту, чем низкоуглеродистая сталь, при сварке меньше деформируется по сравнению с малоуглеродистой сталью.

Термические напряжения, которые возникают в металле без действия внешних усилий, называются *собственными*. Наибольшее значение имеют те напряжения, которые возникают во время охлаждения изделия. Если они действуют только вдоль шва, это не сказывается на прочности сварного соединения. Более опасны напряжения, действующие перпендикулярно к оси шва (поперечные), так как они могут вызвать появление трещин в шве и околошовной зоне.

Причины возникновения деформаций. Основные причины деформаций:

- неравномерный нагрев металла;
- литейная усадка расплавленного металла;
- изменения в структуре металла.

При наплавке валика на кромку полосы валик и нагретая часть полосы расширяются и растягивают холодную часть полосы, создавая в ней растяжение с изгибом (рис. 7.1, *а*). Сам же валик и нагретая часть полосы будут сжаты, поскольку их тепловому расширению препятствует холодная часть полосы. Полоса прогнется выпуклостью вверх.

При остывании (рис. 7.1, *б*) валик и нагретая часть полосы, претерпев пластические деформации, будут укорачиваться, но этому снова воспрепятствуют слои холодного металла. Валик и нагретая часть полосы будут стягивать верхние волокна, и полоса прогнется выпуклостью вниз.

Литейная усадка расплавленного металла. При остывании металл становится более плотным, его объем уменьшается, и в сварном соединении возникают внутренние напряжения (рис. 7.2). Из-за продольных напряжений изделие коробится в продольном направлении (рис. 7.3), а поперечные приводят, как правило, к угловым деформациям –

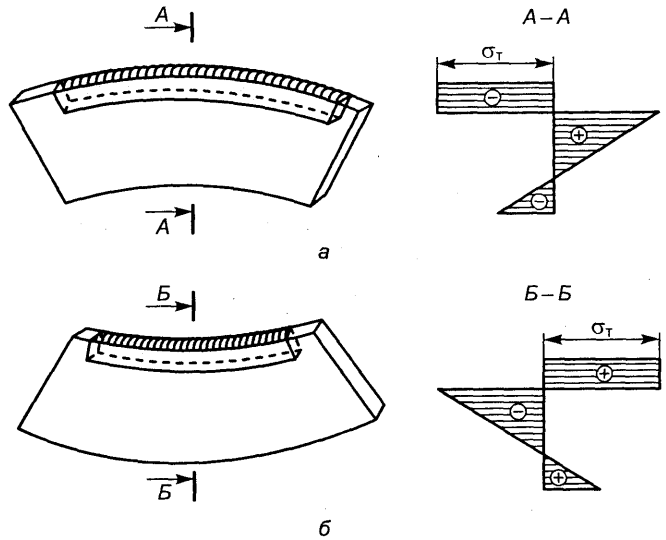


Рис. 7.1. **Неравномерный нагрев металла:**
$\sigma_т$ – напряжение текучести; ⊕ – растяжение; ⊖ – сжатие

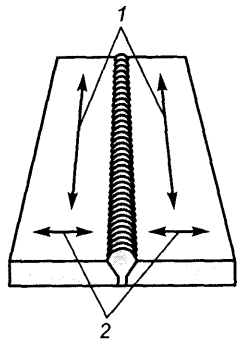


Рис. 7.2. Литейная усадка наплавленного металла:
1 – продольное напряжение;
2 – поперечное напряжение

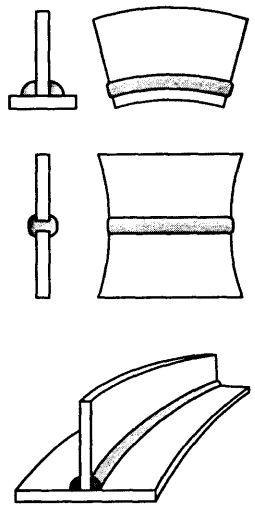


Рис. 7.3. Деформация от продольной усадки

короблению в сторону большего объема расплавленного металла (рис. 7.4).

Внутренние напряжения возникают только в том случае, если свободному расширению и сокращению детали что-либо препятствует, например соседние участки металла, оставшиеся более холодными вследствие неравномерного нагрева и потому менее расширившиеся. Наличие сосредоточенного источника теплоты (электрической дуги), перемещающегося вдоль шва с определенной скоростью и вызывающего неравномерное нагревание металла при сварке, является основной причиной возникновения внутренних напряжений и деформаций в сварных изделиях.

При переходе наплавленного металла из жидкого состояния в твердое происходит ***усадка наплавленного металла***. Явление усадки объясняется тем, что при затвердевании металла он становится более плотным, вследствие чего объем его сокращается. Различные металлы имеют разную усадку. Она обычно измеряется в процентах от первоначального линейного размера образца или детали. Так, усадка алюминия 1,7–1,8%; бронзы – 1,45–1,6%; латуни – 2,06%; меди – 2,1%; малоуглеродистой стали – 2%.

Напряжения, вызванные усадкой, возрастают до тех пор, пока металл не начнет вытягиваться. Если он недостаточно пластичен, деталь может дать трещину в наиболее слабом месте. Этим местом часто бывает околошовная зона, т.е. зона термического влияния. Вследствие усадки или сокращения объема металла в процессе сварки образуются горячие трещины.

Деформация и связанные с ней напряжения зависят от зоны нагрева при сварке. Чем больший объем

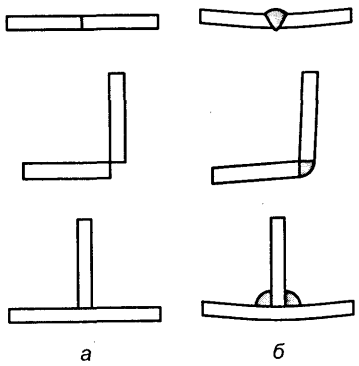


Рис. 7.4. Деформация от поперечной усадки:
а – до сварки; *б* – после сварки

металла разогревается при сварке, тем сильнее деформации и коробления.

Размеры и положения швов влияют на величину деформации при сварке. Наибольшие деформации возникают в длинных швах, расположенных несимметрично относительно сечения свариваемого профиля. Чем сложнее форма детали, чем больше в ней различных швов, тем сильнее она деформируется.

Во время сварки теплота дуги расходуется не только на расплавление металла сварочной ванны, но и на нагрев изделия. При этом оно нагревается неравномерно: на границе с ванной – почти до температуры плавления, а чем дальше от ванны, тем температура ниже.

В результате усадки при затвердевании наплавленного металла, неравномерного нагрева и охлаждения различных участков сварного соединения в процессе сварки, изменения объема металла, вызванного изменением структуры металла при сварке, в металлической конструкции возникают напряжения.

Напряжения в сварных соединениях. Напряжение σ определяется по формуле

$$\sigma = P/F, \text{ Па},$$

где P – нагрузка; F – площадь, на которую действует нагрузка.

Внутренние силы, возникающие в металле при сварке, могут быть достаточными, чтобы привести к образованию трещин в швах или рядом с ними.

Напряженное состояние, вызванное сваркой малопластичных материалов, склонных к закалке (чугуна, легированных сталей, инструментальных сталей и др.), способствует образованию трещин в сварном шве и в основном металле.

Величина и характер остаточных деформаций в значительной степени определяются толщиной и свойствами основного металла, режимом сварки, последовательностью наложения швов, конструктивными формами свариваемых деталей и формой шва. При увеличении толщины свариваемого металла деформации снижаются, что связано с большей жесткостью конструкции.

Изменение размеров и формы сварной конструкции в некоторых случаях снижает ее работоспособность и портит внешний вид. При разработке технологии сборки и

сварки конструкции учитывают необходимость снижения остаточных деформаций до величины, при которой они не отражаются на работоспособности и внешнем виде конструкции и не затрудняют сборку отдельных элементов.

Концентрация напряжений. Представим себе сварную пластину со стыковым швом, обработанным заподлицо (усиление шва удалено режущим инструментом). Эта пластина растягивается силами P. В пластине под действием нагрузок возникнут напряжения, противодействующие внешним силам, которые в любом сечении пластины будут распределены равномерно.

Если стыковой шов не обрабатывать заподлицо с поверхностью пластины, а пластину нагрузить теми же растягивающими силами P, то возникшие в пластине напряжения не будут равномерно распределены по ее сечению. В местах перехода от поверхности пластин к сварному шву, на границе сварного шва, напряжения достигнут наибольшей величины, а в сечении, удаленном от сварного шва, распределение напряжений будет равномерным.

Явление местного повышения напряжений называется ***концентрацией напряжений***. В соединениях со стыковым швом она зависит от выпуклости шва. Чем меньше выпуклость шва и плавнее сопряжение шва с основным металлом, тем меньше концентрация напряжений. В стыковых швах не только выпуклость шва, но и непровар корня шва или чрезмерное проплавление являются местами значительной концентрации напряжений.

Концентрация напряжений вызывается дефектами – концентраторами напряжений в сварных соединениях и швах: подрезами, чрезмерным усилением сварных швов, раковинами, шлаковыми включениями, трещинами, непроварами и др. Она может быть обусловлена также нерациональными очертаниями сварных швов и нерациональной конструкцией сварного соединения.

7.2. Предотвращение напряжений и деформаций

Жесткое закрепление деталей. Эффективной мерой снижения сварочных остаточных деформаций является сварка деталей и узлов, закрепленных в приспособлениях. Однако при этом сильно возрастают сварочные напряжения. После того как сварной узел освобождают от приспособления, в котором он был закреплен, появляются деформации от усадки швов. Уменьшение деформаций при сварке в закрепленном состоянии объясняется тем, что при нагреве до высоких температур происходит пластическая деформация. Этот способ применяют для конструкций, изготовленных из вязких материалов, не склонных к образованию трещин.

Создание обратных деформаций. Часто заготовку подвергают дополнительной обратной деформации. Обратная деформация свариваемых элементов может выполняться по схемам, показанным на рис. 7.5. Метод предва-

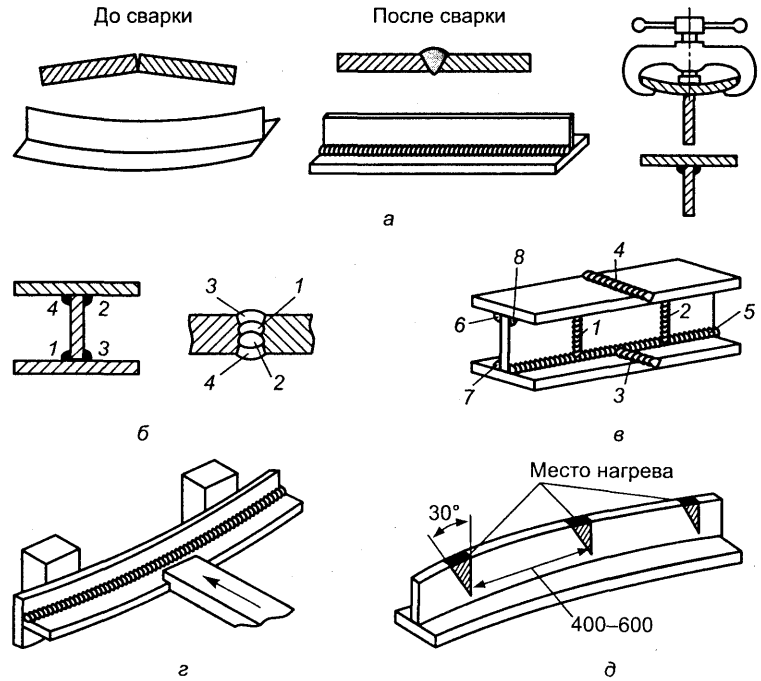


Рис. 7.5. Методы борьбы с деформациями:
а – сборка деталей с учетом возможных деформаций; *б* – рациональная последовательность наложения швов; *в* – уравновешивание деформаций; *г* – механическая правка; *д* – термическая правка; *1–8* – последовательность наложения швов

9. Зак. 717.

рительного изгиба свариваемых деталей используют для предотвращения угловых деформаций.

Листы небольшой ширины располагают предварительно выгибая в сторону, обратную ожидаемой деформации. Листы большой ширины можно укладывать с предварительным изгибом свариваемых кромок.

Для устранения деформаций тавровых и двутавровых балок используют приспособления, которые изгибают балку в сторону, обратную ожидаемой деформации (рис. 7.5, *а*).

Снижение массы наплавленного металла. В сварных конструкциях это достигается правильным конструированием изделия, сокращением количества и размеров сварных швов, уменьшением сечения швов за счет изменения угла скоса кромок, использованием технологии сварки с глубоким проплавлением и сварки на форсированных режимах.

Правильная последовательность наложения швов. В технологических процессах производства сварных конструкций предусматривают способы сварки, обеспечивающие получение минимальных деформаций (рис.7.5, *б*, *в*).

Стыковые соединения с Х-образной подготовкой кромок следует сваривать попеременно с каждой стороны для уменьшения коробления свариваемых элементов.

Применение многослойных швов. Сварка многослойными швами позволяет уменьшить внутренние напряжения, улучшить структуру и качество наплавленного металла, выполнить послойную термическую обработку швов. Целесообразно использование тех марок электродов, которые обеспечивают получение наиболее пластичного металла шва.

Принудительное охлаждение. Уменьшение сварочных напряжений и деформаций при сварке низкоуглеродистых и незакаливающихся сталей достигается применением принудительного охлаждения (водой, с помощью теплоотводов из меди и др.).

7.3. Устранение напряжений и деформаций

Подогрев свариваемого металла. Если меры предотвращения образования сварочных напряжений и деформаций оказываются недостаточными, появляется необходимость в устранении (снятии) возникших напряжений и деформаций. Для частичного или полного устранения

внутренних напряжений применяют предварительный подогрев металла перед сваркой, термическую обработку швов и околошовной зоны после окончания сварочных работ, иногда полную термическую обработку изделия.

Местный предварительный подогрев для уменьшения сварочных напряжений и деформаций используют при сварке сталей, чугуна, алюминиевых сплавов, бронзы. При этом алюминий подогревают до 300 °С, бронзу – до 400, сталь – до 400–600, чугун – до 500–800 °С.

Проковка швов. Сварочные напряжения можно снять почти полностью, если в шве и околошовной зоне создать дополнительные пластические деформации, что достигается проковкой швов. Послойная проковка швов применяется при сварке металлов больших толщин и специальных жаропрочных сталей. Ее производят при остывания сварного шва (температура 450 °С и выше либо 150 °С и ниже). В интервале температур 400–300 °С в связи с пониженной пластичностью металла при его проковке возможно образование надрывов. Специального нагрева сварного соединения для выполнения проковки, как правило, не требуется. Проковку выполняют после наложения каждого слоя частыми легкими ударами пневматического зубила или вручную молотком массой 0,6–1,2 кг с закругленным бойком.

Частота и интенсивность проковки зависят от толщины металла, состава стали, температуры нагрева, при которой ведется сварка, и ряда других факторов. Проковку ведут до сглаживания рисунка шва.

Проковка сварного шва способствует также повышению усталостной прочности конструкции.

Механическая правка металла. Деформацию деталей устраняют механической правкой с помощью прессов, домкратов, правильных вальцов, ударных приспособлений и др. (рис. 7.5, *г*). При толщине металла до 3 мм правку производят вручную молотком. При механической правке образуется местный наклеп, повышающий предел текучести металла. Вызываемая наклепом неоднородность механических свойств отрицательно сказывается на статической прочности конструкции и при эксплуатации ее под переменными нагрузками.

Термическая правка металла. Различные деформации, возникающие после сварки, исправляют термиче-

ской правкой (рис. 7.5, *д*). Термическая правка производится путем воздействия местного источника теплоты на деформируемый участок. Она широко используется, так как проста, удобна, дешева, позволяет исправлять общие и местные деформации. Термической правке можно подвергать металлы, обладающие достаточной пластичностью и не меняющие своих свойств в интервалах температур правки.

При правке деформированную поверхность нагревают до 750–850 °С со стороны выпуклой части. Нагретый участок стремится расшириться, однако окружающий его холодный металл ограничивает эту возможность, в результате чего возникают пластические деформации сжатия. В зависимости от величины деформации нагрев производят несколько раз, начиная с максимальной точки прогиба и постепенно переходя к краю исправляемого участка. После охлаждения линейные размеры нагретого участка уменьшаются, что приводит к снижению или полному устранению деформаций.

В случае деформации тонкого листа, приваренного к массивной раме, правку можно осуществлять путем нагрева металла в симметрично расположенных точках с выпуклой стороны листа. Нагрев следует начинать от центра выпуклости.

Деформации в листовых конструкциях успешно устраняются с помощью местного нагрева с одновременной правкой металлическим или деревянным молотком.

7.4. Термическая обработка сварных соединений

Термическую обработку применяют для снятия сварочных напряжений и улучшения структуры. Используют следующие основные виды термической обработки: высокий отпуск, нормализацию, аустенизацию.

Наиболее часто применяют *высокий отпуск* (нагрев до 650 °С, выдержка до 3 мин на каждый миллиметр толщины, медленное охлаждение на воздухе). Режим охлаждения в основном зависит от химического состава стали. Чем больше содержание элементов, способствующих закалке, тем меньше должна быть скорость охлаждения.

Отпуск после сварки, обычно применяемый для выравнивания структуры шва и околошовной зоны, также снижает внутренние напряжения. Отпуск может быть общим, когда нагревается все изделие, и местным, когда нагревается лишь зона сварного соединения. Преимущество общего отпуска состоит в том, что снижение напряжений происходит во всей сварной конструкции независимо от ее сложности. Технологическая операция отпуска состоит из четырех стадий: нагрев; выравнивание температуры по длине и сечению изделия; выдержка при температуре отпуска; охлаждение.

Нормализацию применяют главным образом для сварных соединений труб из легированной стали диаметром до 100 мм и небольшой толщины. Она заключается в нагреве изделия до более высокой температуры, чем при высоком отпуске (для низколегированных сталей 900–950 °С), выдержке в течение нескольких минут и охлаждении на воздухе.

Аустенизацию применяют для получения в сварных соединениях из хромоникелевых нержавеющих сталей однородной структуры аустенита, улучшения механических свойств (пластичности) и снижения сварочных остаточных напряжений (на 70–80%).

После окончания термообработки проверяют ее качество путем измерения твердости наружной поверхности сварных соединений или контрольных соединений и образцов, вырезанных из конструкции.

Тестовые задания

1. Изменение формы и размеров твердого тела под влиянием внешней или внутренней силы:

1) деформация;
2) рекомбинация;
3) ионизация;
4) диссоциация.

2. Если форма и размеры изделия восстанавливаются после прекращения действия силы, то деформация:

1) упругая;
2) пластическая;
3) остаточная;
4) переменная.

3. Если изделие не принимает первоначальную форму после прекращения действия силы, то деформация:

1) упругая;
2) пластическая, или остаточная;
3) временная;
4) переменная.

4. Внутренняя сила, приходящаяся на единицу площади поперечного сечения тела:

1) деформация;
2) перемещение;
3) напряжение;
4) ионизация.

5. Термические напряжения, которые возникают во время охлаждения металла после сварки без действия внешних усилий:

1) собственные;
2) независимые;
3) временные;
4) постоянные.

6. На стыковой сварной шов после сварки действуют напряжения:

1) растягивающие;
2) сжимающие;
3) скручивающие;
4) напряжения отсутствуют.

7. С увеличением силы сварочного тока напряжения в швах:

1) уменьшаются;
2) увеличиваются;
3) не изменяются;
4) исчезают.

8. При кристаллизации металла происходит его усадка, которая для стали составляет:

1) 1%; 2) 2%; 3) 5%; 4) 10%.

9. Явление местного повышения напряжений:

1) концентрация напряжений;
2) рекомбинация;
3) улучшение;
4) отпуск.

10. С целью снятия сварочных напряжений и улучшения структуры применяется:

1) покраска;
2) очистка;
3) сушка;
4) термическая обработка.

Глава 8

ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКА СВАРКИ ПОКРЫТЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

8.1. Подготовка металла под сварку

Подготовка металла под сварку заключается в правке, разметке, резке, обработке кромок, гибке и очистке металла, а также сборке деталей.

Правка производится для устранения деформаций прокатных материалов. Листовой и сортовой металл правят в холодном состоянии на листоправильных вальцах и прессах. Сильно деформированный металл правят в горячем состоянии.

Разметка – нанесение размеров детали на металл. Она может быть выполнена индивидуально, по шаблонам, а также оптическим и машинным методами. Индивидуальная разметка – очень трудоемкий процесс. Шаблоны обычно изготовляют из алюминиевого листа. Для разметки используют линейку, угольник, рулетку и чертилку.

Оптическим называют метод разметки по чертежу, проектируемому на размечаемую поверхность металла. Разметочно-маркировочные машины с пневмокерном выполняют разметку со скоростью до 8–10 м/мин при погрешности ±1 мм. В этих машинах применяют программное управление.

Использование приспособления для мерной резки проката, а также машин для тепловой резки с масштабной фотокопировальной или программной системой управления позволяет обходиться без разметки.

Резка металла бывает механической и термической. Механическая резка выполняется с применением различного механического оборудования: ножниц, отрезных станков и прессов. Термическая разделительная резка ме-

талла менее производительна, чем резка ножницами, но более универсальна и применяется для получения заготовок разной толщины как прямолинейного, так и криволинейного профиля.

Обработка кромок производится для улучшения условий сварки. Кромки подготавливают термическим и механическим способами. Кромки с односторонним или двусторонним скосом можно получить, используя одновременно два или три резака, расположенных под соответствующими углами. Механическая обработка кромок на станках выполняется для обеспечения требуемой точности сборки, для образования фасок, имеющих заданное очертание, в случаях, когда по техническим условиям необходимо удаление металла с поверхности кромок после резки.

В соединении с разделкой (односторонней и двусторонней) кромки выполняют притупление. При односторонней разделке притупление расположено внизу соединения, при двусторонней – в середине соединения. Притупление необходимо для того, чтобы при прихватке и сварке быстро расплавляющиеся острые кромки не создавали широкую щель, которую трудно заваривать. Отсутствие притупления вызывает образование прожогов при сварке по стыку соединения.

Форма разделки кромок характеризуется углом их скоса, размером притупления и зазором между свариваемыми кромками. Она зависит от типа сварного соединения, толщины свариваемых элементов и применяемого способа сварки.

При толщине свариваемых элементов до 6 мм скоса кромок не требуется. В элементах толщиной 5–30 мм и более применяют V-образную разделку с суммарным углом скоса 60–80°. Притупление при этом составляет 2–8 мм. Если толщина свариваемых элементов 20 мм и более, в стыковых соединениях применяют криволинейный скос кромок (U-образную разделку).

Свариваемые кромки устанавливаются с зазором 2–4 мм (в зависимости от толщины свариваемых элементов). Сварные соединения ответственного назначения с V-образной разделкой свариваются с двух сторон (с подваркой). В тех случаях, когда не удается сделать подварку,

например в сварных стыках труб малого диаметра, применяют остающиеся подкладки.

Элементы толщиной более 12 мм сваривают встык с двух сторон, применяя X-образную разделку. Соединения такого типа сваривают только в тех случаях, когда имеется доступ с обеих сторон. X-образную разделку используют, например, в стыковых сварных соединениях сосудов высокого давления, толщина свариваемых элементов которых 50–100 мм и более.

Соединения с плоскими наклонными кромками (V-образная разделка) трудно провариваются в вершине и имеют большую ширину на наружной поверхности. Соединения с U-образной разделкой свободны от этих недостатков. Недостаток соединений с U- и V-образными разделками заключается в том, что при одинаковой толщине свариваемых элементов для их заполнения требуется больше электродов, чем для заполнения X-образной разделки. Объем наплавленного металла в V-образном шве примерно в два раза больше, чем в X-образном. Следовательно, соединения с X-образной разделкой более экономичны, чем соединения с V-образной разделкой.

Гибка металла производится на листогибочных вальцах для изготовления цилиндрических и конических поверхностей. Для получения заготовки с поверхностью сложной формы широко используют холодную штамповку из листового материала толщиной до 10 мм.

Очистка металла под сварку – это удаление с его поверхности средств консервации, загрязнений, смазочно-охлаждающих жидкостей, ржавчины, окалины, заусенцев, грата и шлака. Для очистки проката, деталей и заготовок используют механические и химические методы.

К *механическим методам* относятся дробеструйная и дробеметная обработки, зачистка металлическими щетками, иглофрезами, шлифовальными кругами и лентами.

Химическими методами очистки обезжиривают и травят поверхности свариваемых деталей. Различают ванный и струйный методы. В первом случае детали опускают в ванны с различными растворами и выдерживают их там определенное время. Во втором случае поверхность деталей обрабатывается струями раствора, в результате

10. Зак. 717.

чего происходит непрерывный процесс очистки. Химические методы достаточно эффективны, однако в производстве сварных конструкций используются главным образом для очистки цветных металлов.

Сборка деталей под сварку выполняется с целью установления взаимного пространственного положения элементов сварной конструкции. Для уменьшения времени сборки, а также повышения ее точности применяют различные приспособления: установочные детали, прижимные механизмы, стенды, кондукторы и др.

Точность сборки контролируют шаблонами, щупами (рис. 8.1), а также измерительными приборами.

Сварные узлы и конструкции часто собирают с помощью сварочных *прихваток*, т.е. коротких сварных швов (рис. 8.2).

Для фиксации подлежащих сварке деталей сечение прихваток должно составлять примерно 1/3 сечения основного шва. Протяженность прихваток составляет 15–50 мм в зависимости от толщины свариваемых элементов и длины шва. Расстояние между прихватками обычно от 100 мм до 1 м.

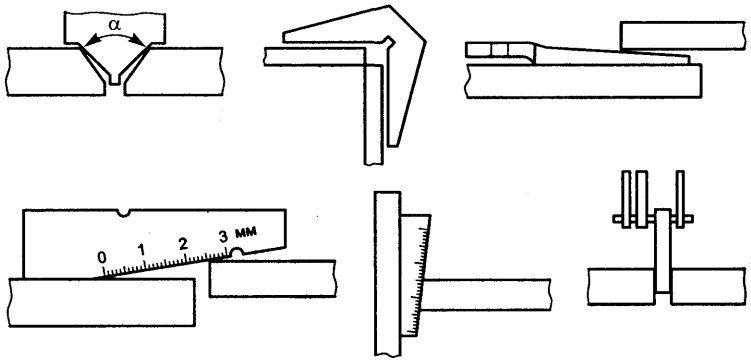


Рис. 8.1. Контроль сборки под сварку

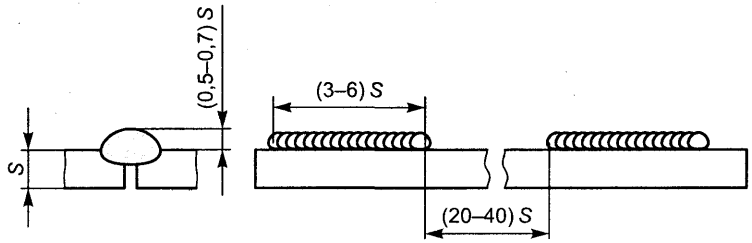


Рис. 8.2. Постановка прихваток

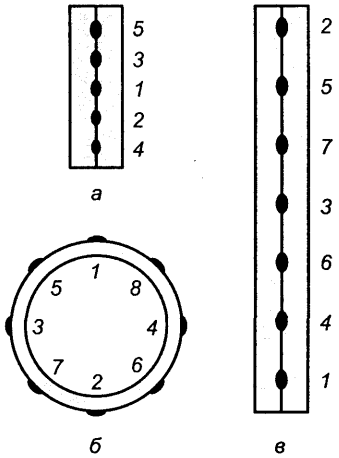


Рис. 8.3. Последовательность постановки прихваток:
а – короткие и средние швы; *б* – кольцевые швы; *в* – длинные швы

Последовательность постановки прихваток для коротких, длинных и кольцевых швов показана на рис. 8.3.

Прихватки ставят с лицевой стороны соединения. Поверхность прихватки очищают от шлака. При сварке прихватку удаляют или полностью переплавляют.

8.2. Режим сварки

Выбор режимов сварки. Под ***режимом сварки*** понимают совокупность контролируемых параметров, определяющих условия сварки.

Основные параметры: 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, а диаметр электрода выбирают в зависимости от толщины свариваемого изделия:

Толщина металла, мм	1–2	3	4–5	6–8	9–12	13–15	16 и более
Диаметр электрода, мм	1,5–2	3	3–4	4	4–5	5	6

Ориентировочный расчет силы сварочного тока:

- для диаметра электрода $d_э$ от 3 до 6 мм сварочный ток $I = (20 + 6)\, d_э k$;
- для диаметра электрода $d_э < 3$ мм сварочный ток $I = 30\, d_э k$.

Коэффициент k при выполнении швов в нижнем положении принимают равным 1, вертикальных швов – 0,9, потолочных швов – 0,8.

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.

Напряжение дуги зависит от ее длины. Оптимальная длина дуги выбирается между минимальной и максимальной. Длинную дугу применять не рекомендуется. Минимальная длина дуги составляет $l_д = 0{,}5 d_э$, максимальная – $l_д = d_э + 1$.

Скорость сварки выбирается так, чтобы сварочная ванна заполнялась электродным металлом и возвышалась над поверхностью кромок с плавным переходом к основному металлу без подрезов и наплывов.

Род и полярность тока выбирают в зависимости от способа сварки и свариваемых материалов. Сварку на постоянном токе ведут на прямой или обратной полярности.

Прямую полярность (рис. 8.4, *а*) 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 УОНИ-13/45, УОНИ-13/55 и др);
- чугуна.

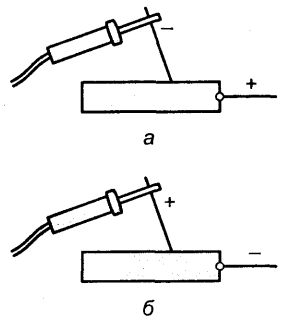


Рис. 8.4. Сварка на прямой (*а*) и обратной (*б*) полярности

Обратную полярность (рис. 8.4, *б*) 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 строительно-монтажных условиях электродами с рутиловым покрытием;
- в случаях возникновения магнитного дутья;
- толстолистовых конструкций из низкоуглеродистых сталей.

8.3. Технологические особенности дуговой сварки

Влияние силы сварочного тока, напряжения дуги и скорости сварки на форму и размеры шва. С увеличением сварочного тока глубина провара увеличивается, ширина шва почти не изменяется (рис. 8.5, *а*).

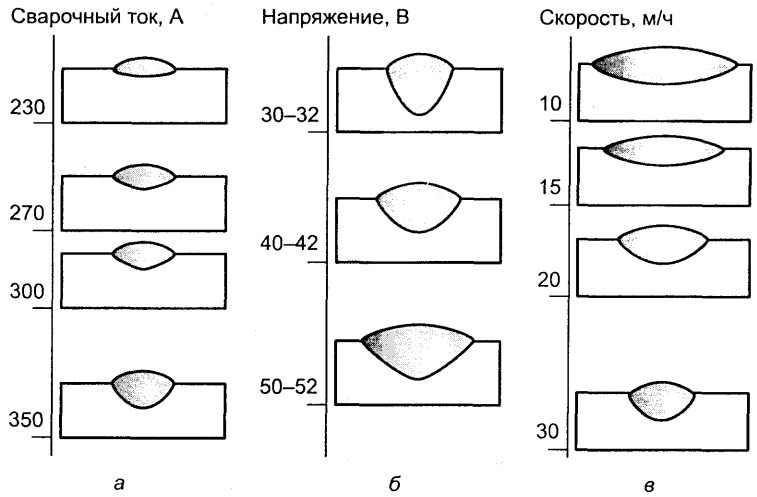


Рис. 8.5. Влияние на форму и размеры шва сварочного тока (*а*), напряжения дуги (*б*), скорости сварки (*в*)

С повышением напряжения ширина шва резко увеличивается, а глубина провара уменьшается (рис. 8.5, *б*). 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.

С увеличением скорости сварки сначала глубина провара возрастает (до 40–60 м/ч), а затем уменьшается (рис. 8.5, *в*). При этом ширина шва уменьшается постоянно. При скорости более 70–80 м/ч основной металл не успевает прогреваться, и по обеим сторонам шва возможны подрезы.

Способы выполнения швов различной длины. Короткие (до 250 мм) швы выполняют «напроход» (рис. 8.6). На рисунке стрелкой → показано общее направление сварки, а стрелкой → – направление выполнения отдельного участка шва.

Средние (250–1000 мм) швы выполняют «от середины к краям» (рис. 8.7). Работают два сварщика.

Длинные (свыше 1000 мм) швы выполняют обратноступенчатым способом (рис. 8.8). Швы разбивают на отдельные участки по 150–200 мм. Сварка на каждом из них ведется в направлении, обратном общему направлению сварки.

Длинные швы выполняют обратноступенчатым способом от середины к краям (рис. 8.9), а также обратноступенчатым способом «вразброс» (рис. 8.10). Такими способами сваривают длинные швы однопроходных стыковых соединений, первый проход многопроходных швов, а также угловые швы.

Обратноступенчатая сварка эффективно уменьшает напряжения и деформации.

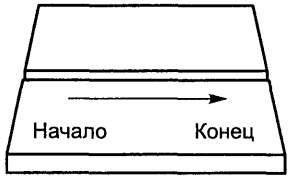


Рис. 8.6. Сварка «напроход»

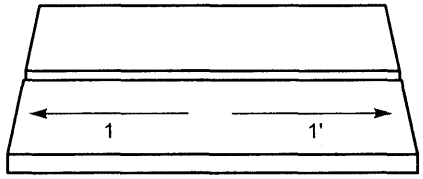


Рис. 8.7. Сварка «от середины к краям»

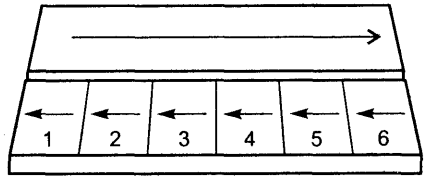


Рис. 8.8. Сварка обратноступенчатым способом

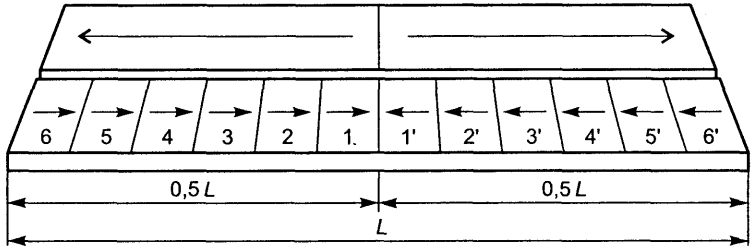


Рис. 8.9. Сварка обратноступенчатым способом от середины к краям

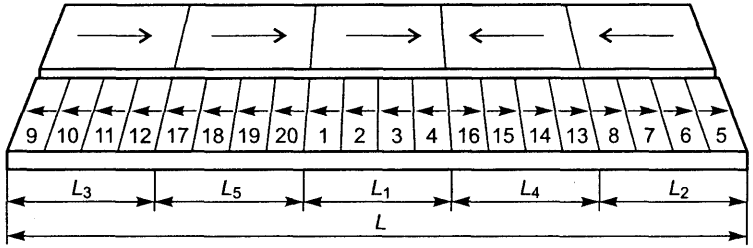


Рис. 8.10. Сварка обратноступенчатым способом «вразброс»

Сварка толстостенных конструкций. Однослойный однопроходный шов выполняется за один проход.

При сварке металла большой толщины производят разделку кромок и шов выполняют слоями, каждый из которых накладывают за один проход (многослойный) или за несколько проходов (многослойный многопроходный). Многослойный шов (рис. 8.11) обычно используется для стыковых соединений. Многослойный многопроходный шов (рис. 8.12) чаще применяется для угловых и тавровых соединений.

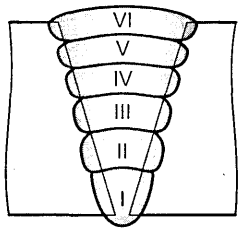


Рис. 8.11. Многослойный шов: *I–VI* – очередность нанесения слоев

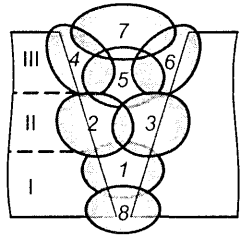


Рис. 8.12. Многослойный многопроходный двусторонний шов: *I–III* – очередность нанесения слоев; *1–8* – очередность наложения швов

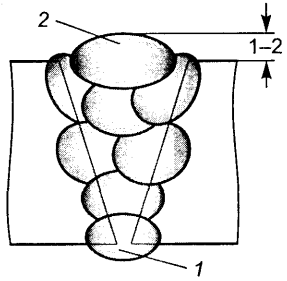


Рис. 8.13. Особенности выполнения многослойного многопроходного двустороннего шва

Сварка за один проход предпочтительнее при ширине шва не более 14–15 мм, так как дает меньше остаточных деформаций. При толщине металла более 15 мм сварка каждого слоя «напроход» нежелательна, поскольку первый слой успевает остыть, и в нем возникают трещины.

На рис. 8.13 показаны особенности выполнения подварочного *1* и декоративного *2* шва.

Для равномерного прогрева металла по всей длине швы накладывают: «двойным слоем», «каскадом», «горкой», «поперечной горкой», «блоками».

При сварке «двойным слоем» второй слой накладывают по неостывшему первому после удаления сварочного шлака в противоположном направлении на длине 200–400 мм.

Рассмотрим наложение швов при толщине металла более 15 мм.

При сварке «каскадом» (рис. 8.14, *а*) шов разбивают на участки по 200 мм. После сварки первого слоя первого участка, не останавливаясь, продолжают выполнять первый слой на соседнем участке. Тогда каждый последующий слой накладывается на не успевший остыть металл предыдущего слоя.

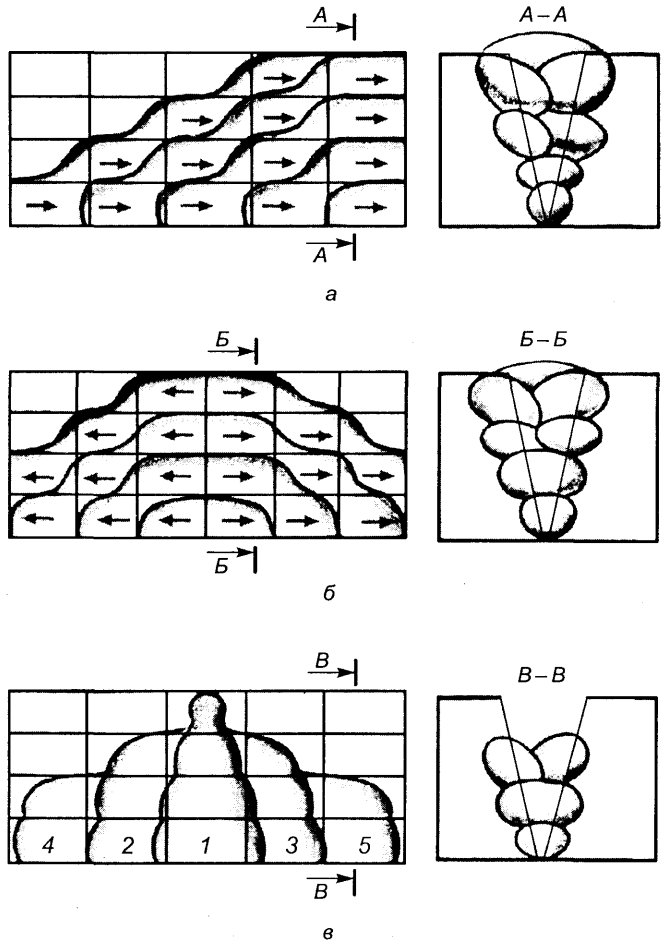


Рис. 8.14. Наложение швов при толщине металла более 15 мм

Сварка «горкой» (рис. 8.14, *б*) – разновидность каскадного метода.

Сначала приблизительно определяется середина шва и выполняется первый валик длиной 100–300 мм, что соответствует длине шва, получаемого при расплавлении одного электрода диаметром 3–5 мм. Затем с поверхности валика сварщик отступает на расстояние 200 мм и проваривает корень шва в сторону первого валика с таким расчетом, чтобы его окончание оказалось на поверхности первого валика. Третьим электродом выполняют шов по поверхности первого валика. После смены электрода проваривают вновь корень шва, продолжая шов, полученный вторым и третьим электродами. После зачистки полученного шва отступают от его окончания на 200–300 мм и выполняют следующий слой шва.

При этом надо обязательно учитывать, что для снижения температурных деформаций каждый последующий шов выполняют в противоположном направлении к предыдущему. Такая технология сварки деталей большой толщины позволяет при одновременном заполнении швов по длине наращивать их высоту.

После выхода металла в середине шва на уровень поверхности деталей осуществляют заварку левой и правой части шва, после чего выполняют декоративный слой.

Сваривать металл можно и двум сварщикам одновременно, но работу каждый производит от середины к краям; это позволит компенсировать температурные деформации, возникающее от работы каждого из них.

Сварка «каскадом» и сварка «горкой» – это обратноступенчатая сварка не только по длине, но и по сечению шва, причем зона сварки всегда остается горячей.

При сварке «блоками» (рис. 8.14, *в*) шов заполняют отдельными ступенями по всей высоте сечения шва. Применяют при соединении деталей из сталей, закаливающихся при сварке.

8.4. Техника сварки

Зажигание сварочной дуги. Дугу зажигают коротким прикосновением электрода к изделию (касанием) (рис. 8.15, *а*) или чирканьем концом электрода о поверхность металла (рис. 8.15, *б*). Последний предпочтительнее, но он неудобен в узких, труднодоступных местах.

Положение электрода при сварке. Угол наклона электрода к свариваемому изделию и направлению сварки существенно влияет на качественное формирование шва.

Защиту сварочной дуги и жидкой ванны от окружающего воздуха осуществляют газообразующие и шлакообразующие элементы в покрытии электрода.

Газообразующие элементы при плавлении электрода образуют газовый «пузырь», который защищает сварочную дугу и жидкую ванну от воздуха.

Шлакообразующие, превращаясь в жидкий шлак, защищают металл шва и участвуют в металлургических процессах. Сохраняя сварочную ванну в жидком состоянии 2–3 с, шлак позволяет образовавшимся газовым пузырям и шлаковым включениям всплыть на поверхность.

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.

Важно, чтобы жидкий шлак укрывал расплавленный металл шва, следуя за жидкой ванной, сохраняя при этом теплоту и тем самым отдаляя время начала кристалли-

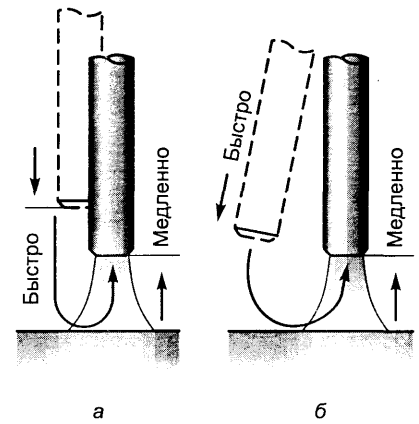


Рис. 8.15. Способы зажигания сварочной дуги

зации шва. При этом сварочная ванна под электродом должна быть свободной от жидкого шлака, что позволяет наблюдать за формированием шва и за проплавлением основного металла. Для этого необходимо сварку выполнять под определенным углом наклона электрода по отношению к изделию и направлению сварки.

Существует три положения наклона электрода (рис. 8.16): сварка «углом вперед»; сварка «под прямым углом»; сварка «углом назад».

Наклон электрода влияет на глубину проплавления: максимальная глубина достигается при сварке «углом назад», минимальная глубина – при сварке «углом вперед», средняя глубина – при сварке «под прямым углом».

Сварка «углом вперед» (рис. 8.16, *а*) осуществляется при движении расплавленного шлака впереди электрода. Он накапливается в большом количестве и натекает на основной металл, что мешает процессу сварки. Сварочная дуга начинает «блуждать», а иногда и гаснет. Сварной шов становится неровным.

Возможны непровары и шлаковые включения. В этом случае необходимо выровнять положение электрода до вертикального.

Сварка «углом вперед» применяется:

- при заварке корневых швов во всех пространственных положениях, когда зазор между кромками увеличен или нестабилен;
- при отклонении сварочной дуги в сторону выполняемого шва;
- в тех случаях, когда жидкий шлак впереди электрода не мешает и когда необходимо минимальное проплавление основного металла;

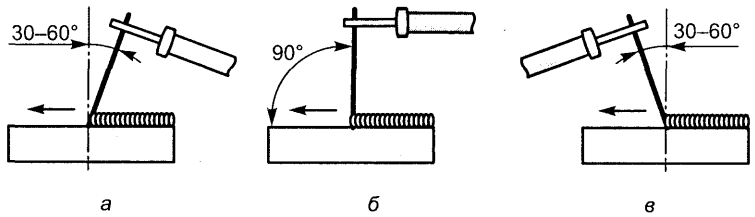


Рис. 8.16. Положение электрода при сварке

- при сварке горизонтальных, вертикальных, потолочных швов;
- при сварке неповоротных стыков трубопроводов с толщиной стенки 3 мм.

Сварка «под прямым углом» (рис. 8.16, *б*) позволяет жидкому шлаку двигаться следом за сварочной ванной, накрывая жидкий металл шва сразу за электродом. Это обеспечивает качественное формирование валика. Поверхность шва имеет плавный переход к основному металлу и характеризуется минимальными перепадами между чешуйками. Жидкий шлак, идущий впереди, легко вытесняется по обе стороны сварочного валика более тяжелым жидким металлом шва. Когда шлак начинает мешать процессу сварки, необходимо наклонить электрод в сторону направления сварки до восстановления нормального процесса.

Сварку «под прямым углом» рекомендуется применять в случаях:

- наплавки поверхностей в нижнем, горизонтальном и потолочном положениях;
- сварки заполняющих слоев и лицевых валиков в стыковых соединениях во всех пространственных положениях;
- сварки, когда не требуется значительного проплавления основного металла и когда шлак впереди электрода не мешает;
- сварки в труднодоступных местах.

При сварке электродами с рутиловым покрытием наклон электрода в сторону будущего шва всегда должен быть больше, чем при сварке электродами с основным покрытием.

Сварка «углом назад» (рис. 8.16, *в*) является самым распространенным способом. При чрезмерном наклоне электрода жидкий шлак под давлением дуги вытесняется назад. Появляется «оголенный» участок жидкого металла шва, свободный от шлака. Отставание жидкого шлака от сварочной ванны отрицательно сказывается на формировании шва. Происходит быстрое остывание металла шва (кристаллизация).

Валик получается с неравномерными чешуйками и со значительными перепадами по краям при переходе к основному металлу. В этом случае необходимо выровнять

положение электрода до момента, когда жидкий шлак будет следовать сразу же за ним.

Данный метод рекомендуется при сварке:

- корневых швов в угловых и стыковых соединениях при минимальном зазоре;
- толстостенных конструкций, когда необходимо получить большую глубину проплавления;
- методом опирания козырька электрода на изделие;
- электродами с рутиловым покрытием марок МР, ОЗС и других, ввиду образования большого количества шлака и его высокой жидкотекучести.

Окончание сварки. В конце шва нельзя обрывать дугу сразу. Электрод (рис. 8.17) перемещают на верхний край сварочной ванны (положения *1*, *2*) и затем быстро отводят (положение *3*) от кратера .

Заварка кратера. Используют два способа. По первому способу (рис. 8.18, *а*) дугу обрывают в конце сварного шва (положение *1*), а затем повторно зажигают (положение *2*) для формирования необходимой высоты шва.

По второму способу (рис. 8.18, *б*) из положения *1*, не обрывая дуги, смещают электрод на 10–15 мм в положение *2*, а затем в положение *3*, после чего дугу обрывают.

Влияние угла наклона электрода и изделия на форму шва. При сварке «углом вперед» (рис. 8.19, *а*) уменьшается глубина провара и высота выпуклости шва, но заметно увеличивается его ширина, что позволяет использовать этот способ при сварке металла небольшой толщины. Лучше проплавляются кромки, поэтому возможна сварка на повышенных скоростях.

При сварке «углом назад» (рис. 8.19, *б*) глубина провара и высота выпуклости увеличиваются, но уменьшается ширина. Прогрев кромок недостаточен, поэтому возможны несплавления и образование пор.

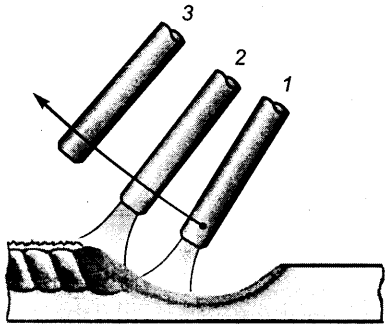


Рис. 8.17. Обрыв дуги

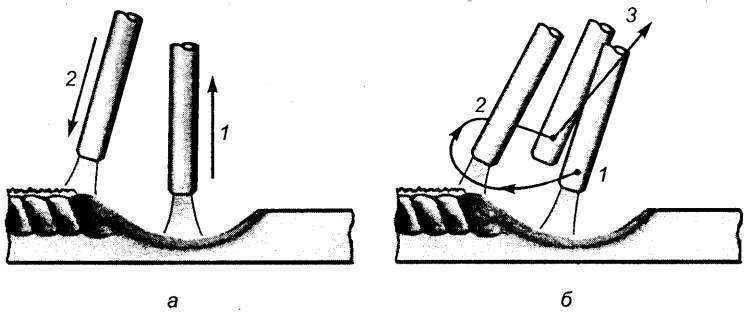


Рис. 8.18. Заварка кратера

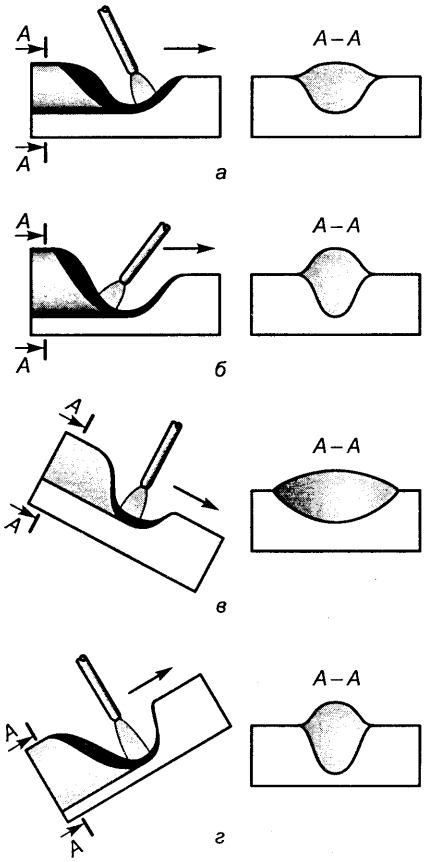


Рис. 8.19. Влияние угла наклона электрода и изделия на форму шва

При сварке «на спуск» (рис. 8.19, *в*) глубина провара уменьшается, а ширина шва увеличивается.

При сварке «на подъем» (рис. 8.19, *г*) глубина провара увеличивается, а ширина шва уменьшается.

Манипулирование электродом. Сварщик электродом осуществляет три основных движения (рис. 8.20).

❑ Поступательное перемещение (*1*) вдоль оси электрода обеспечивает подачу электрода, постоянство длины дуги и скорости плавления. Чем быстрее плавится электрод, тем больше скорость его перемещения вдоль оси.

❑ Прямолинейное перемещение (*2*) вдоль оси шва обеспечивает необходимую скорость сварки и качественное формирование шва. Скорость этого движения зависит от силы тока, диаметра электрода, скорости его плавления, вида шва и других факторов. При отсутствии поперечных движений электрода получается узкий шов (ниточный валик) шириной примерно 1,5 диаметра электрода. Такие швы применяют при сварке тонких листов, наложении первого (корневого) слоя многослойного шва, сварке способом опирания и т.д.

Движение электрода в направлении наложения сварного шва может быть быстрым и замедленным. При чрезмерно быстром движении основной металл не успевает расплавляться, кратер не образуется, и основной металл плохо соединяется со сварным швом. При быстром движении электрода сварной шов получается узким, неровным и неплотным. Если движение электрода замедленное, возможны перегрев и пережог металла. В таких случаях обычно образуются подрезы по краям сварного шва, а сам шов получается толстым и широким.

❑ Колебательное перемещение электрода (*3*) поперек оси шва для прогрева кромок и получения требуемых ширины шва и глубины проплавления позволяет за один проход получать шов шириной до 4 диаметров электрода, а без – 1,5 диаметра.

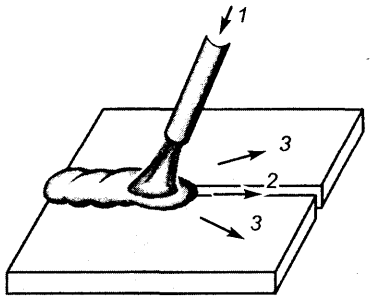


Рис. 8.20. Манипулирование электродом

Поперечные колебательные движения конца электрода определяются формой разделки, размерами и положением шва, свойствами свариваемого материала. Они в процессе перемещения электрода вдоль наплавляемого шва способствуют получению уширенного валика вместо ниточного (при прямолинейных перемещениях). Образуется больше расплавленного металла, он медленнее остывает, чем в случае прямолинейного перемещения конца электрода, и находящиеся в нем газы успевают выйти. В результате уширенные швы получаются менее пористыми, чем сварные швы, выполненные без поперечного перемещения конца электрода (ниточные).

Поперечные движения можно исключить при сварке тонких листов или при прохождении первого (корневого) шва многослойной сварки.

Виды поперечных колебательных движений электрода (рис. 8.21), которые применяет сварщик, во многом зависят от его навыков. В процессе колебания электрода середину

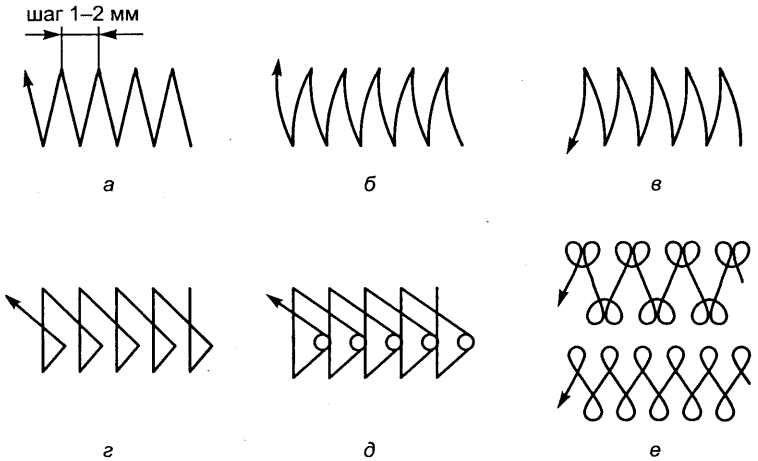


Рис. 8.21. Виды колебательных (поперечных) движений конца электрода:

а – прямые по ломаной линии (зигзагообразные); *б* – «полумесяцем вперед»; *в* – «полумесяцем назад»; *г* – «треугольником»; *д* – «треугольником» с задержкой электрода в корке шва; *е* – петлеобразные

пути проходят быстро, задерживая электрод по краям. Такое изменение скорости колебания электрода обеспечивает лучший провар по краям. Равномерная ширина валика достигается одинаковыми поперечными колебаниями.

Прямые зигзагообразные движения (рис. 8.21, *а*) применяют для получения наплавочных валиков при сварке встык без скоса кромок в нижнем положении и если нет вероятности прожечь деталь.

Движения «полумесяцем вперед» (рис. 8.21, *б*) применяют для стыковых швов со скосом кромок и для угловых швов с катетом менее 6 мм, выполняемых в любом положении электродами диаметром до 4 мм.

Движения «полумесяцем назад» (рис. 8.21, *в*) используют для сварки в нижнем положении, а также для вертикальных и потолочных швов с выпуклой наружной поверхностью.

Движения «треугольником» (рис. 8.21, *г*) применяют для угловых швов с катетом более 6 мм и стыковых швов со скосом кромок в любом пространственном положении. Дает хороший провар корня шва.

Движения «треугольником» с задержкой электрода в корне шва (рис. 8.21, *д*) эффективны для сварки толстостенных конструкций с гарантированным проплавлением корневого участка шва.

Петлеобразные движения (рис. 8.21, *е*) используют для усиленного прогревания кромок шва, особенно при сварке высоколегированных сталей. Электрод задерживают на краях, чтобы не было прожога в центре шва или вытекания металла при сварке вертикальных швов.

8.5. Выполнение швов в различных положениях

Выполнение стыковых соединений в нижнем положении. Наиболее удобно выполнять сварку в нижнем положении, швы получаются высокого качества, так как в этом случае легко выделяются неметаллические включения и газы из расплавленного металла сварочной ванны. При этом также имеются лучшие условия для формирования металла шва, поскольку расплавленный металл сварочной ванны удерживается от вытекания нерасплавившимися кромками.

Наложение валиков рекомендуется производить слева направо или к себе. В этих случаях сварщик четко видит место соединения, длину дуги, перенос капель электродного металла и формирование валика. Нормальной считается ширина валика, равная 3–4 диаметрам электрода.

Односторонние швы без скоса кромок выполняют электродами диаметром, равным толщине металла S, если она не превышает 4 мм (рис. 8.22, *а*).

Листы без скоса кромок толщиной 2–8 мм сваривают двусторонним швом, а до 6 мм – односторонним (рис. 8.22, *б*).

Металл толщиной более 8 мм сваривают с разделкой кромок. Во избежание прожогов сварку ведут на съемных медных или стальных подкладках (рис. 8.22, *в*).

Однопроходную сварку с V-образной разделкой кромок обычно выполняют поперечными колебаниями электрода на всю ширину, чтобы дуга перемещалась со скоса кромок на необработанную поверхность металла. Однако в этом случае очень трудно обеспечить равномерный провар шва по всей его длине, особенно при изменении величины притупления кромок и зазора между ними.

При сварке шва с V-образной разделкой за несколько проходов обеспечить хороший провар первого слоя в корне разделки гораздо легче. Для этого обычно применяют электроды диаметром 3–4 мм и сварку ведут без поперечных колебаний. Последующие слои выполняют электродом большого диаметра (в соответствии с толщиной

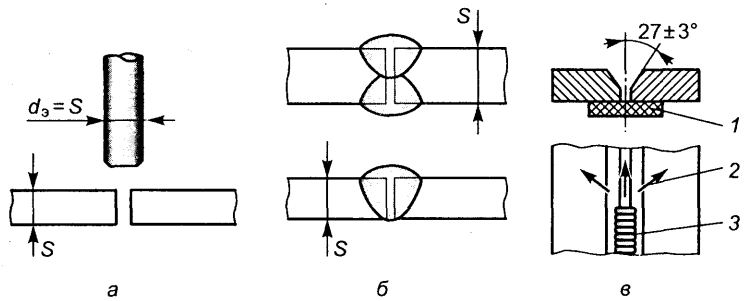


Рис. 8.22. Сварка стыковых соединений:
а, *б* – тонкого металла без скоса кромок; *в* – с разделкой кромок: *1* – подкладка; *2* – движение электрода; *3* – корневой шов

металла) с поперечными колебаниями. Для обеспечения хорошего провара между слоями предыдущие швы, а также кромки следует тщательно очищать от шлака и брызг металла.

Сварку швов с X- или U-образной разделкой кромок выполняют так же, как и с V-образной. Однако для уменьшения остаточных деформаций и напряжений сварку ведут, накладывая каждый последующий шов навстречу предыдущему. Швы с X-образным скосом кромок более предпочтительны чем с V-образным, так как в 1,6–1,7 раза уменьшается объем наплавленного металла, повышается производительность сварки и, кроме того, снижается величина угловых деформаций.

Сварку стыковых швов можно выполнять различными способами. При сварке на весу трудно обеспечить провар корня шва и формирование хорошего обратного валика по всей длине стыка. Поэтому используют сварку на съемной медной или остающейся стальной подкладке. В медной подкладке для формирования обратного валика делают формирующую канавку. Для того чтобы предотвратить вытекание расплавленного металла из сварочной ванны, необходимо плотно поджимать подкладки к свариваемым кромкам.

Если с обратной стороны соединения возможен подход к корню шва и допустима выпуклость обратной стороны шва, целесообразно выполнить подварку корня швом небольшого сечения с последующей укладкой основного шва с лицевой стороны соединения.

В местах поворота сварной шов следует заваривать без отрыва дуги. Не допускается гашение и зажигание дуги на поворотах сварного шва.

Выполнение угловых соединений в нижнем положении. Выполняют угловые соединения «в симметричную лодочку» (рис. 8.23, *а*) и «в несимметричную лодочку» (рис. 8.23, *б*).

Во избежание непровара и подрезов кромок сварку «в лодочку» лучше вести электродом, допускающим опирание покрытия (козырька) на кромки (рис. 8.24).

При наложении угловых швов наклонным электродом (в том числе «в лодочку») сварку лучше вести «углом назад».

При выполнении тавровых соединений дугу возбуждают на горизонтальной полке (рис. 8.25), а не на вертикальной, чтобы избежать натекания металла.

Угловые швы без скоса кромок с катетами более 10 мм выполняют в один слой поперечными движениями электрода «треугольником» с задержкой в корне шва.

Сварка угловых швов нахлесточных соединений в нижнем положении с катетом до 10 мм производится в один слой электродами диаметром до 5 мм без поперечных колебаний (рис. 8.26).

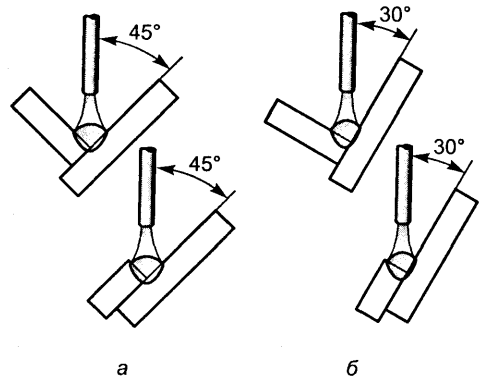


Рис. 8.23. Сварка угловых соединений

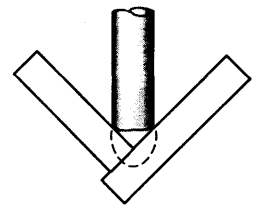


Рис. 8.24. Сварка угловых соединений с опиранием покрытия

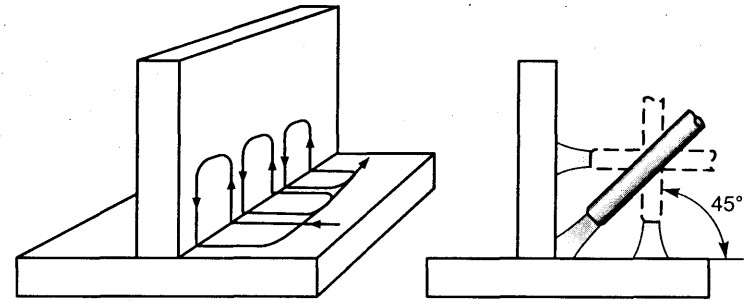


Рис. 8.25. Сварка тавровых соединений

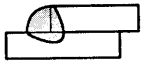


Рис. 8.26. Сварка нахлесточных соединений

Выполнение вертикальных швов. Сварка швов в положениях, отличающихся от нижнего, требует высокой квалификации сварщика. При ее выполнении возможны вытекание расплавленного металла из сварочной ванны или падение капель электродного металла мимо нее. Для предотвращения этого сварку следует вести по возможности наиболее короткой дугой, в большинстве случаев с поперечными колебаниями.

Расплавленный металл в сварочной ванне удерживается от вытекания силой поверхностного натяжения, поэтому необходимо уменьшить ее объем. Для этого конец электрода периодически отводят в сторону от ванны, давая возможность ей частично закристаллизоваться. Ширину валиков также уменьшают до двух-трех диаметров электрода. Применяют электроды меньших диаметров (для вертикальных и горизонтальных швов – не более 5 мм, для потолочных – не более 4 мм).

Выполняя вертикальные швы, силу сварочного тока уменьшают на 10% по сравнению со сваркой в нижнем положении. Для того чтобы металл не вытекал из ванны, нужно поддерживать короткую дугу. Используются электроды, дающие быстротвердеющий тонкий слой шлака («короткие» шлаки).

При способе «снизу вверх» («на подъем») дугу возбуждают в нижней точке шва (рис. 8.27). Сваркой подготавливают горизонтальную площадку сечением, равным сечению шва. При этом электрод совершает поперечные колебания. Сварка этим способом обеспечивает возможность провара корня шва и кромок, так как расплавленный металл стекает с них в сварочную ванну, улучшая условия теплопередачи от дуги к основному металлу. Однако поверхность шва получается грубочешуйчатая.

Наибольший провар достигается при положении электрода, перпендикулярном вертикальной оси. Стекание расплавленного металла предотвращают наклоном электрода вниз.

Сварка «на подъем» – наиболее удобный, распространенный и производительный способ. Используются электроды диаметром до 4 мм. Поперечные колебания электрода: «углом», «полумесяцем», «елочкой».

При способе «сверху вниз» («на спуск») дугу возбуждают в верхней точке шва (рис. 8.28). После образования капли жидкого металла электрод наклоняют так, чтобы дуга была направлена на жидкий металл.

Сварка «на спуск» затрудняет получение качественного провара: шлак и расплавленный металл подтекают под дугу и от дальнейшего стекания удерживаются только силами давления дуги и поверхностного натяжения. Иногда их оказывается недостаточно, и расплавленный металл вытекает из сварочной ванны.

Сварка «сверху вниз» позволяет избежать прожогов при соединении тонкого металла. Рекомендуется в основном для сварки тонких (до 5 мм) листов с разделкой кромок. Используются электроды с целлюлозным покрытием (марок ОЗС-9, АНО-9, ВСЦ-2, ВСЦ-3).

Рассмотрим движения электрода при выполнении проходов. При сварке «по спирали» или «полумесяцем» (рис. 8.29, *а, б*) вначале наплавляют полочку на свариваемые кромки, а затем небольшими порциями наплавляют металл, постепенно перемещая электрод выше, оставляя внизу готовый сварной шов.

При сварке «углом» (рис.8.29, *в*) электрод попеременно перемещают вверх-вниз, беспрерывно наплавляя металл на кромки и равномерно перенося его вверх электродом.

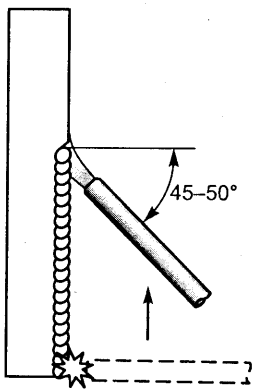


Рис. 8.27. Выполнение вертикальных швов «снизу вверх»

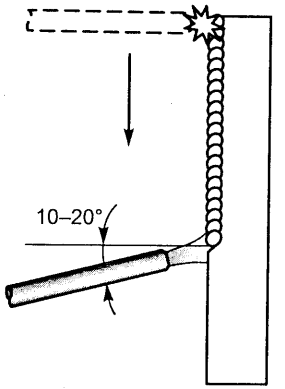


Рис. 8.28. Выполнение вертикальных швов «сверху вниз»

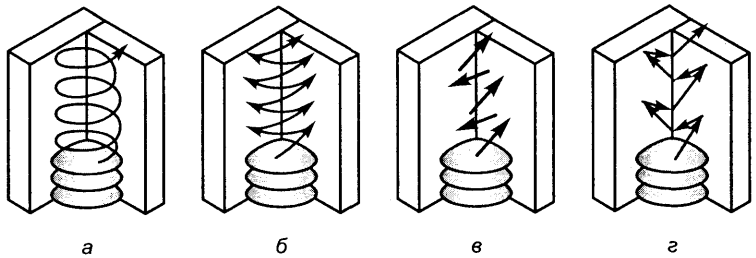


Рис. 8.29. Движения концом электрода при выполнении проходов

При сварке «елочкой» (рис.8.29, *г*) вначале электрод поднимают вверх вправо, а затем опускают вниз. Капля жидкого металла застывает между кромками. Затем электрод поднимают вверх влево и снова опускают вниз, оставляя новую порцию металла.

Выполнение горизонтальных швов. Сварка горизонтальных стыковых швов более затруднительна, чем вертикальных, из-за стекания расплавленного металла из сварочной ванны на нижнюю кромку. В результате возможно образование подреза по верхней кромке. При сварке горизонтальных стыковых швов необходим скос только верхней кромки. Дугу возбуждают на нижней (рис. 8.30) горизонтальной кромке, а затем электрод переводят на верхнюю.

Сварку горизонтальных стыковых швов можно вести вертикально расположенным электродом, а также «углом вперед» и «углом назад» (рис. 8.31).

Очередность выполнения проходов при сварке горизонтальных стыковых швов показана на рис. 8.32.

Выполнение потолочных швов. Сварка таких швов наиболее сложна. Газы, выделяемые покрытием электрода, поднимаются вверх и могут остаться в шве, поэтому используют только хорошо просушенные электроды. Удлинение дуги нередко вызывает образование подрезов. Узкие валики накладывают в разделку тремя способами.

При сварке «лесенкой» электрод располагают под углом к плоскости 90–130°, подводят к изделию и зажигают дугу. После образования маленькой порции расплавленного металла электрод отводят на 5–10 мм от потолочной

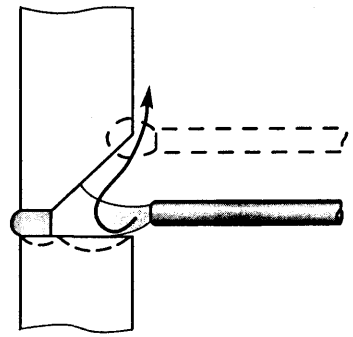


Рис. 8.30. Возбуждение дуги при сварке горизонтальных швов

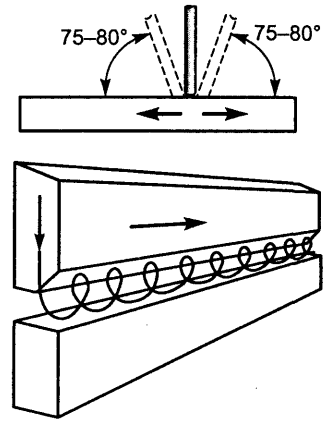


Рис. 8.31. Сварка горизонтальных стыковых швов

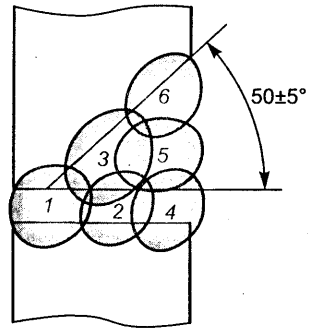


Рис. 8.32. Очередность выполнения проходов (*1–6*) при сварке горизонтальных швов

плоскости и возвращают, перекрывая закристаллизовавшуюся порцию металла расплавленным примерно на 1/2–1/3 ее длины (рис. 8.33, *а*).

При сварке «полумесяцем» электрод располагают под углом 90–130° к потолочной плоскости и, манипулируя по схеме полумесяца, беспрерывно заходят электродом на закристаллизовавшуюся часть металла (рис. 8.33, *б*).

Обратнопоступательная сварка производится по следующей схеме: конец электрода сварщик беспрерывно возвращает назад, на кристаллизующуюся часть металла, постоянно удлиняя валик (рис. 8.33, *в*).

Выбор диаметра электрода для выполнения проходов при потолочной и горизонтальной сварке дан в табл. 8.1.

11. Зак. 717.

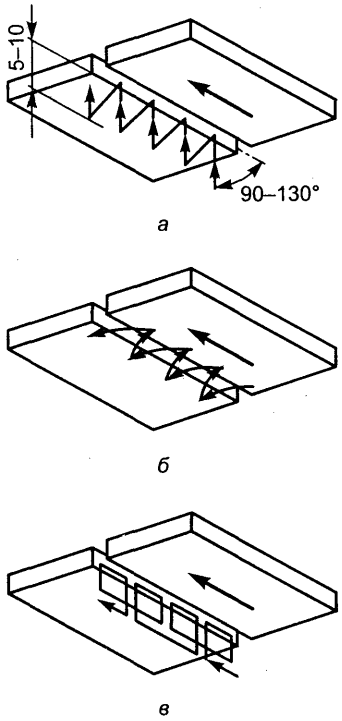


Рис. 8.33. Способы выполнения потолочных швов

Табл. 8.1. **Выбор диаметра электрода**

Шов	Диаметр электрода, мм, для выполнения проходов	
	первого	последующих
Потолочный	4	5
Горизонтальный	3	4

Сварка потолочных и горизонтальных швов затруднена тем, что жидкий металл стремится вытечь из ванны. Поэтому сварку ведут короткой дугой. Сварочный ток уменьшают на 15–20% по сравнению со сваркой в нижнем положении. Металл толщиной более 8 мм сваривают многопроходными швами. При этом для первого валика нужно воспользоваться электродами диаметром 3 мм, а

для последующих – электродами диаметром 4 мм. Сварку потолочных швов можно выполнять с опиранием на электродное покрытие.

Механические свойства металла, наплавленного при потолочной сварке, ниже, чем металла, наплавленного при сварке в других пространственных положениях.

Тестовые задания

1. С целью устранения деформаций прокатных материалов выполняют технологическую операцию, которая называется:

1) резка;
2) правка;
3) разметка;
4) очистка.

2. Сборку деталей под сварку выполняют короткими швами, которые называют:

1) связующие;
2) рабочие;
3) прихватки;
4) фланговые.

3. С увеличением силы сварочного тока глубина проплавления металла:

1) увеличивается;
2) уменьшается;
3) не изменяется;
4) равна нулю.

4. С повышением напряжения на дуге ширина сварного шва:

1) увеличивается;
2) уменьшается;
3) не изменяется;
4) равна нулю.

5. Обратноступенчатую сварку применяют с целью:

1) экономии электродов;
2) повышения производительности;
3) уменьшения деформаций;
4) термообработки.

6. При сварке «углом назад» глубина провара:

1) увеличивается;
2) уменьшается;
3) не изменяется;
4) равна нулю.

7. При сварке «на подъем» глубина проплавления:

1) равна нулю;
2) уменьшается;
3) не изменяется;
4) увеличивается.

8. При выполнении вертикальных швов в основном используют способ:

1) «снизу вверх»;
2) «сверху вниз»;
3) «углом вперед»;
4) «углом назад».

9. При выполнении вертикальных швов способом «сверху вниз» используют электроды, имеющие покрытие:

1) кислое;
2) основное;
3) рутиловое;
4) целлюлозное.

10. При сварке в потолочном положении, по сравнению с нижним, необходимо:

1) увеличить диаметр электрода;
2) уменьшить силу сварочного тока;
3) увеличить длину дуги;
4) использовать другой источник питания.

Глава 9

СВАРКА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

9.1. Классификация сталей

Сталь – это сплав железа с углеродом и другими элементами при содержании углерода не более 2%. Температура плавления железа 1539 °С, его плотность составляет 7680 кг/м^3.

В сталях содержатся *легирующие добавки* кремния, марганца и других элементов, а также *вредные примеси* – сера и фосфор, содержание которых ограничивают до 0,04%.

В сталях, предназначенных для изготовления сварных конструкций, содержание углерода редко превышает 0,3%. Углерод является важнейшим химическим элементом стали, определяющим ее основные свойства. Углерод повышает прочность и твердость стали, но снижает пластичность.

По химическому составу стали подразделяют на *углеродистые* (не содержащие легирующих компонентов, кроме углерода), *легированные* (содержащие, помимо углерода, и другие легирующие компоненты) и *сплавы*. Металлы, содержащие преобладающее количество железа, относят к сталям, а содержащие большинство других элементов – к сплавам.

Углеродистые стали бывают *низкоуглеродистые* (с содержанием до 0,25% С), *среднеуглеродистые* (с содержанием 0,25–0,45% С), и *высокоуглеродистые* (с содержанием 0,45–0,7% С).

Любая сталь, кроме железа и углерода, содержит примеси других элементов. Одни из них невозможно полностью удалить при выплавке стали (серу, фосфор), другие необходимо вводить (марганец, кремний). Могут быть и случайные примеси, образовавшиеся при переплаве других сталей, использовании руд, содержащих медь, и пр. Все эти примеси технологически неизбежны, их содержание в стали незначительно и они не являются легирующими элементами.

Стали, в состав которых специально вводят заданное количество легирующих элементов для получения требуемых свойств, называют *легированными*.

Например, сталь с содержанием 0,5–0,7% марганца не является легированной. Это количество марганца остается при выплавке стали. Если же в стали должно быть более 1% марганца, то для ее выплавки марганец нужно вводить специально, в таком случае марганец уже является не примесью, а легирующим компонентом, и сталь считается легированной марганцовистой.

9.2. Углеродистые стали

Углеродистые стали по качественному признаку разделяют на две группы: *обыкновенного качества* и *качественные*. Качественная сталь имеет пониженное содержание серы. Углеродистые стали обыкновенного качества, согласно ГОСТ 380–71, делятся на три группы: А – сталь, поставляемая по механическим свойствам; Б – сталь, поставляемая по химическому составу; В – сталь, поставляемая по механическим свойствам и химическому составу (сталь этой группы более дорогая и применяется для ответственных конструкций). Химический состав распространенных углеродистых сталей обыкновенного качества приведен в табл. 9.1.

Табл. 9.1. **Химический состав углеродистых сталей обыкновенного качества**

Марка стали	Содержание элементов, %				
	углерод	марганец	кремний	фосфор	сера
				не более	
Ст0	≤ 0,23	–	–	0,07	0,06
Ст2пс	0,09–0,15	0,25–0,50	0,05–0,17	0,04	0,05
Ст2сп	То же	То же	0,12–0,30	То же	То же
Ст3кп	0,14–0,22	0,30–0,60	≤ 0,07	0,04	0,05
Ст3пс	То же	0,40–0,65	0,05–0,17	То же	То же
Ст3сп	–«–	0,40–0,65	0,12–0,30	–«–	–«–
Ст4пс	0,18–0,27	0,40–0,70	0,05–0,17	0,04	0,05
Ст4сп	То же	То же	0,12–0,30	То же	То же
Ст5сп	0,28–0,37	0,50–0,80	0,15–0,35	0,04	0,05

Сталь получают главным образом из смеси чугуна, выплавляемого в доменных печах, со стальным ломом. Ее плавят в конверторах, мартеновских печах и электропечах. Наивысшие сорта стали получают после ее переплава электрошлаковым, вакуумно-дуговым, электронно-лучевым, плазменно-дуговым способами.

Плавка стали без достаточного количества раскислителей сопровождается выделением газов. Такая сталь называется *кипящей* (буквы кп в марке стали). Стали, раскисленные (очищенные от оксида железа) добавлением кремния, марганца и алюминия, остывают в изложницах без интенсивного выделения газов. Они называются *спокойными* (буквы сп в марке стали). Промежуточные стали – *полуспокойные* (буквы пс в марке стали).

Спокойные и полуспокойные стали по механическим свойствам, как правило, различаются незначительно. Спокойные стали обладают более стабильными свойствами, кипящие – менее однородны, более склонны к хрупким разрушениям. Производство спокойных сталей дороже, их обычно применяют в ответственных конструкциях.

Полное обозначение стали включает марку, степень раскисления и номер категории. Категория 1 в марке не ставится. Например: ВСт3сп3 – сталь группы В, марка Ст3, спокойная, 3-й категории.

Углеродистая качественная конструкционная сталь обозначается: 08, 10, 15, 20 и т.д., где цифры показывают содержание углерода в сотых долях процента.

Сварные конструкции изготавливают из углеродистой стали обыкновенного качества и стали углеродистой качественной конструкционной по ГОСТ 1050–74. Выпускают 24 марки качественной стали – от стали 08кп до стали 60. В строительных конструкциях иногда применяют конструкционную низкоуглеродистую сталь марок 10, 15, 20.

Для сварных строительных конструкций применяют прокат из углеродистой стали, изготовленный в виде листов, полос, уголков, балок и швеллеров следующих марок: 18кп толщиной 4–40 мм, 18пс толщиной 4–16 мм (лист) и 4–20 мм (фасонный прокат), 18сп толщиной 4–20 мм, 18пс толщиной 4–30 мм, 18Гсп толщиной 31–40 мм. Эти стали содержат углерода 0,14–0,22% и хорошо свариваются.

Стали среднеуглеродистые ВСт4 и ВСт5, стали конструкционные марок 25, 30, 35, 40 свариваются ограни-

ченно. Их применяют в основном в виде стальной арматуры класса II (ВСт5) при изготовлении железобетонных конструкций и для рельсовых путей.

С увеличением содержания углерода в стали зона термического влияния и шов закаливаются, увеличивается их твердость, сварные соединения становятся более хрупкими и склонными к образованию трещин. Для строительных конструкций они не пригодны.

Из низкоуглеродистых сталей наиболее широко применяют стали ВСт3пс, ВСт3сп, ВСт3Гпс, ВСт3Гсп, 18пс, 18сп, а для менее ответственных конструкций – ВСт3кп и 18кп.

Для строительных стальных конструкций применяют углеродистые стали С235, С255, С275, С345Т и С375Т (ГОСТ 27772–88). Буква С обозначает «сталь строительная», цифры указывают предел текучести, буква Т – термическое улучшение со специальным нагревом или термическое упрочнение с прокатным нагревом. К стали С235 относится кипящая сталь Вст3кп2, к стали С245 – ВСт3пс6, к стали С256 – ВСт3сп5 и ВСт3Гсп5.

Сварку конструкций из низкоуглеродистой кипящей и полуспокойной сталей следует выполнять электродами типа Э42 или Э46 марок МР-3, ОЗС-4, АНО-4 и др. Для сварки конструкций из спокойной стали предпочтительнее электроды типа Э42А и Э46А марок СМ-11, УОНИ-13/45 или аналогичные.

Конструкции, работающие в условиях динамических или вибрационных нагрузок (транспортные эстакады, галереи, подкрановые балки, пролетные строения, фасонки стропильных ферм), эксплуатируемые при температуре – 40 °С и ниже, также должны свариваться электродами типа Э42А или Э46А. Электроды этих марок применяются при сварке сосудов и трубопроводов высокого давления, листовых объемных конструкций с элементами толщиной 20 мм и более.

Металл большой толщины, подготовленный к сварке многослойными швами, рекомендуется предварительно подогреть до 120–150 °С перед наложением корневых и первых слоев угловых швов для предупреждения образования кристаллизационных трещин, так как подогрев замедляет охлаждение металла и препятствует образованию закалочных структур.

9.3. Сварка низкоуглеродистых сталей

Низкоуглеродистые стали, содержание углерода в которых не превышает 0,25%, хорошо свариваются в широком диапазоне режимов сварки независимо от толщины свариваемых элементов и температуры воздуха.

Тип и марку электрода выбирают, руководствуясь следующими требованиями: обеспечение равнопрочности сварного соединения с основным металлом; отсутствие в швах дефектов; получение необходимого химического состава металла шва; обеспечение стойкости сварных соединений в условиях вибрационных и ударных нагрузок, при пониженных или повышенных температурах.

При выборе электродов учитывают назначение сварного изделия, степень его ответственности. В зависимости от степени ответственности свариваемого изделия используют электроды типов Э38, Э42 и Э42А (марок ОММ-5, СМ-5, ЦМ-7, ОМА-2, УОНИ-13/45, СМ-11 и др.). Электродами типа Э38 сваривают неответственные изделия, Э42 – ответственные и Э42А – особо ответственные.

С целью повышения прочности наплавленного металла и сварных соединений при сварке изделий из толстых листов (10 мм и более) в неудобных для сварщика положениях, в монтажных условиях, на строительных площадках применяют электроды типов Э46 и Э46А. Режимы сварки некоторыми электродами низкоуглеродистых сталей даны в табл. 9.2. Прокалку электродов перед сваркой следует производить при температуре, указанной в паспорте.

В зависимости от степени раскисления стали, содержания углерода, а также условий сварки и требований, предъявляемых к металлу шва, для сварки углеродистых сталей применяют электроды с кислым, основным, рутиловым и целлюлозным покрытиями. Во всех случаях стержень электродов изготавливают из сварочной проволоки Св-08 и Св-08А, а легирующие элементы (раскислители) вводят в сварочную ванну через покрытие.

Рассмотрим сварочные электроды с разными покрытиями.

❑ Электроды с *кислым покрытием* марок СМ-5, ЦМ-7, МЭЗ-04. Металл шва, полученный такими электродами,

12. Зак. 717.

склонен к образованию горячих трещин. При сварке сталей спокойных плавок с высоким содержанием кремния возможно образование пор. Электроды с таким покрытием используют для сварки только низкоуглеродистых кипящих и полуспокойных сталей.

Табл. 9.2. **Режимы сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей**

Марка электрода	Диаметр, мм	Сварочный ток, А	Производительность, г/А · ч	Режим прокалки	Расход на 1 кг наплавленного металла, кг
УОНИ-13/45	2 2,5 3 4 5	30–50 60–80 80–100 100–160 140–200	8,5	250 °С, 1ч	1,5
АНО-4	3 4 5	100–140 170–200 190–270	8,5	180 °С, 1ч	1,6
МР-3	3 4 5 6	90–120 160–180 170–230 280–320	7,5	180 °С, 1ч	1,7
УОНИ-13/55К	3 4 5	80–100 120–160 170–210	9,5	260 °С, 1ч	1,6
УОНИ-13/55	2 2,5 3 4 5	70–70 50–80 60–100 110–160 140–200	9,0	350 °С, 1ч	1,5
НИАТ-3М	2 2,5 3 4 5	50–80 60–100 90–130 150–180 200–250	9,5	270 °С, 1ч	1,6

Объем выпуска электродов с кислым покрытием сокращается. Это обусловлено тем, что из-за высокого содержания в кислых покрытиях ферромарганца в процессе сварки образуется большое количество токсичных паров.

❑ Электроды с *основным покрытием* марок УОНИ-13/45, СМ-11, УП-1/45, ЦУ-1, УОНИ-13/55 и др. Металл шва электродов с таким покрытием отличается высокими прочностными и пластическими свойствами при нормальной и низкой температурах.

Электроды с основным покрытием применяют при сварке низкоуглеродистых и среднеуглеродистых сталей. Возможно использование их и при сварке высокоуглеродистых сталей. Такие электроды рекомендуются, как правило, для сварки особо ответственных конструкций, конструкций из толстолистового металла, жестких конструкций.

❑ Электроды с *рутиловым покрытием* марок АНО-1, АНО-5, АНО-6, МР-3, ОЗС-4, ЦМ-9 и др. Основным компонентом таких покрытий является рутиловый концентрат – оксид титана TiO_2.

При сварке электродами с рутиловым покрытием обеспечивается хорошая отделимость шлака и формирование швов с плавным переходом. Эти электроды обладают малой чувствительностью к ржавчине и окалине на свариваемых кромках.

В состав таких покрытий входит железный порошок, что улучшает сварочно-технологические свойства электродов, в частности обеспечивает более равномерное плавление покрытия, благодаря чему повышается устойчивость горения дуги, снижается разбрызгивание электродного металла, увеличивается производительность процесса. Металл шва имеет достаточно высокие прочностные и пластичные свойства и занимает промежуточное положение между металлом швов, полученных электродами с кислым и основным покрытиями.

В составе рутиловых покрытий снижено содержание раскислителя – ферромарганца. Благодаря этому использование электродов с рутиловым покрытием улучшает санитарно-гигиенические условия сварки, так как при расплавлении они выделяют меньше пыли и токсичных оксидов марганца. Отмеченные преимущества этих электродов способствуют широкому применению их по сравнению с электродами с кислым покрытием.

❑ Электроды с *целлюлозным покрытием* марок ВСЦ-2, ВСЦ-4, ВСЦ-4А. Металл, наплавленный такими электродами, по химическому составу соответствует полуспокойной стали.

Электроды с целлюлозным покрытием не допускают перегрева при прокалке, а также в процессе сварки, что может привести к изменению свойств металла сварочной ванны и шва.

Малый коэффициент массы покрытия (15–25%) позволяет использовать эти электроды для сварки тонкого металла; при наличии зазоров в соединении; для сварки первого слоя шва без подкладки, например при сварке трубопроводов.

9.4. Сварка среднеуглеродистых и высокоуглеродистых сталей

В среднеуглеродистых сталях содержание углерода составляет 0,25–0,45%. Эти стали чувствительны к концентрации напряжений, склонны к образованию трещин в угловых швах, изделиях с большой жесткостью, первых многослойных швах, при неправильно выбранном тепловом режиме сварки и т.д. Поэтому возникает необходимость в дополнительном подогреве среднеуглеродистых сталей при сварке (для листов толщиной до 15 мм температура подогрева 100 °С, для листов большей толщины – 200 °С), применении электродов, обеспечивающих высокую стойкость металла шва к образованию трещин и высокие механические свойства. Для того чтобы повысить стойкость металла шва к образованию трещин, следует уменьшить содержание в нем углерода. Это достигается применением электродов с пониженным содержанием углерода, а также уменьшением содержания доли основного металла в металле шва.

Среднеуглеродистые стали сваривают электродами марок УОНИ-13/45, УОНИ-13/55, УОНИ-13/65, ОЗС-2, АНО-7, АНО-8, АНО-11 и др. Режимы сварки см. в табл. 9.1.

Для снижения вероятности появления закалочных структур применяют предварительный и сопутствующий подогрев изделия до 100–200 °С (большая температура для толстолистового металла) на расстоянии 50–70 мм от шва. Скорость охлаждения сварного соединения во всех случаях должна быть небольшой.

Сварку толстолистового металла выполняют «каскадом» или «горкой» с замедленной скоростью охлаждения шва и

околошовной зоны, что предупреждает образование в них закалочных структур.

В высокоуглеродистых сталях содержание углерода составляет 0,46–0,7%. Эти стали не применяют в сварных конструкциях. Сварку используют для ремонта и наплавки деталей, изготовленных из таких сталей. Применяют предварительный и сопутствующий подогрев деталей и термическую обработку после сварки.

Тестовые задания

1. Содержание углерода в низкоуглеродистых сталях не превышает:

1) 0,006%; 2) 0,25%; 3) 0,45%; 4) 0,8%.

2. Цифры в марке углеродистой качественной стали 20 указывают в сотых долях процента среднее содержание:

1) углерода; 3) марганца;
2) кремния; 4) серы.

3. Свариваемость стали марки ВСт3кп:

1) хорошая; 3) удовлетворительная;
2) плохая; 4) ограниченная.

4. Сварку конструкций из низкоуглеродистой кипящей и полуспокойной сталей выполняют электродами типа:

1) Э38; 2) Э42; 3) Э46А; 4) Э50А.

5. Конструкции, работающие в условиях динамических или вибрационных нагрузок, должны свариваться электродами типа:

1) Э38; 2) Э42; 3) Э46; 4) Э46А.

6. При сварке низкоуглеродистой стали большой толщины многослойными швами рекомендуется предварительный подогрев ее до температуры:

1) 50–120 °С; 3) 150–250 °С;
2) 120–150 °С; 4) 250–400 °С.

7. По ржавчине и окалине допускается варить электродами, имеющими покрытие:

1) кислое;
2) основное;
3) рутиловое;
4) целлюлозное.

8. Корень шва в трубопроводах выполняют электродами, имеющими покрытие:

1) кислое;
2) основное;
3) рутиловое;
4) целлюлозное.

9. Не допускают перегрева при прокалке электроды, имеющие покрытие:

1) кислое;
2) основное;
3) рутиловое;
4) целлюлозное.

10. При сварке среднеуглеродистых сталей большой толщины многослойными швами рекомендуется предварительный подогрев до температуры:

1) 50–120 °С;
2) 120–150 °С;
3) 150–250 °С;
4) 250–400 °С.

Глава 10

СВАРКА ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

10.1. Классификация легированных сталей

Легированные стали. В зависимости от содержания легирующих компонентов легированные стали подразделяют на *низколегированные* (содержание легирующих компонентов, кроме углерода, не более 2,5%), *среднелегированные* (содержание легирующих компонентов, кроме углерода, 2,5–10%) и *высоколегированные* (содержание легирующих компонентов, кроме углерода, свыше 10%).

Низколегированные стали предназначены для сварных конструкций, работающих при нормальной температуре. В качестве легирующих элементов они содержат недефицитные металлы, например марганец, кремний. Низколегированные стали, применяемые в сварных конструкциях, работающих при повышенных температурах (до 500 °С), отличаются от других низколегированных сталей содержанием только молибдена или молибдена и хрома, повышающих прочность стали при указанных температурах.

Химический состав распространенных низколегированных сталей приведен в табл. 10.1. Первые две цифры в обозначении легированной стали указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента, а цифры справа от условного обозначения легирующего элемента – среднее содержание этого элемента в процентах.

Наличие легирующих компонентов в стали определяет ее название. Стали, содержащие хром, называют *хромистыми*, хром и никель – *хромоникелевыми*, хром, марганец, кремний – *хромомарганцевокремнистыми*, и т.д.

Влияние легирующих элементов на свойства стали. Марганец (Mn) увеличивает прочность и твердость стали, а также снижает вредное влияние серы. Марганец и кремний являются раскислителями стали.

Табл. 10.1. **Химический состав низколегированных сталей**

Марка стали	Содержание элементов, %			
	углерод	кремний	марганец	прочие
09Г2	≤ 0,12	0,17–0,37	1,4–1,8	Cr, Ni, Cu ≤ 0,3
14Г2	0,12–0,18	0,17–0,37	1,2–1,6	То же
09Г2С	≤ 0,12	0,5–0,8	1,3–1,7	– «–
10ХСНД	≤ 0,12	0,8–1,1	0,5–0,8	Cr от 0,6 до 0,9 Ni от 0,5 до 0,8 Cu от 0,4 до 0,6
15ХСНД	0,12–0,18	0,4–0,7	0,4–0,7	Cr от 0,6 до 0,9 Ni от 0,3 до 0,6 Cu от 0,2 до 0,4
16Г2АФ	0,14–0,2	0,3–0,6	1,3–1,7	V от 0,08 до 0,14 Cr, Ni, Cu ≤ 0,3 N от 0,015 до 0,025

Примечание. Для всех марок стали содержание S ≤ 0,04%; P ≤ 0,035%.

Кремний (Si) повышает твердость, прочность и вязкость стали.

Хром (Cr) увеличивает твердость, прочность и пластичность стали. При содержании его более 12% сталь становится коррозионно-стойкой и жаростойкой.

Никель (Ni) повышает прочность, вязкость и пластичность стали. При содержании его 24–26% сталь становится немагнитной и коррозионно-стойкой. Никель увеличивает прокаливаемость стали.

Молибден (Mo) повышает прочность, твердость, способствует увеличению жаростойкости и жаропрочности стали.

Вольфрам (W) способствует сохранению твердости стали при нагреве, повышению износостойкости и красностойкости.

Титан (Ti) влияет на измельчение зерен стали при нагреве и улучшает ее механические свойства.

Бор (B) раскисляет сталь, повышает ее механические свойства.

Сера и фосфор являются вредными примесями в сталях.

Сера (S) обладает малой растворимостью в железе и образует с ним легкоплавкое соединение (эвтектику Fe–FeS) с температурой плавления 988 °С. Это соединение делает сталь хрупкой («красноломкой») в области температур красного каления (выше 800 °С), что является одной из причин образования горячих трещин в сварных швах.

Фосфор (P) относительно хорошо растворяется в железе. Однако при этом он резко изменяет температуру перехода металла в хрупкое состояние – придает стали хладноломкость.

Применение низколегированных сталей. При изготовлении сварных конструкций вместо среднеуглеродистых используют низколегированные стали, что обеспечивает снижение массы конструкций и повышает надежность сварных деталей и изделий. Низколегированные конструкционные стали отличаются повышенной прочностью при комнатной температуре, их можно применять при повышенных (до 500 °С) температурах.

Для машиностроительных и строительных конструкций, работающих при повышенных и отрицательных температурах, используют низколегированные стали 09Г2, 14Г2, 16ГС, 09Г2С, 09Г2СД, 10ХСНД, 15ХСНД.

Для армирования железобетонных конструкций используют стали 18Г2С, 25Г2С, 35ГС, 20ХГ2Ц, 15ХСНД, 23Х2Г2Т, 10ГТ.

В производстве сельхозмашин и автомобилей находит применение сталь 12ГС.

Для сварных конструкций машиностроения, автомобилестроения и строительства используют сталь 15ГДЮТ повышенной прочности.

Улучшенные хромокремнемарганцовые стали 20ХГСА, 30ХГС, 30ХГСА обладают повышенной прочностью при умеренной вязкости, их применяют для ответственных сварных конструкций.

Из хромомолибденовых сталей 30ХМ, 30ХМА, 35ХМ, 40ХФА и других изготавливают детали и узлы, работающие при температурах до 400–450 °С (детали турбин, паропроводов и т.д.).

Теплоустойчивые стали 12МХ, 12Х1МФ, 25Х1МФ, 25Х2М1Ф, 20Х3МВФ, предназначенные для длительной работы при температуре до 600 °С, используют преимущественно в энергетическом машиностроении.

Стали и сплавы с особыми свойствами. Особыми свойствами обладают коррозионно-стойкие, кислото-, окалино- и износостойкие, жаропрочные, магнитные, немагнитные электрические сплавы с высоким электрическим сопротивлением и др.

Коррозионно-стойкие стали обладают высокой стойкостью к атмосферной коррозии; *кислотостойкие* – к воздействию различных кислот; *окалиностойкие* стали не дают окалины при высоких температурах; *жаропрочные стали* и *сплавы* сохраняют одновременно высокую прочность и окалиностойкость при высоких температурах.

Коррозионно-стойкие стали 08Х13, 12Х13 и 20Х13 предназначены для работы в слабоагрессивных средах (обычные атмосферные условия, речная и водопроводная вода, влажный пар, водяные растворы солей органических кислот при комнатной температуре).

Хромоникелевые стали аустенитного класса 12Х18Н9Т, 12Х18Н12Т и другие предназначены для работы в среднеагрессивных средах. Из этих сталей изготавливают трубы, детали печной арматуры, теплообменники и т.д.

Стали повышенной сопротивляемости межкристаллитной коррозии 08Х18Н10Т, 04Х18Н10Т применяют для изготовления сварных изделий, работающих в средах высокой агрессивности.

Легированную сталь, обладающую высоким сопротивлением коррозии в различных агрессивных средах (не ржавеет и не окисляется на воздухе, в воде, в ряде кислот, солей и щелочей), называют *нержавеющей*.

В качестве основных элементов в жаростойких и жаропрочных сталях и сплавах используют железо, никель, кобальт, хром и молибден. Для сварных конструкций применяют жаростойкие и жаропрочные стали и сплавы типа 18–8 (18% Cr и 8% Ni), 25–20 (25% Cr и 20% Ni), Х20Н80 (20% Cr и 80% Ni) и др.

10.2. Сварка низколегированных сталей

Общие сведения. Низколегированные конструкционные стали делятся на низкоуглеродистые, теплоустойчивые и среднеуглеродистые. В сталях этой группы содержание углерода не превышает 0,25%, а легирующих элементов –2,5%.

В зависимости от легирования *низкоуглеродистые стали* подразделяют на марганцовистые (14Г, 14Г2), кремнемарганцовистые (09Г2С, 10Г2С1, 14ГС и др.), хромокремнемарганцовистые (14ХГС и др.), марганцовоазотнованадиевые (14Г2АФ и др.), хромокремненикельмедистые (10ХСНД, 15ХСНД и др.).

Низколегированные теплоустойчивые стали обладают повышенной прочностью в условиях высоких температур эксплуатации. Они наиболее широко применяются при изготовлении металлических конструкций энергетических установок.

Низколегированные среднеуглеродистые стали (более 0,25% углерода) (17ГС, 18Г2АФ, 35ХМ и др.) используют обычно в термообработанном состоянии.

Особенности сварки низколегированных сталей. Эти стали свариваются труднее, чем низкоуглеродистые. При сварке могут образовываться закалочные структуры, возможен перегрев (рост зерен) в зоне термического влияния. Для предупреждения образования закалочных структур применяют подогрев изделия, многослойную сварку с малым интервалом времени между наложениями слоев металла в шов и др.

Покрытые сварочные электроды подбирают так, чтобы содержание углерода, серы, фосфора в них было низкое.

Низколегированные низкоуглеродистые стали 09Г2, 09Г2С, 10ХСНД, 10Г2С1 и 10Г2Б при сварке покрытыми электродами не закаливаются и мало склонны к перегреву. Сварка этих сталей аналогична сварке низкоуглеродистых сталей. Для обеспечения равнопрочности при сварке используют электроды типов Э46А и Э50А. Изделие перед сваркой не подогревают. Твердость и прочность околошовной зоны и основного металла практически не различаются.

При выполнении соединений из низколегированных низкоуглеродистых сталей 12ГС, 14Г, 14Г2, 14ХГС, 15ХСНД, 15Г2Ф, 15Г2СФ режим сварки необходимо подбирать так, чтобы не было закалочных структур и сильного перегрева металла. Для предупреждения перегрева сваривать стали 15ХСНД и 14ХГС следует при малой силе сварочного тока электродами меньшего диаметра (по сравнению со сваркой низкоуглеродистых сталей).

Обеспечение равнопрочности основного металла и сварного соединения при сварке сталей 15ХСНД и 14ХГС достигается применением электродов типа Э50А или Э55.

Сварку ведут электродами диаметром 4–5 мм в несколько слоев, а при толщине стали более 15 мм швы выполняют «каскадом» или «блоками», при этом не слишком разогревают металл, чтобы не перегреть зону термического влияния.

Для сварки низколегированных сталей повышенной и высокой прочности, как правило, применяют электроды с основным покрытием. В зависимости от свойств свариваемой стали используют электроды: типа Э42А (марки УОНИ-13/45, СМ-11 и др.); типа Э46А (марки Э-138/45Н для сталей 09Г2, 10ХСНД, 15ХСНД и др.); типа Э50А (марки УОНИ-13/55, ДСК-50, АН-Х7 и другие для сталей 14ХГС, 10ХСНД, 15ХСНД и др.); типа Э55 (марки УОНИ-13/55У для сталей 18Г2С, 25ГС, 15ГС и др.).

Для некоторых сталей типа 09Г2 используют также электроды с покрытием рутилового типа Э42 (например, электроды марки АНО-1).

Дефектные участки следует подваривать швами нормального сечения длиной не более 100 мм или предварительно подогревать до 150–200 °С.

При сварке термоупрочненных сталей для уменьшения разупрочнения металла в околошовной зоне рекомендуется сварка длинными швами по охлажденным предыдущим швам. Режим сварки следует выбирать такой, чтобы швы выполнялись с малой погонной энергией.

Свариваемые металлы (стали, сплавы) могут иметь одинаковые и различные химический состав и свойства. В первом случае это *однородные* по химическому составу и свойствам металлы, во втором – *разнородные*.

10.3. Сварка среднелегированных сталей

Особенности сварки среднелегированных сталей. Среднелегированные стали применяют для изготовления конструкций, работающих при низких или высоких температурах, при ударных и знакопеременных нагрузках, в агрессивных средах и других тяжелых условиях. Их разделяют на теплоустойчивые, высокопрочные и др.

Для обеспечения требуемого качества сварных соединений необходимо выполнение ряда технологических приемов.

❑ В деталях из высокопрочной легированной стали должны быть предусмотрены плавные переходы при соединении элементов и изменении сечений, плавные закругления угловых соединений и другие конструктивные формы, устраняющие концентрацию напряжений.

❑ Сборку элементов рекомендуется производить в сборочных приспособлениях, обеспечивающих свободную усадку швов и сохранение при этом размеров конструкций.

❑ Сварные швы выполняют с предварительным и сопутствующим подогревом, если прочность сварного соединения должна быть не ниже прочности основного металла. Листовые конструкции толщиной до 3 мм и менее сваривают без подогрева, при большей толщине используется подогрев. Например, для сталей 30ХГСА, 25ХГСА температура подогрева составляет 200–300 °С. Для того чтобы избежать перегрева, применяют сварку на малой погонной энергии (пониженное тепловложение). После сварки соединение подвергают термообработке – высокому отпуску.

❑ Сварные швы выполняют без предварительного и сопутствующего подогрева, если к сварному соединению не предъявляются требования прочности, близкой прочности основного металла. При этом сварку швов ведут электродами, обеспечивающими получение аустенитного металла шва. В этом случае последующую термообработку не производят.

При сварке среднелегированных сталей могут образовываться закалочные структуры, холодные трещины, возможен перегрев металла околошовной зоны. Чем выше содержание углерода и легирующих примесей, толще металл, тем хуже свариваемость этих сталей.

Среднелегированные стали сваривают покрытыми электродами с основным покрытием постоянным током обратной полярности.

В зависимости от требований, предъявляемых к металлу шва, используют электроды, обеспечивающие получение среднелегированного металла шва. К ним относятся электроды марок УОНИ-13/85 (типа Э85), ВИ-10-6 (типа Э100), НИАТ-3М (типа Э125), НИАТ-3 (типа

Э150) и электроды, обеспечивающие получение аустенитного металла шва, например марки НИАТ-5 (типа Э-11Х15Н25М6АГ2).

Швы выполняются многослойными, каскадным или блочным способом, с малыми интервалами времени между наложением слоев. Подогрев металла выше 150 °С снижает вероятность образования закалочных структур и трещин. Электроды перед сваркой прокаливают. Кромки металла следует тщательно защищать от влаги, ржавчины, органических и других загрязнений.

Стали 20ХГСА, 25ХГСА, 30ХГСА, 30ХГСНА свариваю́т электродами марок ЦЛ-18-63, ЦЛ-30-63, НИАТ-3М, ЦЛ-14, УОНИ-13/85 предельно короткой дугой. После сварки соединения подвергают термической обработке – закалке с температуры 880 °С и низкому отпуску с целью обеспечения высокой прочности.

Сварка теплоустойчивых сталей. Теплоустойчивые стали предназначены для изготовления деталей, работающих в условиях высоких температур (400–600 °С) и при давлении газа или пара до 30 МПа. Эти стали имеют склонность к образованию трещин в зоне термического влияния. Поэтому требуется предварительный подогрев до 200–400 °С и последующая термообработка (отпуск) по режиму: нагрев изделия до 710 °С, выдержка при этой температуре не менее 5 мин на 1 мм толщины металла с последующим медленным охлаждением. Иногда эти стали отжигают при температуре 670–800 °С.

Изделия из сталей 12МХ и 20МХЛ, работающие при температуре до 850 °С, свариваю́т электродами марки ЦЛ-14. Сварку выполняют с предварительным подогревом изделия до 200 °С для стали 12МХ и до 300 °С – для стали 20МХЛ. После сварки применяют высокий отпуск при температуре 710 °С.

Изделия из сталей 34ХМ и 20Х3МВФ, работающие при температуре до 470 °С, свариваю́т электродами марки ЦЛ-30-63. Сварку выполняют с предварительным и сопутствующим подогревом изделия до 350 °С для стали 33ХМ и до 400 °С – для стали 20Х3МВФ. Сварные соединения подвергаются отпуску: сталь 34ХМ – при температуре 600 °С, сталь 20Х3МВФ – при 680 °С.

Изделия из сталей 20ХМФ, 20ХМФЛ, 12Х1М1Ф, работающие при температуре до 570 °С, свариваю́т электродами марки ЦЛ-20-63 короткой дугой с предварительным и сопутствующим подогревом до 350 °С. После сварки рекомендуется высокий отпуск при 700–740 °С в течение 3 ч.

Изделия из сталей 15ХМФКР и 12Х2МФБ, работающие при температуре до 600 °С, свариваю́т электродами марки ЦЛ-26М-63 короткой дугой с предварительным и сопутствующим подогревом до 400 °С, а после сварки выполняют высокий отпуск при 740–760 °С.

Изделия из сталей Х5М и 15Х5МФА, работающие в агрессивных средах при температуре до 450 °С, свариваю́т электродами марки ЦЛ-17-63 с предварительным и сопутствующим подогревом до 400 °С и последующим высоким отпуском после сварки при 760 °С в течение 3 ч.

Сварку теплоустойчивых сталей покрытыми электродами производят на тех же режимах, что и сварку низколегированных конструкционных сталей. При этом необходимо полностью проварить корень шва, для чего первый слой выполняют электродами диаметром 2–3 мм. Большинство электродов предназначено для сварки постоянным током обратной полярности. Техника сварки теплоустойчивых сталей аналогична технике сварки низкоуглеродистых сталей. Многослойную сварку выполняют каскадным способом (без охлаждения каждого слоя выполненного шва).

Сварка высокопрочных сталей. При изготовлении ответственных сварных конструкций широко применяют высокопрочные стали 14Х2ГМРБ, 14Х2ГМРЛ, 14Х2ГМ и 12ГН2МФАЮ.

Основная трудность при сварке этих сталей – необходимость предотвращения образования в металле шва и зоны термического влияния холодных трещин, а также структур, резко снижающих сопротивляемость сварных соединений хрупкому разрушению. Решение задачи усложняется тем, что требуемые эксплуатационные и технологические свойства сварные соединения должны приобретать после сварки без дополнительной термообработки.

Для повышения стойкости сварных соединений из высокопрочных сталей к образованию холодных трещин необходимо перед сваркой обязательно прокаливать элект-

роды с целью удаления влаги. Следует также соблюдать определенные условия подготовки к сварке и выполнения соединений.

Ручную сварку высокопрочных низколегированных сталей выполняют электродами марки ЭА-981/15. Эти электроды технологичны при сварке во всех пространственных положениях. Сварку ведут постоянным током обратной полярности. Сила сварочного тока зависит от диаметра электрода и положения шва. Например, сварку в нижнем положении электродом диаметром 4 мм производят при силе сварочного тока 150–200 А.

Перед сваркой электроды прокаливают при температуре 420–450 °С. Прокаленные электроды выдают сварщику в количестве, необходимом для работы в течение полусмены. На рабочем месте электроды хранят в плотно закрытой таре.

Перед сваркой поверхности деталей и места наложения швов зачищают до полного удаления ржавчины, окалины, краски, масла, влаги и других загрязнений. Зачистку производят на участке, равном ширине шва плюс 20 мм в каждую сторону.

При выполнении соединений необходимо предотвращать попадание влаги в зону сварки и не допускать быстрого охлаждения сварных соединений.

Сборку деталей под сварку часто производят прихватками. Прихватки длиной 50–100 мм выполняют электродами марок УОНИ-13/45А или ЭА-981/15. Расстояние между прихватками не должно превышать 400–500 мм. Не следует устанавливать их в местах пересечения швов. Перед сваркой прихватки нужно тщательно очистить и проверить.

Сварку необходимо начинать и заканчивать на технологических (выводных) планках, приваренных к изделию. Кроме того, следует создавать плавные переходы от шва к основному металлу.

Для предотвращения образования холодных трещин при сварке соединений большой толщины и жесткости следует применять предварительный подогрев. Как правило, его назначают при сварке металла толщиной свыше 20 мм. Температура подогрева 60–150 °С, ее измеряют термокарандашами или термоэлектрическими пирометрами.

Стойкость сварных соединений к образованию холодных трещин можно повысить, применяя технологию сварки *с мягкими прослойками*. Этот технологический прием заключается в том, что первые слои многослойного шва выполняют менее прочным и пластичным металлом по сравнению с последующими. Иногда пластичные швы в один-два слоя накладывают в процессе заполнения разделки кромок. Для выполнения мягких слоев могут быть использованы электроды марки УОНИ-13/45.

При двусторонней сварке стыковых соединений первый шов рекомендуется накладывать со стороны, противоположной прихваткам. После наложения каждого валика металл шва и околошовную зону тщательно зачищают от шлака и брызг металла. При обрыве дуги необходимо тщательно зачистить кратер от шлака и только после этого снова возбуждать дугу.

После завершения сварочных работ в монтажных условиях сварные соединения необходимо укрыть асбестовой тканью или мешками с песком для медленного охлаждения.

Высокопрочные стали часто сваривают с низколегированными сталями повышенной прочности 09Г2, 10Г2С1, 14Г2, 10ХСНД, 15ХСНД, а также с низкоуглеродистой сталью Ст3. Такие соединения выполняют обычно электродами марок УОНИ-13/45А или УОНИ-13/55А.

Использование высокопрочных сталей вместо низкоуглеродистых или обычных низколегированных позволяет существенно снизить массу и повысить несущую способность и долговечность сварных конструкций. Применение, например, на автомобилях БелАЗ грузоподъемностью 75–180 т сварных платформ (кузовов) из сталей 14Х2ГМРБ и 14Х2ГМ толщиной 6–22 мм снизило массу металлоконструкций на 20–25% и значительно увеличило срок службы платформ по сравнению с аналогичными конструкциями из низколегированной стали 09Г2С.

10.4. Сварка высоколегированных сталей и сплавов

Характеристика сталей. К высоколегированным относят стали, содержание в которых одного или нескольких легирующих элементов составляет 10–15%.

Высоколегированные сплавы содержат более 65% железа и никеля или более 55% никеля (остальное – примеси).

В соответствии с ГОСТ 5632–72 насчитывается 94 марки высоколегированных сталей и 22 марки высоколегированных сплавов.

Высоколегированные стали и сплавы классифицируют по системе легирования, структуре, свойствам и другим признакам.

По системе легирования высоколегированные стали делят на хромистые, хромоникелевые, хромомарганцевые, хромоникелемарганцевые и хромомарганцеазотистые.

По структуре высоколегированные стали подразделяют на стали мартенситного (15Х5, 15Х5М и др.), мартенситно-ферритного (15Х6СЮ, 12Х13 и др.), аустенитно-мартенситного (07Х16Н6, 08Х17Н5М3 и др.), аустенитно-ферритного (08Х20Н14С2 и др.) и аустенитного классов (03Х17Н14М2, 12Х18Н9 и др.).

По свойствам высоколегированные стали и сплавы бывают коррозионно-стойкие (нержавеющие), жаростойкие и жаропрочные.

Особенности сварки высоколегированных сталей и сплавов. Большинство высоколегированных сталей и сплавов по сравнению с низкоуглеродистыми сталями обладает более низким (в 1,5–2 раза) коэффициентом теплопроводности и более высоким (примерно в 1,5 раза) коэффициентом линейного расширения. Низкий коэффициент теплопроводности приводит к концентрации теплоты при сварке и вследствие этого к увеличению проплавления металла, а высокий коэффициент линейного расширения – к большим деформациям свариваемых изделий.

Эти стали склонны к образованию горячих и холодных трещин при сварке, что усложняет процесс обеспечения качества сварных соединений с требуемыми свойствами. В связи с этим при сварке изделий из этих материалов предусматривают выполнение определенных требований. Обычно сварку ведут на повышенной скорости и на малой силе сварочного тока для получения минимальной зоны разогрева.

Высоколегированные стали и сплавы более склонны к образованию трещин, чем низкоуглеродистые. Пути предотвращения трещин при сварке: создание в металле шва двухфазной структуры (аустенит и феррит); ограничение в шве содержания вредных примесей (серы, фосфора, свинца, сурьмы, висмута); применение электродных покрытий основного и смешанного видов; уменьшение жесткости свариваемых узлов.

Для получения сварных соединений без трещин рекомендуется свариваемые детали собирать с определенным зазором. Швы лучше выполнять электродами диаметром 1,6–2,0 мм при минимальной погонной энергии.

Подогрев (общий или местный) до температуры 100–300 °С рекомендуется в зависимости от характера структуры основного металла, содержания углерода, толщины свариваемых элементов и жесткости изделия. Для мартенситных сталей и сплавов подогрев изделия обязателен, для аустенитных сталей он применяется редко.

При дуговой сварке высоколегированных сталей поверхности следует предохранять от брызг металла и шлака, так как они могут быть причиной коррозии или концентрации напряжений, ослабляющих конструкцию. Чтобы не было приваривания брызг, на поверхность металла, прилегающего к шву, наносят защитное покрытие (кремнийорганическую жидкость, грунт ВЛ-02, ВЛ-023 и др.).

Требования к качеству сборки и очистки металла перед сваркой достаточно жесткие.

После сварки мартенситные, мартенситно-ферритные, а иногда и ферритные стали подвергают высокому отпуску при температуре 680–720 °С, а жаропрочные (12Х13, 20Х13 и др.) – при 730–750 °С. Отпуск улучшает структуру, механические свойства и коррозионную стойкость.

Для сварки мартенситных, мартенситно-ферритных и ферритных сталей применяют электроды, стержни и покрытия которых обеспечивают получение наплавленного металла, близкого по химическому составу к основному металлу. Например, мартенситную сталь 15Х11ВМФ сваривают электродами типа Э12Х11НВМФ марки КТИ-10; мартенситно-ферритную сталь 12Х13 – электродами типа Э12Х13 марки УОНИ-13/1Х13 и т.д.

Если конструкции из стали этого класса работают на статическую нагрузку и к швам не предъявляются требования высокой прочности, сварку можно выполнять аус-

тенитными или аустенитно-ферритными электродами. Так, ферритную сталь 15Х25Т сваривают электродами типа Э02Х20Н14Г2М2 марки ОЗЛ-20, при этом отпуск после сварки можно не проводить.

Для предотвращения роста зерна и повышения хрупкости зоны термического влияния при сварке таких сталей используют режим с малой погонной энергией.

К высоколегированным хромоникелевым сталям относятся стали аустенитного, аустенитно-мартенситного и аустенитно-ферритного классов. Эти стали и сплавы содержат мало вредных примесей, поэтому основные требования при сварке – хорошая защита расплавленного металла от воздуха и применение электродов со стержнем, имеющим аустенитную структуру и покрытие основного типа.

Аустенитно-мартенситные и аустенитно-ферритные стали склонны к перегреву зоны термического влияния. Это обусловлено ростом зерна в связи с перегревом ферритной фазы, образующейся вблизи зоны сплавления. Повышению хрупкости этих сталей способствует превращение обогащенного углеродом аустенита (при высокой температуре аустенит переобогащается углеродом) в мартенсит с охлаждением шва. Снижение аустенитной фазы ниже 20% повышает склонность к межкристаллитной коррозии. Для предупреждения этого дефекта стремятся снизить содержание углерода в швах. Иногда назначают полную термообработку для восстановления коррозионных свойств.

Сварка аустенитных сталей не вызывает особых затруднений. Надо иметь в виду, что в сварных соединениях аустенитно-ферритных и аустенитно-мартенситных сталей возможно выделение водорода по границам зерен. Для предупреждения этого сварное соединение подвергают отпуску в течение 1–2 ч при температуре 150 °С.

ГОСТ 10051–75 предусматривает 49 типов покрытых электродов для ручной дуговой сварки высоколегированных сталей. Каждый тип электрода включает одну или несколько марок электродов.

Сварка двухслойных сталей. В целях экономии высоколегированной стали для изготовления различных сосудов и аппаратов, работающих под давлением в агрессивных средах, применяют двуслойную сталь, которая состоит в большинстве случаев из низкоуглеродистой стали и покрывающего ее слоя коррозионно-стойкой стали (08Х18Н10Т и др.). Техника выполнения швов при сварке двуслойных сталей аналогична технике сварки однослойного металла. Обычно шов выполняется вначале со стороны углеродистой стали электродами УОНИ-13/45 или УОНИ-13/55. При этом стараются не задеть плакирующий слой. После зачистки корня шва со стороны плакирующего слоя выполняют промежуточный шов электродами с повышенным запасом аустенитности, например марки К-3М, а затем заваривают плакирующий слой электродами НЖ-13, СЛ-28 или аналогичными.

Электроды для сварки покрывающего слоя по химическому составу должны быть однородными с металлом этого слоя. Для сварки аустенитными электродами применяют постоянный ток обратной полярности.

Тестовые задания

1. Низколегированные конструкционные стали содержат легирующих элементов в сумме не более:

1) 0,25%; 2) 2,5%; 3) 25%; 4) 10%.

2. Свариваемость низколегированных низкоуглеродистых сталей :

1) хорошая; 3) удовлетворительная;
2) плохая; 4) ограниченная.

3. Низколегированные низкоуглеродистые стали перед сваркой :

1) подогревают; 3) подогревают после сварки;
2) не подогревают; 4) не сваривают.

4. Сварку низколегированных сталей высокой прочности выполняют электродами, имеющими покрытие:

1) кислое; 3) рутиловое;
2) основное; 4) целлюлозное.

5. Среднелегированные конструкционные стали содержат легирующих элементов в сумме не более:

1) 0,25%; 2) 2,5%; 3) 25%; 4) 10%.

6. Стали, предназначенные для изготовления деталей, работающих в условиях высоких температур (400–600 °С) и при давлении газа или пара до 30 МПа:

1) теплоустойчивые; 3) высокопрочные;
2) строительные; 4) износостойкие.

7. С целью повышения стойкости сварных соединений из высокопрочных сталей к образованию холодных трещин электроды перед сваркой обязательно:

1) осматривают; 3) прокаливают;
2) протирают; 4) сушат.

8. Сварку высокопрочных сталей в нижнем положении электродом диаметром 4 мм производят при силе сварочного тока:

1) 50–100 А; 3) 250–300 А;
2) 150–200 А; 4) 350–400 А.

9. ГОСТ 10051–75 для ручной дуговой сварки высоколегированных сталей предусматривает количество типов покрытых электродов:

1) 4; 2) 9; 3) 49; 4) 100.

10. При сварке аустенитных нержавеющих сталей применяют:

1) малую силу сварочного тока и малый диаметр электрода;
2) большую силу сварочного тока и большой диаметр электрода;
3) большую силу сварочного тока и малый диаметр электрода;
4) эти стали не сваривают.

Глава 11

СВАРКА ЧУГУНА

11.1. Классификация чугунов

Чугуном называют сплавы железа с углеродом, в которых содержание углерода превышает 2%. Широко применяемые марки чугунов обычно содержат 2,5–4% углерода, 1–5% кремния, до 2% марганца, а также примеси фосфора и серы. В состав специальных чугунов входят легирующие добавки: ванадий, молибден, никель, титан, хром и др. Температура плавления чугунов зависит от их химического состава и примерно составляет 1200–1250 °С.

Структура чугуна зависит от скорости охлаждения и содержания в нем углерода и легирующих примесей. По структуре чугуны разделяют на белые и серые.

Белый чугун получил свое название от вида излома, который имеет белый или светло-серый цвет. Углерод в нем находится в химически связанном состоянии в виде цементита Fe_3C. Цементит хрупок и обладает высокой твердостью, поэтому белый чугун не поддается механической обработке, для изготовления изделий применяется редко и сварке не подлежит.

Из белого чугуна путем специальной термической обработки (длительная выдержка при температуре 1000 °С) получают *ковкий чугун*. По механическим свойствам он пластичнее белого чугуна. Название «ковкий» – условное, чугуны не используют в виде поковок, они практически не куются.

Высокопрочные чугуны получают добавлением в сплав некоторых легирующих элементов (магния, церия и др.). *Серый чугун* содержит в своем составе почти весь углерод в виде графита, поэтому излом его имеет серебристо-серый цвет. Серый чугун хорошо обрабатывается режущим инструментом, поэтому он широко применяется как кон-

струкционный материал. Серый чугун дешевле стали, отличается хорошими литейными свойствами, высокой износостойкостью, способностью гасить вибрации, хорошей обрабатываемостью. Отрицательными его свойствами являются пониженная прочность и высокая хрупкость.

Чугун маркируют по буквенно-цифровой системе: первые буквы (С, К и В) обозначают серый, ковкий и высокопрочный чугун соответственно; вторая буква (Ч) обозначает чугун. В сером чугуне две цифры указывают на временное сопротивление. Например, в марке СЧ10 буквы СЧ обозначают серый чугун; 10 – временное сопротивление. В обозначениях ковкого и высокопрочного чугунов после буквенной маркировки (КЧ и ВЧ) первые две цифры также обозначают временное сопротивление, а вторые две – относительное удлинение, например КЧ 35-10 (ковкий чугун с временным сопротивлением не менее 350 МПа и относительным удлинением не менее 10%).

11.2. Свариваемость чугуна

Чугун относится к материалам, обладающим плохой технологической свариваемостью. Основные трудности при сварке обусловлены высокой склонностью его к *отбеливанию*, т.е. появлению участков с выделениями цементита, а также образованию трещин в шве и околошовной зоне. Кроме того, чугун имеет низкую по сравнению со сталью температуру плавления (1200–1250 °С) и быстро переходит из жидкого состояния в твердое. Это вызывает образование пор в шве, поскольку интенсивное выделение газов из сварочной ванны продолжается и на стадии кристаллизации.

Повышенная жидкотекучесть чугуна затрудняет удержание расплавленного металла от вытекания и усложняет формирование шва. Вследствие окисления кремния на поверхности сварочной ванны возможно образование тугоплавких оксидов, что может привести к непроварам.

При выборе способа сварки чугуна необходимо учитывать следующие особенности:

- высокая его хрупкость при неравномерном нагреве и охлаждении может вызывать появление трещин в процессе сварки;

- ускоренное охлаждение приводит к образованию отбеленной прослойки в околошовной зоне и затрудняет его дальнейшую механическую обработку;
- сильное газообразование в жидкой ванне может вызывать пористость сварных швов;
- высокая жидкотекучесть чугуна обусловливает необходимость в ряде случаев подформовки.

Чугунные детали, работающие длительное время при высоких температурах, почти не поддаются сварке. Это происходит в результате того, что под действием высоких температур (300–400 °С и выше) углерод и кремний окисляются, и чугун становится очень хрупким. Чугун, содержащий окисленный углерод и кремний, называют *горелым*.

Плохо свариваются также чугунные детали, работающие длительное время в соприкосновении с маслом и керосином. Поверхность чугуна пропитывается маслом и керосином, которые при сварке сгорают и образуют газы, способствующие появлению сплошной пористости в сварном шве.

11.3. Способы сварки чугуна

Сварку чугуна применяют при ремонтно-восстановительных работах и для изготовления сварно-литых конструкций. Чугун сваривают преимущественно при устранении дефектов литья в чугунных отливках до и после механической обработки, а также при ремонте деталей.

К сварным соединениям чугунных деталей в зависимости от условий эксплуатации предъявляются различные требования – от декоративной заварки наружных дефектов до получения соединений, равнопрочных с основным металлом.

Чугун можно сваривать дуговой сваркой металлическим или угольным электродом, порошковой проволокой, газовой сваркой и другими способами.

Наиболее часто способы сварки чугуна классифицируют по состоянию свариваемой детали. В зависимости от температуры предварительного подогрева различают сварку с подогревом *(горячую сварку)* и без подогрева *(холодную сварку)*.

13. Зак. 717.

Горячую дуговую сварку чугуна применяют в случаях, когда металлом шва должен быть чугун, по своим свойствам приближающийся к свойствам основного металла детали.

Холодную дуговую сварку чугуна выполняют на обрабатываемых и обработанных поверхностях деталей, когда дефекты литья незначительны или средних размеров, когда они несквозные или сквозные, но небольшой протяженности и, наконец, когда наплавляемый металл не предусмотрен в виде чугуна. При холодной сварке свариваемые детали не подвергают предварительному нагреву.

Табл. 11.1. **Области применения различных способов дуговой сварки чугуна**

Способ сварки	Область применения	Характеристика наплавленного металла
Горячая ванная ручная чугунными электродами и механизированная порошковой проволокой	Различные дефекты крупных размеров на обрабатываемых, обработанных и ответственных необрабатываемых поверхностях	Хорошие обрабатываемость и плотность, макроструктура, твердость, прочностные показатели аналогичны основному металлу
Ручная электродами на медно-никелевой основе	Несквозные дефекты небольших и средних размеров на обработанных поверхностях. В отдельных случаях сквозные дефекты небольшой протяженности	Хорошие обрабатываемость, плотность и прочность
Ручная электродами на железо-никелевой основе	Различные дефекты небольших и средних размеров на поверхностях отливок и деталей	Хорошие обрабатываемость, плотность и прочность. Цвет совпадает с цветом основного металла
Ручная электродами на основе низкоуглеродистой стали со специальным покрытием	Несквозные дефекты небольших размеров на обработанных поверхностях	Твердость и цвет совпадают с твердостью и цветом основного металла
Ручная электродами на медно-стальной основе	Сквозные дефекты на необрабатываемых поверхностях отливок и стенках резервуаров	Высокие плотность и прочность. Обрабатываемость затруднена. Отличается по цвету
Холодная ручная стальными электродами	Несквозные дефекты на необрабатываемых поверхностях отливок	Высокая твердость, недостаточные плотность и прочность

Особенности применения различных способов дуговой сварки чугуна показаны в табл. 11.1. Выбор способа и технологии сварки зависит от требований к сварному соединению. При выборе технологии сварки учитывают необходимость подогрева металла, а также механической обработки металла шва и околошовной зоны после сварки.

11.4. Горячая сварка чугуна

Технологический процесс состоит из механической обработки под сварку, формовки свариваемых деталей, предварительного подогрева, сварки и последующего медленного охлаждения.

Подготовка под сварку дефектного места заключается в тщательной его очистке от загрязнений и в разделке свариваемых кромок.

При сварке сквозных трещин или заварке дефектов, находящихся на краю деталей, необходимо применять графитовые формы, предотвращающие вытекание жидкого металла из сварочной ванны. Формы изготавливают из графитовых пластинок, скрепляемых формовочной массой, которая состоит из кварцевого песка, замешанного на жидком стекле. Кроме того, формы можно скреплять в опоках формовочными материалами, применяемыми в литейном производстве (рис. 11.1). Схема изготовления форм показана на рис. 11.2.

Детали и чугунные отливки нагревают до температуры 300–700 °С (в зависимости от формы детали, дефекта, способа сварки). Сварку выполняют чугунными электродами или порошковой прово-

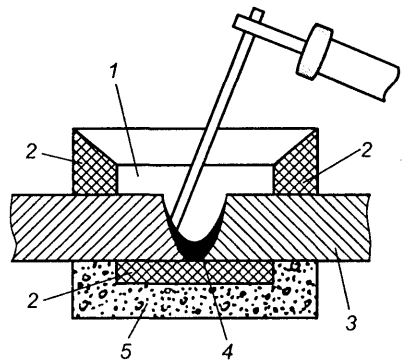


Рис. 11.1. Горячая сварка чугуна:
1 – опока; *2* – угольные пластины; *3* – изделие; *4* – ванна расплавленного металла; *5* – формовочная масса

локой с присадкой керамического стержня. Подогрев необходим для того, чтобы после сварки происходило равномерное охлаждение всего изделия и не образовывались трещины.

Детали нагревают в специальных печах или с помощью индукционных нагревателей. Для ручной дуговой сварки используют плавящиеся электроды марок ЦЧ-4, ЭВЧ-1, МНЧ-2, ОЗЧ-2 и др.

Горячую сварку чугуна выполняют на большой силе сварочного тока без перерывов до конца заварки дефекта при большой сварочной ванне. Так, для сварки электродом диаметром 8 мм требуется ток 600 А, а диаметром 12 мм – ток 1000 А. Используют электрододержатели, имеющие защиту руки сварщика от теплового излучения (рис. 11.3).

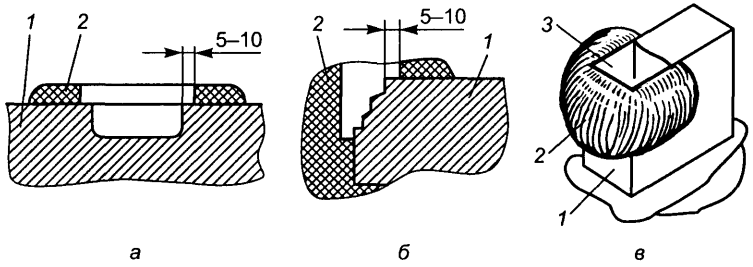


Рис. 11.2. Схема изготовления форм при дуговой сварке с предварительным нагревом:
а – в случае несквозной раковины; *б* – при краевом дефекте; *в* – общий вид формы; *1* – деталь; *2* – формовочная смесь; *3* – отглаженная внутренняя поверхность формы

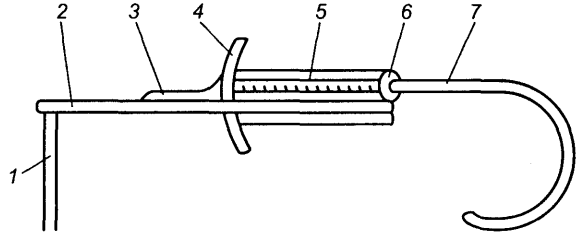


Рис. 11.3. Электрододержатель для сварки с предварительным нагревом:
1 – электрод; *2* – стальной стержень диаметром 12 мм; *3* – место приварки сварочного кабеля к стержню; *4* – щиток; *5* – рукоятка; *6* – кольцо; *7* – сварочный кабель

Сварка угольным электродом ведется постоянным током прямой полярности: для электродов диаметром 8–20 мм используются соответственно токи 280–600 А. Применяют преобразователи ПСМ-1000, выпрямители ВАМ-1601, трансформаторы ТДФ-1601.

Во время сварки следует непрерывно поддерживать значительный объем расплавленного металла в сварочной ванне и тщательно перемешивать его концом электрода или присадочного стержня. Для медленного охлаждения заваренные детали засыпают мелким древесным углем или сухим песком. Остывание массивных деталей может длиться 3–5 сут.

Основными недостатками горячей сварки чугуна являются большая трудоемкость процесса и тяжелые условия труда сварщиков.

11.5. Холодная сварка чугуна

Сварка чугуна без подогрева изделия применяется шире, чем с подогревом. Подготовка поверхности дефектов к заварке заключается в сверлении, зачистке, фрезеровании и т.д. до получения чистой поверхности основного металла.

Разделку краевых дефектов осуществляют таким образом, чтобы предупредить сколы при механической обработке (рис. 11.4).

При сварке без предварительного нагрева дефекты, расположенные друг от друга на расстоянии более чем 20 мм, вырубают или высверливают порознь, при более близком расположении – производят сплошную вырубку дефектного участка. Разделка кромок зависит от толщины детали (рис. 11.5). При глубине дефекта 5–7 мм вырубают фаску с углом раскрытия 70–80° (рис. 11.5, *а*). В местах, доступных для сварки с двух сторон, производят Х-образную разделку кромок (рис. 11.5, *б*, *в*). Зазор *b* составляет 0–3 мм, притупление *c* – 0–3 мм.

Рис. 11.4. Схемы разделки краевых дефектов:
а – правильно; *б* – неправильно

Если концы трещины не выходят на поверхность детали, то в местах окончания трещины сверлят отверстия и участок видимой части трещины вырубают (вышлифовывают) или разделывают воздушно-дуговой резкой (рис. 11.5, *г*).

По концам несквозной трещины просверливают отверстия глубиной 2–4 мм, а по концам сквозной трещины – на всю глубину сверлом диаметром 6–10 мм.

Наплавку ведут через центр разделки, а затем наплавляют валики на правой и левой ее частях.

Трещины, сколы разделывают (V-образная разделка кромок) для односторонней сварки.

На практике используют несколько разновидностей холодной сварки: стальными, медно-железными, медно-никелевыми, железо-никелевыми, никелевыми и другими электродами.

Сварное соединение, полученное холодной сваркой, неоднородно. Оно состоит из наплавленного металла, зон сплавления и термического влияния. Размер зоны сплавления зависит от диаметра электрода (3–6 мм – по размеру завариваемого дефекта).

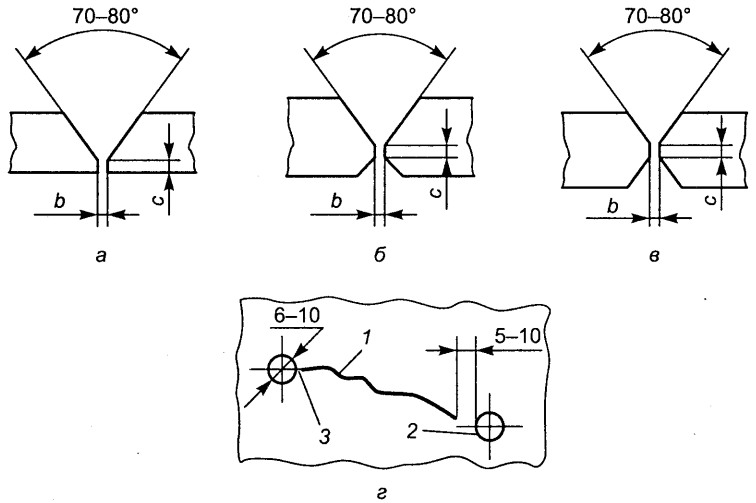


Рис. 11.5. Схемы разделки трещин:
а – односторонняя; *б* – при толщине стенки до 20 мм; *в* – при толщине стенки свыше 30 мм; *г* – вид трещины; *1* – трещина; *2* – ограничительные отверстия; *3* – контрольная перемычка

Применяя медно-никелевые (марки МНЧ-2) и медно-стальные (марки ОЗЧ-2) электроды, получают наплавленный металл, легко поддающийся механической обработке. Наплавку образуют однослойной или многослойной укладкой валиков.

Для сварки чугуна наиболее часто используют электроды марок МНЧ-1, МНЧ-2, ЦЧ-4, ОЗЖН-1 и др.

Стальные электроды марки ЦЧ-4 (на основе проволоки из низкоуглеродистой стали с карбидообразующим покрытием) применяют при ремонте неответственных чугунных изделий небольших размеров с малым объемом наплавки, не требующих после сварки механической обработки.

Сварку стальными электродами с защитно-легирующими покрытиями выполняют с V- или X-образной разделкой кромок. Для устранения неравномерного разогрева детали сваривают отдельными участками вразбивку. Длина этих участков сварного шва не должна превышать 100–120 мм. После сварки участкам дают возможность остыть до температуры 60–80 °С. Наилучшие результаты получают при сварке электродами с покрытием марки УОНИ-13/45 постоянным током обратной полярности.

Медно-железные электроды применяют для заварки отдельных дефектов или небольших несплошностей, создающих течи на отливках ответственного назначения, в том числе и работающих под давлением. Наиболее совершенные из них – электроды марки ОЗ4-2, представляющие собой медный стержень диаметром 4–5 мм, на который нанесено покрытие, состоящее из смеси электродной обмазки марки УОНИ-13/45 (50%) и жидкого стекла. При сварке не следует допускать сильного разогрева свариваемых деталей. После сварки легким молотком выполняют проковку наплавленного металла в горячем состоянии. Она уменьшает сварочные напряжения и снижает опасность образования трещин в околошовной зоне. В результате наплавленный металл приобретает высокую пластичность и удовлетворительно обрабатывается.

Медно-никелевые электроды применяют главным образом для заварки литейных дефектов, обнаруживаемых в процессе механической обработки чугунного литья на рабочих поверхностях, где местное повышение твердости недопустимо. В промышленности используются электроды марки МНЧ-1 со стержнем из монель-металла и марки МНЧ-2 со стержнем из константана. Сварку выполняют электродами диаметром 1–4 мм ниточным швом короткими участками. При этом не следует допускать перегрева детали, для чего рекомендуются перерывы в работе для охлаждения шва. Наплавленные валики в горячем состоянии следует тщательно проковывать ударами легкого молотка. Положительные свойства электродов заключаются в том, что никель и медь не растворяют углерод и не образуют структур, имеющих высокую твердость после нагрева и быстрого охлаждения. Наплавленный металл обладает низкой твердостью, хорошо обрабатывается.

Железо-никелевые электроды марки ОЗЖН-1 используют для заварки отдельных небольших дефектов на обрабатываемых поверхностях отливок ответственного назначения из серого и высокопрочного чугуна. Наплавленный металл имеет высокую прочность и плотность, хорошо обрабатывается.

Никелевые электроды марки ОЗЧ-3 применяют для исправления небольших дефектов в ответственных изделиях. Электродами марки ОЗЧ-4 наплавляют последний слой на поверхности, работающей на трение.

Способ сварки чугуна с помощью шпилек применяется для восстановления ответственных изделий, работающих при значительных нагрузках и не требующих обработки после сварки. Сварка комбинируется с механическим усилением зоны сплавления путем ввертывания в металл изделия стальных шпилек, которые связывают металл шва и основной металл, разгружая хрупкую закаленную прослойку в зоне сплавления (рис. 11.6).

Диаметр шпилек составляет 5–16 мм. Максимальное их количество по площади не должно превышать 25% площади излома детали. Высота шпилек над поверхностью металла – не более 5–6 мм, глубина ввертывания – 1,5 диаметра шпильки.

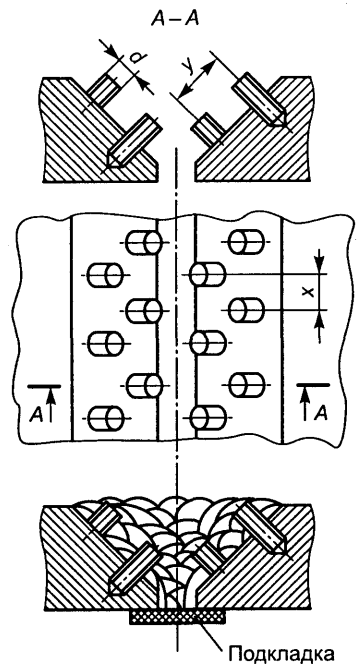


Рис. 11.6. Схема расположения шпилек и заварка места разделки: $x = 4d$; $y = 2d$ (d – диаметр шпильки, мм)

Для сварки используются электроды диаметром 3–4 мм любой марки, обеспечивающие мягкий наплавленный металл. Сварку ведут на малой силе сварочного тока (100–120 А) для обеспечения малой глубины проплавления чугуна и минимального нагрева изделия, что уменьшает отбеливание и предотвращает появление трещин.

Вначале кольцевыми швами обвариваются ввернутые шпильки. Обварку производят вразброс, чтобы получить более равномерный нагрев детали. Затем наплавляют отдельными валиками участки между обваренными шпильками. Длина каждого валика не должна превышать 100 мм. Второй слой валиков наносят перпендикулярно к направлению валиков первого слоя. После наплавки кромок заваривают разделку трещины. Для ускорения завар-

14. Зак. 717.

ки трещины вводят дополнительные металлические связи (в виде прутков). Сварка с применением шпилек может выполняться в любом пространственном положении.

Тестовые задания

1. Чугуны имеют температуру плавления:

1) 660 °С;
2) 1000–1100 °С;
3) 1200–1250 °С;
4) 1539 °С.

2. Технологическая свариваемость чугуна:

1) хорошая;
2) плохая;
3) удовлетворительная;
4) ограниченная.

3. Свариваемость чугуна затрудняет его:

1) низкая жидкотекучесть;
2) высокая жидкотекучесть;
3) низкая теплопроводность;
4) высокая теплопроводность.

4. Свариваемость чугуна ограничивает его:

1) низкая прочность;
2) высокая хрупкость;
3) низкая теплопроводность;
4) высокая теплопроводность.

5. Для сварки чугуна используют пространственное положение:

1) нижнее;
2) вертикальное;
3) потолочное;
4) горизонтальное.

6. При сварке чугуна часто образуются дефекты:

1) подрезы и несплавления;
2) непровары;
3) шлаковые включения;
4) поры и трещины.

7. Детали и чугунные отливки, подвергаемые горячей сварке, нагревают до температуры:

1) 30–70 °С;
2) 130–170 °С;
3) 300–700 °С;
4) 1000–1200 °С.

8. Детали и чугунные отливки, подвергаемые холодной сварке, нагревают до температуры:

1) 30–70 °С;
2) 130–170 °С;
3) 300–700 °С;
4) не нагревают.

9. Для сварки чугуна часто используют стальные электроды марки:

1) АНО-4; 2) ЦМ-7; 3) МР-3; 4) ЦЧ-4.

10. Сварку чугунных деталей со шпильками производят электродом диаметром 3–4 мм при силе сварочного тока:

1) 50–80 А;
2) 100–120 А;
3) 250–300 А;
4) 350–400 А.

Глава 12

СВАРКА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И ИХ СПЛАВОВ

12.1. Цветные металлы и сплавы

Алюминий. Температура плавления алюминия 658 °С, плотность 2700 кг/м^3. Алюминий и его сплавы обладают высокой прочностью, малой плотностью, хорошими антикоррозионными свойствами и подразделяются на деформируемые и литейные. Технически чистый алюминий выпускают марок АД00, АД0, АД1, АД (содержание примесей до 0,3; 0,5; 0,7 и 1,2% соответственно). Алюминиевые литейные сплавы маркируют, как правило, буквами АЛ и цифрами (номер марки), например: АЛ-2, АЛ-8. Маркировка деформируемых сплавов не упорядочена.

Наиболее широкое применение в сварных конструкциях получили алюминиево-магниевые сплавы АМг, АМг3, АМг5В, АМг6. Алюминиевые сплавы широко применяют в конструкциях, имеющих большие пролеты (мосты, ангары, спортивные сооружения), а также в самолетостроении, судостроении и др.

Дуралюмин – сплав алюминия с медью, магнием, марганцем и некоторыми другими элементами. После закалки и старения дуралюмины приобретают значительную твердость, увеличивается их прочность. При высокой прочности и невысокой плотности дуралюмины являются хорошими конструкционными материалами и широко применяются в технике. Они относятся к деформируемым алюминиевым сплавам. Из них изготавливают прутки, трубы, листы, проволоку методами обработки давлением.

Титан. Температура плавления титана 1668 °С, плотность 4500 кг/м^3. Титановые сплавы обладают высокими механическими свойствами, малой плотностью, теплоустойчивостью, коррозионной стойкостью. Для изготовления сварных конструкций и изделий применяют титановые сплавы ОТ-4, ОТ-4-1, ВТ-5, ВТ-5-1, ВТ-6 и др. Титан и его сплавы используют в химическом машиностроении, в самолетостроении и других отраслях техники.

Медь. Температура плавления меди 1063 °С, плотность 8900 кг/м^3. В сварных конструкциях применяют медь нескольких марок. Она обладает высокой электропроводностью, теплопроводностью, коррозионной стойкостью, а также хорошо обрабатывается давлением. Медь нечувствительна к низким температурам, для нее характерно сохранение высокой пластичности.

Бронзы – сплавы меди с оловом и другими элементами в основном металле, кроме цинка. Основные группы бронз различают по главному (кроме меди) компоненту сплава: оловянные, марганцевые, алюминиевые и др. Они обладают высокими антикоррозионными, механическими, антифрикционными свойствами, хорошим сопротивлением изнашиванию и т.п. Современные бронзы, например кремнемарганцевая, свинцовоникелевая, алюминиевожелезомарганцевая и другие, содержат, как правило, несколько легирующих компонентов.

Среди других медных сплавов в сварных конструкциях широко используют хромистую бронзу БрХ0,5, марганцевую бронзу БрМц5 и др. Медь также используют в сварных соединениях со сталью.

Марки деформируемых бронз состоят из букв Бр, начальных букв русских названий легирующих элементов и ряда чисел, указывающих содержание этих элементов в процентах. Например, марка БрАЖМц10-3-1,5 означает, что бронза содержит 10% Al, 3% Fe и 1,5% Mn. Литейную бронзу маркируют так: цифра, указывающая содержание элемента, стоит после соответствующей буквы в марке, например БрА11Ж6Н6. В конце некоторых марок литейных бронз имеется буква Л – литейная, если из бронзы этой же марки делают и прокат.

Латуни – сплавы меди, в которых преобладающим легирующим элементом является цинк. Латуни по химическому составу разделяют на простые (состоящие из двух элементов – меди и цинка) и специальные (содержащие кроме меди и цинка другие легирующие элементы: свинец, олово, железо, марганец, алюминий и другие, улучшающие механические характеристики и придающие латуни особые свойства).

По технологическому назначению латуни бывают литейные и деформируемые. Механические свойства литейных латуней зависят от способа литья. Механические свойства латуней, полученных обработкой давлением в виде полос, листов, лент, прутков, зависят от состояния материала в период обработки.

Марки деформируемых латуней состоят из буквы Л, начальных букв русских названий легирующих элементов, кроме цинка, и ряда чисел. Первое число – содержание меди, затем содержание легирующих элементов, перечисленных в марке, в процентах, остальное – цинк. Например: Л90 – латунь с 90% Cu, остальное – цинк; ЛАЖ60-1-1 – латунь с 60% Cu, 1% Al, 1% Fe, остальное – цинк. Литейные латуни маркируют следующим образом: после буквы Л ставятся обозначения легирующих элементов, начиная с цинка, и сразу же указывается содержание элементов в процентах. При этом единица не ставится. Например, ЛЦ40Мц3Ж – это латунь с 40% Zn, 3% Mn, 1% Fe, остальное – медь.

Медно-никелевые сплавы маркируют так же, как и деформируемые бронзы, но с буквой М в начале марки. Например, МНЖМц30-1-1 – сплав, содержащий 30% Ni, 1% Fe, 1% Mn, остальное – медь.

Условное обозначение легирующих элементов в медных сплавах следующее: А – алюминий; Мц – марганец; Су – сурьма; Б – бериллий; Мш – мышьяк; Т – титан; Ж – железо; Н – никель; Ф – фосфор; К – кремний; О – олово; Х – хром; Кд – кадмий; С – свинец; Ц – цинк; Мг – магний; Ср – серебро; Рз – редкоземельные.

12.2. Особенности сварки цветных металлов

Ручная дуговая сварка некоторых цветных металлов (алюминия, меди, никеля и сплавов на их основе) может выполняться покрытыми (штучными) электродами.

Титан и его сплавы ручной дуговой сваркой покрытыми электродами не сваривают из-за интенсивной окисляемости, поэтому для соединения титана используют дуговую сварку в среде инертных газов.

Магний и его сплавы при высокой температуре сильно окисляются, поэтому сварку магния металлическими электродами с покрытием используют редко, только для малоответственных изделий. Для соединения магния обычно используют дуговую сварку в среде инертных газов.

Для сварки цветных металлов используют специальные покрытые электроды. Назначение веществ, входящих в покрытие электродов, – стабилизировать дугу, создать достаточно надежную шлаковую и газовую защиту сварочной ванны от воздействия воздуха, при необходимости раскислять и легировать металл шва. Образующиеся в процессе сварки шлаки должны обеспечивать хорошее формирование шва и достаточно легкое отделение его от поверхности. Длина электрода при диаметре 1,6–3,0 мм составляет 225–300 мм, при диаметре 4–6 мм – 350–450 мм.

Помимо хороших технологических свойств покрытые электроды должны обеспечивать получение металла шва с необходимыми составом, структурой и механическими свойствами при отсутствии дефектов (пор, трещин, шлаковых включений и др.). Состав и качество металла шва определяются как составом стержня электродов, так и композицией покрытия. Легирование металла шва при сварке сплавов цветных металлов осуществляется в основном подбором соответствующего химического состава стержня. Однако в ряде случаев для восполнения угара отдельных элементов (например, магния) применяют легирующие покрытия.

12.3. Сварка алюминия и его сплавов

Особенности сварки алюминия. При сварке алюминия и его сплавов возникают следующие затруднения: на поверхности расплавленного металла постоянно образуется тугоплавкая пленка оксида алюминия Al_2O_3, препятствующая сплавлению между собой частиц металла; высокая температура плавления оксида алюминия (2050 °С) и низкая температура плавления алюминия осложняют управление процессом сварки. Вследствие этого подготовка деталей из алюминия под сварку и их сварка требуют применения специальных технологических приемов. Алюминий и его сплавы соединяют дуговой, аргонодуговой и газовой сваркой.

Подготовка металла к сварке. Независимо от способа сварки алюминиевые изделия перед сваркой должны подвергаться специальной обработке, заключающейся в обезжиривании металла и удалении с его поверхности пленки оксида алюминия. Такой же обработке необходимо подвергать присадочную проволоку и электродные стержни перед нанесением на них покрытия.

Поверхность металла на ширине 80–100 мм от кромки обезжиривают растворителями (авиационным бензином, техническим ацетоном), затем механической зачисткой или химическим травлением удаляют оксидную пленку.

Химический способ удаления пленки оксидов включает следующие операции: травление в течение 0,5–1 мин (состав: 50 г раствора едкого натра и 40 г фторида натрия на 1 л воды); промывку в проточной воде; осветление в течение 1–2 мин в 30%-м растворе азотной кислоты для алюминия и сплавов типа АМц или 25%-м растворе ортофосфорной кислоты для сплавов типа АМг; промывку в проточной, а затем горячей воде; сушку до полного удаления влаги. Обезжиривание и травление рекомендуется выполнять не более чем за 2–4 ч до сварки.

Технология и техника ручной сварки алюминия угольным электродом. Ручную сварку угольным электродом постоянным током на прямой полярности используют только для неответственных изделий. Сварку металла толщиной до 2 мм ведут без присадки и без разделки кромок, металл толщиной свыше 2 мм сваривают с зазором 0,5–0,7 толщины свариваемых листов или с разделкой кромок. Оксидную пленку удаляют с помощью флюсов АФ-4А.

Пластины собирают встык на подкладке, на кромки наносят кисточкой тонкий слой пасты из флюса, а затем соединение сваривают обычно в два прохода: при первом проходе выполняется прогрев кромок, а при втором – сварка.

Первый проход должен быть выполнен медленным перемещением электрода от середины шва к краям. При этом скорость перемещения должна быть такой, чтобы кромки не расплавлялись, но были на грани расплавления, что контролируется появлением отдельных капель жидкого металла, т.е. небольших очагов расплавления. Подогрев таким образом кромки металла, можно перейти к сварке.

Присадочный пруток, находящийся в левой руке, нужно перемещать вслед за угольным электродом на расстоянии 5–10 мм. При этом его ось должна располагаться вдоль шва и под углом 35–40° к плоскости пластины (рис. 12.1). Плавление прутка достигается погружением его в сварочную ванну (не допускается плавление прутка каплями, так как будет происходить сильное окисление металла в капле). Угольным электродом при сварке необходимо совершать петлеобразные колебательные движения. Это позволяет перемещать к концу шва плавающие на поверхности сварочной ванны шлаки и остатки нерастворенных пленок оксидов.

После сварки следует тщательно удалить с поверхности шва и околошовной зоны продукты реакции и остатки флюса.

Технология и техника ручной сварки алюминия покрытыми электродами. Ручную сварку покрытыми электродами применяют в основном при изготовлении малонагруженных конструкций из технического алюминия, сплавов типа АМц и АМг, силумина. Использование постоянного тока обратной полярности и предварительного подогрева (для металла средней толщины – 250–300 °С, для металла большой толщины – до 400 °С) обеспечивает требуемое проплавление при правильно выбранной силе сварочного тока.

При толщине свариваемых элементов 6–10 мм используют разделку с общим углом раскрытия 70° и притуплением до 2 мм, сварку выполняют за один-два подхода.

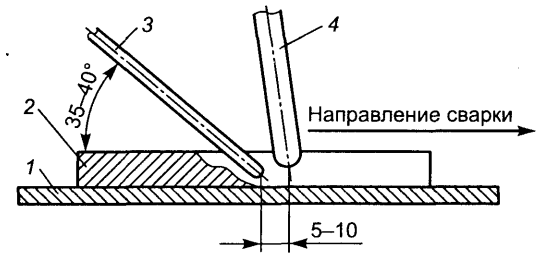


Рис. 12.1. Схема расположения угольного электрода и присадочного прутка при сварке алюминия:
1 – подкладная пластина; *2* – свариваемое изделие; *3* – присадочный пруток; *4* – угольный электрод

В связи с тем что алюминиевый электрод плавится в 2–3 раза быстрее стального, скорость сварки алюминия должна быть соответственно выше. Сварку нужно выполнять непрерывно одним электродом, так как пленка шлака на кратере и конце электрода препятствует повторному зажиганию дуги. Для обеспечения устойчивого процесса при минимальных потерях на разбрызгивание рекомендуется принимать сварочный ток из расчета не более 60 А на 1 мм диаметра электрода. Перед сваркой электроды просушивают при температуре 150–200 °С в течение 2 ч.

Покрытия электродов для сварки алюминия и его сплавов состоят из хлористых и фтористых солей щелочных и щелочноземельных металлов, которые при сварке удаляют оксидную пленку. Покрытия делятся на две группы – безлитиевые и литиевые. Безлитиевые покрытия просты по составу, менее гигроскопичны. Литиевые покрытия более дорогие и очень гигроскопичны. Их рекомендуется применять для металла малых толщин, в основном для алюминиевых сплавов, так как при сварке технического алюминия они не всегда обеспечивают получение швов без пористости.

Для сварки алюминия и его сплавов используют покрытия электродов следующих марок: ЭА-1, ЭФ-11Ф1 (технический алюминий); ВАМИ, А1 (сплавы типа АМг и АМц); МАТИ-1, МАТИ-2 (литейные сплавы Ал4, Ал5); МВТУ (сплавы типа АМц); АФ-1 (сплавы типа АМг, АМц); А1, А1Ф (сплавы типа АМц, силумин).

Для сварки алюминия используют электроды марок ОЗА-1 и ОЗА-2. Электроды марки ОЗА-1 со стержнем из проволоки Св-А1 применяют при сварке изделий из технического алюминия. Электроды марки ОЗА-2 со стержнем из сплава Св-АК5 предназначены для сварки, наплавки, а также заварки брака литья на литых сплавах типа Ал (Ал2, Ал4, Ал5, Ал9 и Ал11).

Покрытия электродов марок ОЗА-1 и ОЗА-2 выполнены на основе покрытия ЭА-1 с некоторой корректировкой его состава. В покрытие ЭА-1 входят: хлористый натрий (30%), хлористый калий (40%), криолит (30%).

Толщина покрытия, например, для электродов диаметром 4 мм составляет 1,0–1,1 мм, а для электродов диаметром 8 мм – 1,4–1,6 мм.

При хранении электроды могут увлажняться, поэтому перед сваркой их необходимо просушивать при температуре 70–100 °С.

Сварка алюминиевыми электродами выполняется постоянным током обратной полярности. Режимы сварки указаны в табл. 12.1.

Табл. 12.1. **Ориентировочные режимы ручной дуговой сварки алюминия и его сплавов**

Толщина металла, мм	Диаметр электрода, мм	Сварочный ток, А	Напряжение, В	Ширина шва, мм
6	5	280–300	30–34	10
8	6	300–320	30–34	14
10	6–7	320–380	30–34	16
12	8	350–450	32–36	20
14	8	400–450	32–36	22
16	8	400–450	32–36	24
18	8–10	450–500	32–36	26
20	8–10	500–550	32–36	28

Примечание. Сварка производится на поддерживающих подкладках. При толщине до 14 мм шов сваривают в один-два слоя, выше 14 мм – в два-три слоя.

Разработаны новые электроды марки ОЗАНА, которые по технологическим характеристикам существенно превосходят электроды серии ОЗА. При их использовании обеспечиваются мелкокапельный перенос электродного металла, хорошее формирование шва в любых пространственных положениях, легкая отделяемость шлаковой корки.

Технология и техника ручной аргонодуговой сварки алюминия неплавящимся вольфрамовым электродом. Ручную аргонодуговую сварку неплавящимся вольфрамовым электродом выполняют переменном током в аргоне высшего или первого сорта. Для металла толщиной до 5–6 мм используют электроды диаметром 1,5–5 мм.

Присадочной проволокой и прутками марок АК, АМц и другими сваривают деформируемые сплавы.

Диаметр присадочной проволоки при ручной сварке равен 1–2; 2–4 и 4–6 мм для свариваемых толщин до 2; 2–5 и 5–10 мм соответственно.

Особые требования предъявляются к технике сварки. Угол между присадочной проволокой и электродом должен составлять примерно 90°. Присадочную проволоку следует подавать короткими возвратно-поступательными движениями. Недопустимы поперечные колебания вольфрамового электрода. Длина дуги обычно не превышает 1,5–2,5 мм. Обеспечение эффективной защиты дуги и сварочной ванны для каждого режима сварки достигается оптимальным расходом газа. Для уменьшения опасности окисления размеры сварочной ванны должны быть минимальными. Сварку металла толщиной до 10 мм обычно ведут справа налево, так называемым «левым» способом, который позволяет снизить перегрев свариваемого металла.

12.4. Сварка меди и ее сплавов

Особенности сварки меди. Сварка меди затрудняется ее высокой теплопроводностью (в 6 раз выше, чем железа), большой жидкотекучестью, способностью сильно окисляться в нагретом и особенно в расплавленном состоянии. На свариваемость меди оказывают большое влияние примеси, входящие в ее состав (кислород, свинец, сера, фосфор, сурьма, мышьяк, висмут).

Медь в расплавленном состоянии сильно поглощает водород. При кристаллизации металла сварочной ванны с большой скоростью ввиду высокой теплопроводности меди и резкого снижения растворимости водорода в металле атомарный водород не успевает покинуть металл. В результате оксид меди восстанавливается водородом с образованием паров воды:

$$Cu_2O + 2H \rightarrow 2Cu + H_2O,$$

что приводит к появлению в шве пор и трещин.

В околошовной зоне диффузионно-подвижный водород взаимодействует с оксидом меди Cu_2O, который располагается по границам зерен. Образующиеся пары воды не растворяются в меди и не могут из нее выйти, в результате чего в металле создаются значительные напряжения, приводящие к образованию большого числа микротре-

щин. Это явление получило название *водородной болезни меди.* Для того чтобы ее предупредить, следует снижать количество водорода в зоне сварки. Для этого перед сваркой производят прокалку электродов.

Сварку меди выполняют по зачищенным до металлического блеска кромкам.

Технология и техника ручной дуговой сварки меди угольным электродом. Ручная сварка угольным электродом применяется преимущественно для малоответственных изделий. Угольные электроды целесообразно использовать при толщине меди до 15 мм. При большой толщине лучшие результаты получают, применяя *графитовые электроды.* Сварку выполняют электродами, заточенными на конус (на 1/3 его длины) постоянным током прямой полярности. Плотность тока на электроде обычно составляет 200–400 А/см^2.

Сварку угольным электродом ведут длинной дугой во избежание вредного влияния на сварочную ванну выделяющегося оксида углерода (CO). С этой же целью, а также в связи с возможностью охлаждения ванны присадочный материал не погружают в ванну, а держат под углом примерно 30° к изделию на расстоянии 5–6 мм от поверхности ванны. Электрод располагают под углом 75–90° к свариваемому изделию. Углекислый газ, выделяющийся в процессе сварки, недостаточно защищает расплавленный металл от окисления, поэтому применяют присадочный материал с раскислителем – фосфором, а также флюс (94–96% прокаленной буры, 6–4% металлического магния). Флюс наносят на смоченную жидким стеклом поверхность прутка или на свариваемые кромки в виде пудры и просушивают на воздухе.

Детали из меди толщиной менее 3 мм сваривают по отбортовке угольной дугой. При большой толщине соединений также можно применять дуговую сварку угольным электродом, однако при этом используют присадочный материал в виде прутков из меди марки М1, кремнистой или фосфористой бронзы (содержание олова 4–10%). Свариваемую поверхность покрывают флюсом в виде порошка, в состав которого входят бура, борная кислота и борный ангидрид. Сварка меди возможна электродами с обмазкой из буры, борной кислоты и борного ангидрида.

При толщине металла свыше 5 мм стыковое соединение сваривают с разделкой кромок под углом 70–90°. Сварку ведут на графитовой или асбестовой подкладке с зазором между свариваемыми кромками не более 0,5 мм. Электрод наклоняют углом вперед на 10–20° к вертикали. После сварки рекомендуется проковка швов.

Соединение из металла толщиной до 5 мм проковывают без подогрева, при большей толщине – с подогревом до 800 °С и последующим быстрым охлаждением. Стыковые швы рекомендуется сваривать в один слой с одной стороны во избежание снижения механических свойств.

Технология и техника ручной дуговой сварки меди покрытыми электродами. Ручную сварку покрытыми электродами выполняют постоянным током обратной полярности короткой дугой без поперечных колебаний. Лучшее формирование шва обеспечивает возвратно-поступательное движение электрода. Удлинение дуги ухудшает формирование шва, увеличивает разбрызгивание электродного металла, снижает механические свойства сварных соединений.

Медь толщиной до 4 мм сваривают без разделки кромок и подогрева. При толщине металла 5–10 мм необходимы предварительный подогрев до температуры 250–300 °С и односторонняя разделка кромок с углом 60–70° и притуплением кромок 1,5–3 мм. При большой толщине металла рекомендуется Х-образная разделка.

Для сварки меди наибольшее распространение получили электроды марки «Комсомолец-100», в которых в качестве стержня используется медная проволока М1 и М2.

Разработаны высокопроизводительные электроды марок АНЦ-1 и АНЦ-2, обеспечивающие сварку без подогрева меди толщиной до 15 мм или с невысоким (250–400 °С) подогревом для металла большой толщины.

Для сварки конструкций из меди и хромистой бронзы средних и больших толщин (5–20 мм) распространение получили электроды марок АНЦ-1, АНЦ-3 и АНЦ-3М диаметрами 4, 5 и 6 мм соответственно.

Сварку электродами марок АНЦ, «Комсомолец-100» и ЗТ выполняют постоянным током обратной полярности.

Технология и техника ручной аргонодуговой сварки меди вольфрамовым электродом. Ручную аргонодуговую сварку выполняют вольфрамовым электродом постоянным током прямой полярности в аргоне высокой чистоты. Металл толщиной более 4 мм сваривают с предварительным подогревом до 800 °С. В качестве присадки используют прутки из меди, медно-никелевого сплава (МНЖКТ-5-1-0,2-0,02), бронзы (БрКМцЗ-1, БрОЦ4-3) и др.

Для металла толщиной свыше 5 мм применяют V- или Х-образную разделку кромок с углом раскрытия 60–70°. Сварку ведут обычно справа налево «углом вперед» при наклоне электрода по отношению к изделию 80–90°, угол наклона присадочной проволоки 10–15°, вылет электрода 5–7 мм. Высокую производительность обеспечивает ручная гелиево-дуговая сварка меди, выполняемая на форсированных режимах (700–900 А).

Учитывая, что медь обладает неудовлетворительными литейными свойствами, особое внимание уделяют правильному выбору присадочного материала. Он должен представлять собой сплав меди, содержащий раскислители (фосфор, олово, цинк и др.).

Сварка латуни. Для дуговой сварки латуни применяют электроды типа ЗТ. Сварка ведется постоянным током обратной полярности короткой дугой. После сварки шов проковывают, а затем отжигают при температуре 600–650 °С для выравнивания его химического состава и придания зерну мелкозернистой структуры. Латунь можно сваривать угольной дугой, а также вольфрамовым электродом в среде инертных газов.

Затруднения при сварке латуни вызваны испаряемостью цинка, дым которого состоит из оксидов цинка и является ядовитым. Латунь следует сваривать в условиях хорошей вентиляции рабочего места. Рекомендуется использовать респираторы.

Для сварки латуни предназначены электроды марок ММЗ-2,1П, Бр.1/ЛИВТ, ЦБ-1, МН-4 и др. Электродами марки ММЗ-2 можно производить сварку переменным током, однако при этом (по сравнению со сваркой постоянным током) увеличивается разбрызгивание.

Сварка бронзы. По свариваемости бронзы значительно отличаются друг от друга, поэтому и технология

сварки бронз разнообразна. Химический состав присадочного материала должен быть близким к химическому составу свариваемого металла. Сварку выполняют постоянным током обратной полярности короткими участками.

Электроды марки Бр.1/ЛИВТ рекомендуются для сварки оловянных бронз, марки ЦБ-1 – для алюминиевых бронз, марки МН-4 – для медно-никелевых сплавов типа МН-5, МНЖ-5-1 и др.

При сварке стыковых швов электродами диаметром 5–6 мм рекомендуется применение односторонней разделки при суммарном угле скоса 80–90°, притуплении 1,5–2 мм и зазоре 2–3 мм. Необходим подогрев до температуры 100–200 °С. Опытные сварщики, применяя электроды диаметром 8–10 мм, выполняют сварку без подогрева. Для сварки используют постоянный ток.

Сварку меди с бронзой, например медных труб с бронзовыми фланцами, можно выполнять ручной дуговой сваркой электродами марок КМц3-1 или «Комсомолец-100».

12.5. Сварка никеля и его сплавов

Особенности сварки никеля. Температура плавления никеля 1450 °С, плотность 8850 кг/м^3. Никель и его сплавы обладают ценными свойствами: они коррозионно-стойкие, жаропрочные и жаростойкие. Кроме того, у них высокие механические характеристики. Никель сохраняет высокую прочность и пластические свойства при низких температурах.

При сварке никеля и его сплавов вредное влияние на качество сварного шва оказывает присутствие в металле или покрытии электродов серы и свинца. Сера активно соединяется с расплавленным никелем, образуя сульфид, который резко снижает пластичность никеля и его работоспособность при высоких температурах. Свинец также вызывает повышение хрупкости никеля и снижение его пластичности. Не допускается присутствие в никеле и его сплавах серы и свинца. Перед сваркой необходимо тщательно очищать поверхность металла механическим путем и обезжириванием.

Никель в расплавленном состоянии растворяет значительное количество газов (кислорода, азота, водорода), которые, выделяясь при кристаллизации, могут стать причиной пористости, поэтому необходима защита расплавляемого при сварке металла. Перед сваркой необходимо прокалить электрод и защищать шов поддувом защитного газа и другими способами.

Технология и техника ручной дуговой сварки никеля покрытыми электродами. Сварка никеля марки Н-1 производится электродами с покрытиями марок «Прогресс-50», Н-10, ЭНХД-10, ИМЕТ-10, ЭНХМ-100, ВИ-2-6 и др. Наиболее качественные швы обеспечивают электроды марки «Прогресс-50», имеющие покрытие основного типа. Стержни электродов изготавливают из никелевой проволоки марки Н-1. Эти электроды пригодны также для сварки никеля марок НП-1 и НП-2, а в качестве электродного стержня используют никелевую проволоку марки НП-1 или НП-2.

Электроды с обмазкой марки ЭХНД-10 предназначаются для сварки никелевохромистых сплавов, а с обмазкой марки ЭНХМ-100 – для нихрома и никельмолибденовых сплавов.

Для сварки сплавов типа ХН80ТБЮ, ХН80ТБЮА, ХН70ВМТЮ и ХН75МВТЮ используют электроды марок ИМЕТ и ВИ-2-6. Хорошие результаты при сварке медно-никелевых сплавов (например, типа МНЖ-5-1) дает применение электродов с покрытием ЗТ.

Для сварки никеля и его сплавов применяют новые электроды марок:

ОЗЛ-32 (никель НП-2, сплав НА-1; сварка плакирующего слоя биметалла сталь-никель);

В56У (НЖМц28-2,5-1,5; сварка плакирующего слоя Ст3сп – монель; наплавка коррозионно-стойкого слоя на малоуглеродистую сталь);

ОЗЛ-21 (ЭП-567, ЭП-814; сварка плакирующего слоя биметаллов из этих сплавов);

ОЗЛ-23 (ЭП-946, ЭП-814; сварка плакирующего слоя биметаллов из этих сплавов);

ОЗЛ-25, ОЗЛ-25Б, ОЗЛ-35 (сварка тонколистовых конструкций толщиной менее 6 мм и нагревательных элементов из сплавов типа ЭИ-435, ЭИ-652, ЭИ-747).

Для сварки никель-хромистых сплавов марок ХН78Т (ЭИ-435) и ХН77ТЮР используют также электроды марок ЦТ-28 и ЦЧМ-3.

Длина электрода в связи со значительным электрическим сопротивлением никеля не превышает 300 мм. Толщина слоя покрытия – 1,0–1,5 мм в зависимости от диаметра электрода.

Диаметр электрода $d_э$ для сварки никеля и его сплавов принимают в зависимости от толщины b свариваемого металла: $d_э = b/2 + 1$ мм. Обычно диаметр стержня электрода составляет 3–5 мм.

Силу сварочного тока снижают до $(20–35)d_э$ ввиду высокого электрического сопротивления никеля. Электрод располагают перпендикулярно к сварному соединению с небольшим наклоном (до 20°) в сторону сварки. Поперечные движения электрода должны быть небольшими. Вертикальные швы при толщине металла до 2,5–3 мм рекомендуется сваривать сверху вниз. Многослойные швы сваривают после охлаждения, тщательной очистки и обезжиривания каждого слоя перед наложением следующего. Полезна несильная проковка шва.

Сварка никеля и его сплавов электродами с указанными выше покрытиями производится постоянным током обратной полярности.

Технология и техника ручной аргонодуговой сварки никеля вольфрамовым электродом. Ручная аргонодуговая сварка никеля и его сплавов обеспечивает высокое качество сварных соединений. Сварку ведут постоянным током прямой полярности с использованием специализированных установок или источников питания постоянного тока, газовой аппаратуры и горелок для сварки в инертном газе. Применяют вольфрамовые электроды диаметром 1,5–3 мм марок ЭВЛ или ЭВИ.

Ручная сварка предпочтительна при небольшой толщине деталей. Без разделки сваривают металл толщиной 2–4 мм, при большей толщине производят разделку. Диаметр присадочной проволоки – 1–3 мм. При многопроходной сварке последующие слои шва следует накладывать после полного охлаждения металла, зачистки от шлака и обезжиривания предыдущих слоев. Силу тока

подбирают из расчета $(40–45)d_э$. Применяют аргон высшего сорта, а со стороны подкладки делают поддув аргоном первого сорта.

Тестовые задания

1. Свариваемость титана и его сплавов ручной дуговой сваркой покрытыми электродами:

1) ограниченная; 3) плохая;
2) хорошая; 4) не свариваются.

2. Температура плавления алюминия:

1) 1668 °С; 2) 1450 °С; 3) 658 °С; 4) 1083 °С.

3. Основная трудность при сварке алюминия:

1) малая плотность металла;
2) низкая температура плавления;
3) образование тугоплавкой оксидной пленки;
4) образование мартенсита в шве.

4. Температура плавления пленки оксида алюминия Al_2O_3:

1) 2050 °С; 2) 1539 °С; 3) 658 °С; 4) 1370 °С.

5. Для сварки алюминия используют покрытые электроды марки:

1) ОЗА-1; 2) МР-3; 3) АНЦ-1; 4) АНО-4.

6. Температура плавления меди:

1) 1668 °С; 2) 1450 °С; 3) 658 °С; 4) 1083 °С.

7. Основные трудности при сварке меди:

1) высокая теплопроводность и большая жидкотекучесть;
2) низкая температура плавления;
3) образование тугоплавкой оксидной пленки;
4) образование мартенсита в шве.

8. Образование большого числа микротрещин при сварке получило название водородной болезни меди, причиной которой является:

1) углекислый газ;
2) пары цинка;
3) пары воды;
4) азот.

9. Для сварки меди используют покрытые электроды марки:

1) ОЗА-1; 2) МР-3; 3) АНЦ-1; 4) АНО-4.

10. Сплав меди с цинком:

1) бронза;
2) латунь;
3) мельхиор;
4) баббит.

Глава 13

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ

13.1. Требования к источникам питания

В конструкциях различных источников питания сварочной дуги учитывают следующие особенности сварочного процесса:

- для зажигания дуги необходимо значительно большее напряжение, чем для горения;
- дуга горит с перерывами, во время которых электрическая цепь разрывается либо накоротко замыкается при зажигании и плавлении электрода;
- соотношение между током короткого замыкания и рабочим током меняется в пределах 1,25–2;
- после короткого замыкания время восстановления напряжения от 0 до 25 В не должно превышать нескольких сотых долей секунды.

Из перечисленных особенностей сварочного процесса следует, что не всякий источник электрического тока (постоянного и переменного) можно применять для сварки металлов.

Источники питания сварочной дуги подразделяют по назначению: для ручной дуговой сварки; для механизированной и автоматической сварки в среде защитных газов; для автоматической и механизированной сварки под флюсом.

В соответствии с требованиями техники безопасности при сварочных работах напряжение холостого хода источника сварочного тока не должно превышать 80 В для однопостовых и 60 В для многопостовых сварочных генераторов.

Для сварочных трансформаторов допустимо вторичное напряжение холостого хода до 70 В при сварочном токе свыше 200 А и не более 100 В при сварочном токе ниже 100 А.

После зажигания сварочной дуги напряжение холостого хода должно быстро уменьшиться до рабочего напря-

жения 18–30 В. Электрический ток короткого замыкания не должен превышать рабочий ток более чем на 40–50%.

Источник сварочного тока обеспечивает устойчивое горение дуги при изменении ее длины в пределах 3–5 мм. С увеличением длины дуги напряжение возрастает, с уменьшением – быстро снижается. Восстановление напряжения от 0 до 30 В должно происходить в течение 0,05 с.

Источник питания сварочной дуги должен иметь устройство для регулирования силы сварочного тока в пределах 30–130% номинальной силы сварочного тока.

Электрической характеристикой однопостового генератора называют зависимость между напряжением и силой сварочного тока (рис. 13.1). С увеличением силы сварочного тока уменьшается напряжение. Когда напряжение равно нулю, сила сварочного тока принимает наибольшее значение. Это явление имеет место при коротком замыкании в цепи. При нулевом значении силы сварочного тока напряжение будет максимальным. Эта электрическая характеристика соответствует холостому ходу генератора. На кривой точки r и r_1 иллюстрируют пределы изменения силы сварочного тока и напряжения при горении дуги.

Приведенная кривая зависимости напряжения на клеммах генератора от сварочного тока носит название ***внешней вольт-амперной характеристики*** источника питания сварочной дуги. Виды таких характеристик показаны на рис. 13.2. Для ручной дуговой сварки покрытыми электродами целесообразна крутопадающая вольт-амперная характеристика; для автоматической и механизированной сварки под флюсом – пологопадающая; для сварки в защитных газах – жесткая и возрастающая.

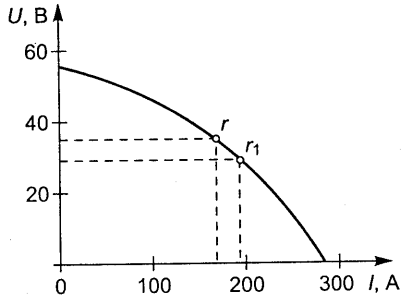


Рис. 13.1. Электрическая характеристика однопостового сварочного генератора

Сварочная дуга горит устойчиво, если напряжение дуги равно напряжению источника тока. Величина такого напряжения соответствует точкам пересечения A, B и C кривой статической вольт-амперной характеристики дуги и кривой внешней вольт-амперной характеристики источника питания (рис. 13.3).

Электрическая мощность сварочной дуги при ручной дуговой сварке 6–8 кВт.

Рассмотрим некоторые другие термины и определения, используемые для характеристики источников питания.

Динамической характеристикой источника питания называют время, которое необходимо для подъема напря-

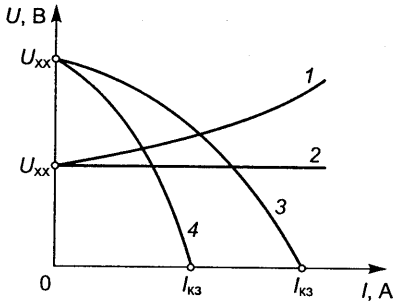


Рис. 13.2. Внешние вольт-амперные характеристики источников питания сварочной дуги:
1 – возрастающая; *2* – жесткая; *3* – пологопадающая; *4* – крутопадающая; U_{xx} – напряжение холостого хода; $I_{кз}$ – ток короткого замыкания

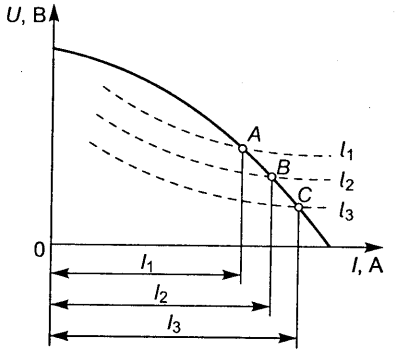


Рис. 13.3. Статические характеристики дуг длиной l_1, l_2 и l_3 и соответствующая им сила сварочного тока I_1, I_2, I_3

жения от нуля до напряжения повторного зажигания дуги (до 30 В). Это время не должно превышать 0,05 с. При его превышении не обеспечивается нормальный перенос электродного металла в сварочную ванну, увеличивается разбрызгивание металла и шлака при сварке и ухудшается качество сварки.

Короткое замыкание – состояние сварочной цепи, когда ее сопротивление уменьшается практически до нуля. При коротком замыкании источник питания работает на максимальном токе.

Напряжение холостого хода – напряжение на зажимах источника питания при разомкнутой сварочной цепи.

Рабочее напряжение источника питания – электрическое напряжение на зажимах источника питания при нормальной его работе.

Номинальные параметры – электрические и механические показатели, на которые рассчитывается та или иная машина или аппарат.

Номинальные величины – численные значения номинальных параметров, указанные на щитке машины или аппарата.

Номинальный режим – режим работы для данной электрической машины или аппарата.

К номинальным величинам, характеризующим работу источников питания дуги, в первую очередь относятся: номинальная сила сварочного тока и напряжение на зажимах, диапазон регулирования тока, напряжение холостого хода, КПД и коэффициент мощности.

Номинальная сила сварочного тока – это такое его значение, для которого предназначен данный источник питания. Расчетная величина номинальной силы сварочного тока определяется допустимым нагревом при сварке основных частей источника питания.

Зная номинальную силу сварочного тока $I_н$ и продолжительность работы источника питания $ПР_н$, указанную в его паспорте, можно определить силу сварочного тока, которая исключает перегрузку источника тока при работе (перегрев).

Оборудование для ручной и механизированной сварки изготавливают на номинальную силу сварочного тока до

500 А. Значения номинальной силы сварочного тока регламентированы стандартами.

Повторно-кратковременный режим (для электрической машины или аппарата) – номинальный режим, при котором кратковременные рабочие периоды чередуются с паузами, причем температура частей машины или аппарата в период включения не достигает установившегося значения, а в период паузы не успевает охладиться. Такой режим характеризуется относительной длительностью рабочего периода, под которой понимают отношение времени рабочего периода к продолжительности цикла (рабочий период плюс пауза). Эта величина (в %) указывается на щитке машины. Для одних видов сварки, например ручной дуговой, характерен повторно-кратковременный режим, при котором время сварки чередуется с временем холостого хода источника тока. Длительность рабочего периода называется в этом случае *относительной продолжительностью работы* (ПР).

Для сварочных трансформаторов и выпрямителей, используемых при механизированной сварке, характерен повторно-кратковременный режим, при котором время сварки чередуется с временем отключения источника тока от сети. В этом случае относительная длительность рабочего периода называется *относительной продолжительностью включения* (ПВ).

Работа источника питания чередуется с паузами. Он находится под нагрузкой только во время сварки. При замене электродов, очистке сварных швов и т.п. источник питания отключен. Режим его работы характеризуется ПР или ПВ.

ПР практически равна ПВ:

$$ПР=\frac{t_{св}}{t_{св}+t_{хх}}100\%;\ ПВ=\frac{t_{св}}{t_{св}+t_{п}}100\%,$$

где $t_{св}$ – время сварки; $t_{хх}$ – время холостого хода; $t_{п}$ – пауза.

При ручной сварке длительность рабочего цикла принимают равной 5 мин ($t_{св}$ = 3 мин, $t_{п}$ = 2 мин).

Чем меньше ПВ, тем большим может быть максимально допустимый сварочный ток. Зная номинальный сварочный ток $I_н$ (расчетный ток определяется допустимым

15. Зак. 717.

нагревом основных частей источника, номинальные значения $ПР_н$ и $ПВ_н$ указаны в паспорте источника питания), максимально допустимый сварочный ток находят по формуле

$$I_д = I_н\sqrt{ПР_н / ПР_д},$$

где $ПР_д$ – допустимое значение ПР.

За номинальный режим работы источников питания однопостовых сварочных трансформаторов, генераторов, выпрямителей принята ПР, равная 65 или 60%, а для многопостовых источников питания – 100%.

13.2. Сварочные трансформаторы

Особенности сварочных трансформаторов. ***Трансформатором*** называют электромагнитный аппарат, преобразующий энергию переменного тока одного напряжения в энергию переменного тока другого напряжения. Преобразование энергии в трансформаторах осуществляется *переменным магнитным полем.*

Сварочный трансформатор – специальный понижающий трансформатор, используемый для питания сварочной дуги, который одновременно с основной функцией выполняет роль регулируемого реактивного сопротивления, необходимого для устойчивого сварочного процесса. Важнейшей номинальной величиной сварочного трансформатора является диапазон регулирования.

В отличие от силовых сварочные трансформаторы работают в режиме меняющихся напряжений и тока и рассчитаны на кратковременные короткие замыкания сети.

На рис. 13.4 показаны основные части сварочного трансформатора

Принцип действия трансформатора основан на явлении взаимной индукции (рис. 13.5). Если при разомкнутой вторичной обмотке W_2 к первичной обмотке W_1 приложить напряжение U_1, по ней потечет ток холостого хода I_0, создающий намагничивающую силу $F = I_0W_1$ и *основной магнитный поток* Ф, замыкающийся практически только по сердечнику, поскольку магнитная проницаемость электротехнической стали несоизмеримо больше,

чем воздуха. В витках обеих обмоток по закону электромагнитной индукции наводятся ЭДС E_1 и E_2.

Если к зажимам вторичной обмотки подключить нагрузку, по ней потечет ток I_2 и намагничивающая сила F_2 создаст поток $Ф_2$, который согласно правилу Ленца будет

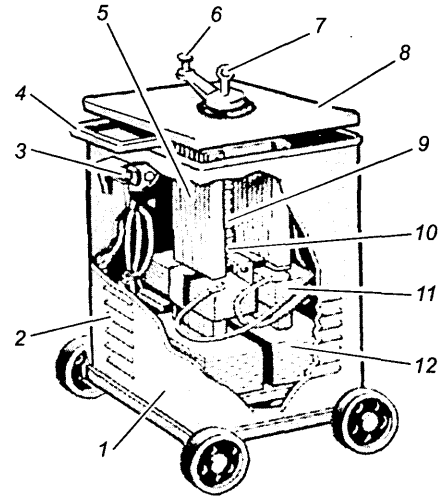


Рис. 13.4. Основные части сварочного трансформатора:
1 – корпус; *2* – жалюзи для охлаждения; *3* – зажим для присоединения проводов сварочной цепи; *4* – ручка; *5* – замкнутый магнитопровод (сердечник); *6* – рукоятка; *7* – рым-болт; *8* – крышка корпуса; *9* – вертикальный винт с ленточной резьбой; *10* – ходовая гайка винта; *11* – вторичная обмотка трансформатора; *12* – первичная обмотка трансформатора

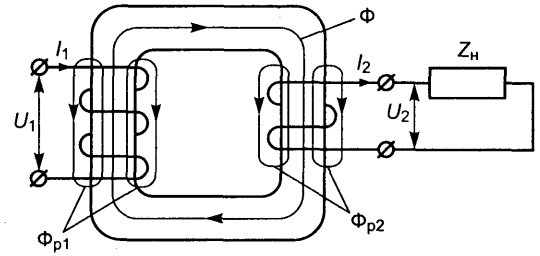


Рис. 13.5. Схема распределения магнитных потоков в нагруженном трансформаторе

направлен навстречу основному потоку Ф. Поток Φ_2, пронизывая витки первичной обмотки, наводит в ней ЭДС взаимоиндукции, под действием которой возникает ток I_1, компенсирующий действие тока I_2 за счет создания намагничивающей силы F_1 и магнитного потока Φ_1, равных по величине F_2 и Φ_2, но встречно направленных. В результате основной магнитный поток Ф практически не изменяется, и в трансформаторе имеет место следующее уравнение магнитодвижущих сил:

$$I_0W_1 = I_1W_1 + I_2W_2.$$

Помимо основного потока всегда существуют потоки рассеяния (Φ_{p1}, Φ_{p2}), которые частично или полностью замыкаются по воздуху и элементам конструкции.

Действующие значения ЭДС, наводимые в катушках основным потоком, будут равны:

$$E_1=4{,}441W_1f\Phi;\ E_2=4{,}44W_2f\Phi,$$

где f – частота переменного тока; W_1 и W_2– число витков первичной и вторичной обмоток, Ф – магнитный поток.

Поскольку потери в трансформаторе малы, то $U_1 = E_1$ и $U_2 = E_2$, тогда можно записать:

$$\frac{U_1}{U_2}=\frac{E_1}{E_2}=\frac{W_1}{W_2}=k,$$

где k – коэффициент трансформации, характеризующий преобразование напряжения в зависимости от числа витков первичной и вторичной обмоток.

Основные типы сварочных трансформаторов. Известны разнообразные конструкции сварочных трансформаторов, которые различаются между собой прежде всего способами регулирования величины сварочного тока и получения требуемых ВАХ. Обычно к сварочным трансформаторам относят и регулирующие элементы, включаемые в цепь сварки, например реактивные катушки, магнитные усилители, балластные реостаты.

Трансформаторы с нормальным рассеянием и реактивными катушками в сварочной цепи. У трансформаторов этого типа первичная и вторичная обмотки имеют хорошую магнитную связь между собой, поэтому потоки рассеяния в них относительно малы, а основные сварочные свойства определяются реактивными катушками (дросселями), обычно – с регулируемой индуктивностью.

В сварочной технике наибольшее распространение получила конструкция дросселя, обеспечивающая регулирование величины реактивного сопротивления двумя путями – изменением числа витков в обмотке и изменением величины воздушного зазора.

Отдельно вынесенный дроссель имеют сварочные трансформаторы серии СТЭ, которые в настоящее время сняты с производства, но еще находятся в эксплуатации.

В трансформаторах серий СТН и ТСД дроссель конструктивно совмещен с магнитопроводом основного трансформатора (рис. 13.6, *а*), поэтому они обладают лучшими массогабаритными показателями. Отличие их от трансформаторов с независимыми дросселями заключается в том, что в общем ярме происходит суммирование потока дросселя Φ_L с основным магнитным потоком трансформа-

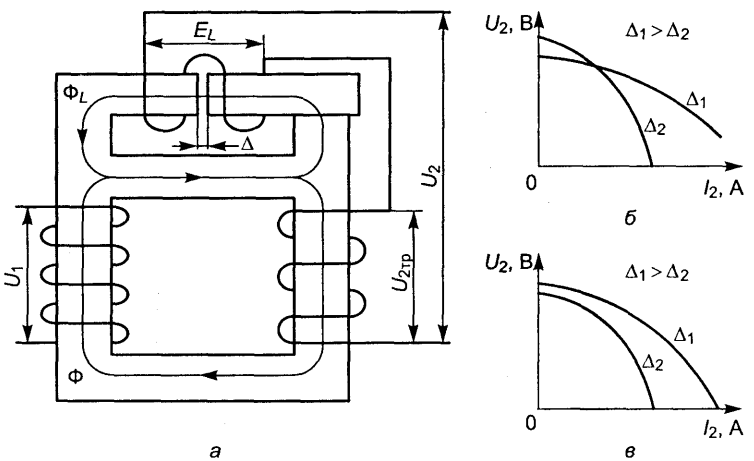


Рис. 13.6. Конструкция (*а*) и внешние характеристики трансформаторов с совмещенным дросселем при согласном (*б*) и встречном (*в*) включении дросселя:

Δ – зазор; U_1 – первичное напряжение; U_2 – вторичное напряжение; $U_{2тр}$ – вторичное напряжение трансформатора; E_L – электродвижущая сила дросселя

тора Ф. При согласном включении обмотки (рис. 13.6, *б*) дросселя и вторичной обмотки трансформатора происходит увеличение результирующего потока, при встречном (рис. 13.6, *в*) – уменьшение.

Магнитный поток дросселя возрастает при уменьшении воздушного зазора. При согласном включении увеличение результирующего потока в общем ярме, особенно значительное при коротких замыканиях, может привести к насыщению ярма, росту потерь и возрастанию тока короткого замыкания, поэтому применяется оно относительно редко. Недостаток встречного включения – снижение напряжения холостого хода при уменьшении воздушного зазора и малых токах сварки, когда это нежелательно.

Трансформаторы, совмещенные с дросселями, также подвержены действию электромагнитных сил, достигающих 4–5 кН. В серии ТСД дроссели выполняют с двумя воздушными зазорами и двумя ходовыми винтами, что повышает их надежность.

Схема формирования падающей характеристики у трансформаторов с нормальным магнитным рассеянием и отдельной реактивной катушкой (дросселем) показана на рис. 13.7.

Трансформаторы с подвижными обмотками. Трансформаторы с развитым магнитным рассеянием и подвиж-

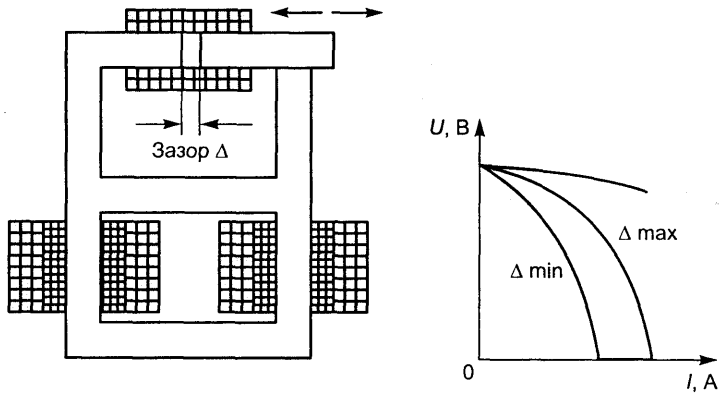


Рис. 13.7. Схема трансформатора с нормальным магнитным рассеянием и отдельной реактивной катушкой

ными обмотками принципиально могут выполняться как на броневых, так и на стержневых сердечниках. Стержневые конструкции (рис. 13.8, *а*) отличаются меньшим удельным расходом материалов и потому получили большее распространение.

Развитое магнитное рассеяние достигается за счет конструкции обмоток, выполненных в виде дисков, и соответствующего расположения их на стержнях. Одну из обмоток (обычно вторичную) выполняют подвижной, а другую – неподвижной. При перемещении подвижной обмотки, осуществляемом с помощью ходового винта, изменяется расстояние между обмотками ξ и как следствие – ток сварки. При большом удалении обмоток эффективность регулирования снижается; кроме того, уменьшается напряжение холостого хода, что нежелательно при

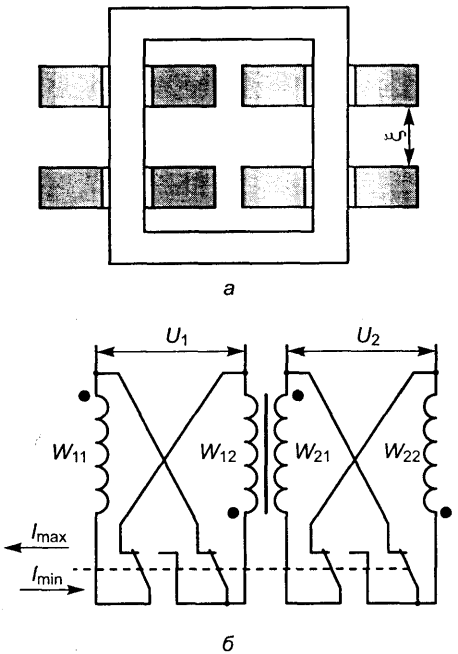


Рис. 13.8. Конструкция (*а*) и электрическая схема (*б*) трансформатора с подвижными обмотками

сварке на малых токах. Поэтому обычно диапазон регулирования разбивают на две ступени: больших и малых токов. В первом диапазоне обмотки включают параллельно, а во втором – последовательно.

Типовая электрическая схема трансформатора серии ТДМ с двумя ступенями регулирования показана на рис. 13.8, *б*. На практике обычно в ряде трансформаторов последовательно включают не все обмотки, а только их часть. При этом возможно увеличение напряжения холостого хода в режимах малых токов.

Трансформаторы с подвижными обмотками получили широкое распространение. Данный принцип регулирования реализован в сериях ТС, ТСК, ТД, ТДМ.

Схема формирования падающей характеристики у трансформаторов с увеличенным магнитным рассеянием и подвижными катушками показана на рис. 13.9.

Трансформаторы с подвижными магнитными шунтами. Трансформаторы этого типа имеют, как правило, стержневую конструкцию и разнесенные, жестко закрепленные дисковые обмотки, между которыми перемещается магнитный шунт (рис. 13.10).

Трансформатор с полностью выведенным магнитным шунтом очень близок по характеристикам к трансформатору с раздвинутыми подвижными обмотками и имеет ми-

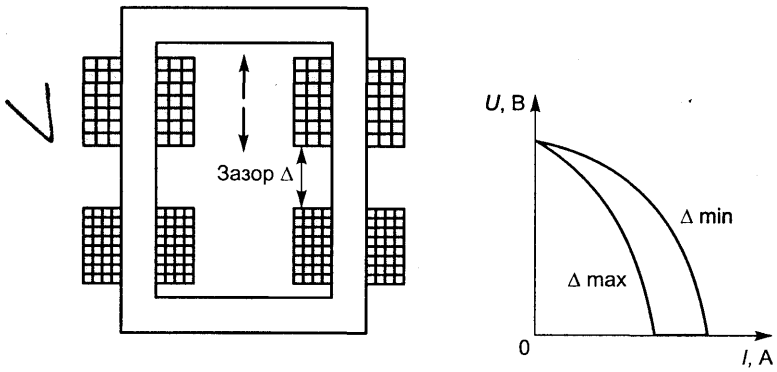


Рис. 13.9. Схема трансформатора с увеличенным магнитным рассеянием и подвижными катушками

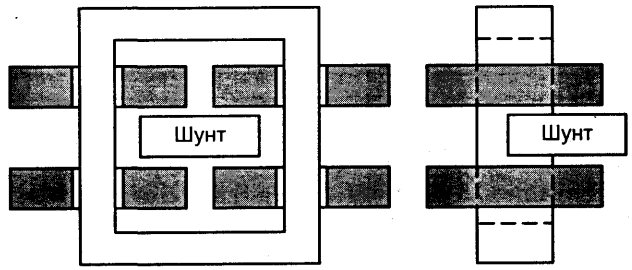


Рис. 13.10. Конструкция трансформатора с подвижным магнитным шунтом

нимальное сопротивление. При полностью введенном шунте индуктивное сопротивление достигает своего максимального значения. Трансформаторы не имеют постоянного напряжения холостого хода, поскольку часть магнитного потока всегда замыкается через шунт.

Такие трансформаторы рассчитаны на относительно небольшие токи до 250–300 А. Увеличение тока возможно за счет размещения в зоне первичной обмотки части вторичной или наоборот, а также за счет дополнительных коммутационных переключений, обеспечивающих ступенчатое регулирование тока. Данный принцип регулирования реализован в трансформаторах типа СТДН и СТШ.

Трансформаторы с дросселями насыщения и подмагничиваемыми шунтами. Главное достоинство трансформаторов с дросселями насыщения – возможность расширения пределов регулирования тока сварки при отсутствии подвижных частей, что определяет их надежность и долговечность. Основные узлы – дроссели насыщения, включаемые последовательно в цепь сварки. Обмотка управления $W_у$, как правило, охватывает оба сердечника, а рабочие обмотки $W_{р1}$ и $W_{р2}$ в этом случае соединяют встречно (рис. 13.11).

Предположим, что по обмотке управления протекает ток $I_у$, а по рабочим обмоткам – ток нагрузки I_2. В течение первого полупериода намагничивающие силы постоянного и переменного полей в первом элементе суммируются, а во втором – вычитаются, в течение следующего полупериода – наоборот. Таким образом, в любой момент

16. Зак. 717.

времени один из сердечников насыщен, а другой нет. Полное сопротивление насыщенного сердечника мало, в то время как реактивное сопротивление ненасыщенного сердечника велико. Таким образом, изменяя ток управления, можно изменять величину сопротивления сварочной цепи и, соответственно, ток сварки.

Принцип регулирования характеристик сварочных трансформаторов с помощью подмагничиваемых шунтов реализован в трансформаторах серии ТДФ (рис. 13.12).

Магнитная система состоит из двух замкнутых и перпендикулярно расположенных магнитопроводов: внешнего *1* (трансформатора) и внутреннего *4* (шунта). Силовые обмотки трансформатора расположены симметрично

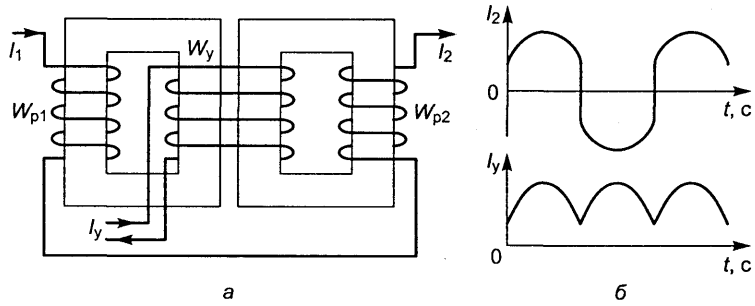


Рис. 13.11 Дроссель насыщения *(а)* и токи в рабочих обмотках и обмотке управления *(б)*

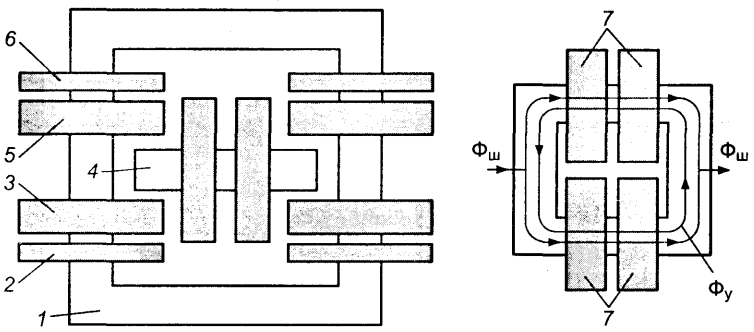


Рис. 13.12. Трансформатор с подмагничиваемым шунтом

на двух стержнях, причем вторичные обмотки *5* секционированы. Дополнительные части вторичной обмотки *6* удалены от первичной обмотки *3*, а дополнительные части вторичной обмотки *2*, наоборот, приближены к ней. Это обеспечивает ступенчатое изменение сопротивления короткого замыкания и позволяет получить два основных режима работы – на малых и больших токах. Обмотка управления *7* разбита на четыре катушки, включенные попарно встречно-согласно по отношению к ЭДС основной частоты, наведенной переменным магнитным потоком. Поток управления $Ф_у$ замыкается практически только по шунту. В шунте наводится магнитный поток $Ф_ш$. Трансформаторы этого типа конструктивно сложны, их изготавливают для сварки на больших токах 400–1800 А.

Выбор трансформаторов для разных способов сварки. При выборе трансформатора в первую очередь определяют вид вольт-амперной характеристики дуги при данных условиях сварки. Затем на основании условий эксплуатации сварочных трансформаторов и заданных электрических параметров режима выбирают сварочный трансформатор требуемой мощности с учетом режима его работы (продолжительный, перемежающийся или повторно-кратковременный). При этом внешняя характеристика сварочного трансформатора должна соответствовать ВАХ дуги.

Основные параметры сварочных трансформаторов для ручной дуговой сварки регламентированы ГОСТ 95–77. Трансформаторы выпускают переносными на ток от 125 до 250 А при номинальном рабочем напряжении от 25 до 30 В и передвижными – на ток от 250 до 500 А при рабочем напряжении от 30 до 40 В.

Параметры трансформаторов для автоматической сварки регламентированы ГОСТ 7012–77. Трансформаторы выпускают на номинальный ток от 500 до 2000 А при рабочем напряжении от 48 до 76 В.

13.3. Сварочные выпрямители

Устройство сварочных выпрямителей. ***Сварочными выпрямителями*** называют электрические аппараты, преобразующие переменный ток трехфазной сети в постоянный при помощи полупроводниковых приборов. Кон-

структивно они состоят из трансформатора и выпрямительного блока (рис. 13.13).

Выпрямительный блок представляет собой набор полупроводниковых элементов, включенных по определенной схеме.

Особенность полупроводниковых элементов заключается в том, что они обладают вентильным эффектом – пропусканием тока в одном направлении, в результате ток получается постоянным (выпрямленным). Полупроводники делят на неуправляемые – диоды и управляемые – тиристоры (рис. 13.14).

В качестве материала для кремниевого неуправляемого вентиля-диода (рис. 13.14, *а*) применяют тонкую кремниевую пластинку (катод), на одну сторону которой нанесен слой алюминия (анод). При контактировании двух полупроводников (*p* и *n*) в месте контакта образуется переходный слой (*П*), легко пропускающий электрический ток в одном направлении (от анода *А* к катоду *К*) и почти

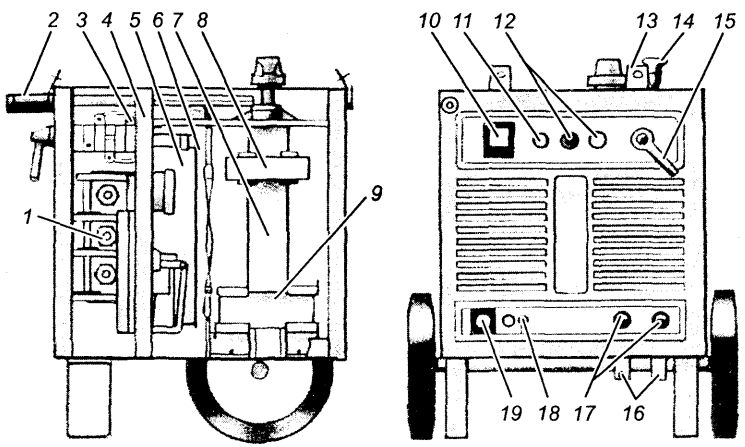


Рис. 13.13. Сварочный выпрямитель:
1 – выпрямительный блок; *2* – выдвижные ручки; *3* – предохранители; *4* – блок аппаратуры; *5* – вентилятор; *6* – ветровое реле; *7* – силовой трансформатор; *8* – вторичная обмотка; *9* – первичная обмотка; *10* – амперметр; *11* – лампа; *12* – кнопки выключателя; *13* – скобы; *14* – рукоятка регулирования тока; *15* – переключатель диапазонов тока; *16* – шины заземления обратного провода; *17* – токовые разъемы; *18* – болт заземления; *19* – штепсельный разъем для подключения к сети

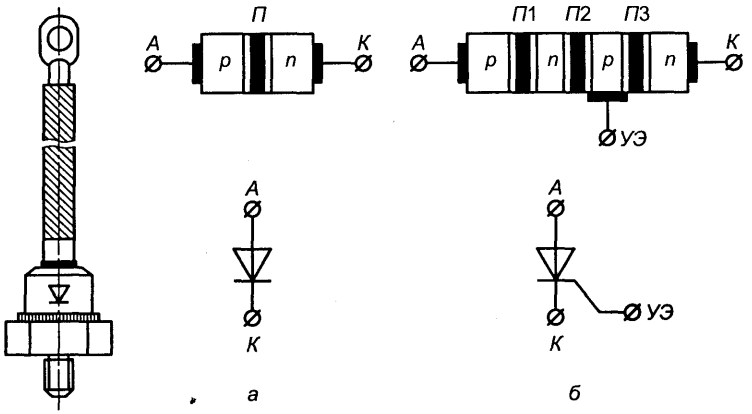


Рис. 13.14. Устройство диода (*а*) и тиристора (*б*)

не пропускающий его в обратном направлении. Такой кремниевый диск с переходным слоем впаивают в неразборный герметичный корпус диода, который имеет на одном конце шпильку для ввинчивания в охладитель, а на другом конце – вывод в виде гибкого провода.

Кремниевый управляемый вентиль-тиристор имеет четыре слоя и три перехода *П1*, *П2*, *П3* (рис. 13.14, *б*). Если к такому элементу приложить внешнее напряжение от анода к катоду, то средний переход *П2* оказывается включенным в обратном направлении и тиристор тока не пропускает. Если на его управляющий электрод (*УЭ*) подать положительный потенциал (импульс), переход *П2* открывается и ток идет по тиристору от анода к катоду. Тиристор запирается лишь при снижении протекающего по нему тока до нуля. Изменяя по фазе электрический угол открывания тиристора, т.е. время подачи импульса относительно синусоиды питающего напряжения, можно регулировать среднее значение выпрямленного тока. Таким образом, тиристор будет выполнять функции не только выпрямителя, но и регулятора сварочного тока. Конструктивно кремниевый тиристор выполнен так же, как и кремниевый диод, но имеет еще третий (управляющий) электрод. В промышленности получили распространение кремниевые и селеновые диоды и кремниевые тиристоры.

На рис. 13.15 показана схема выпрямления однофазного переменного тока. Она состоит из силового однофазного трансформатора и четырех диодов, включенных по мостовой схеме. При таком варианте получают непрерывный выпрямленный пульсирующий ток с падением его до нуля после каждого полупериода.

В сварочных выпрямителях применяют трехфазный силовой трансформатор, что обеспечивает равномерную загрузку трехфазной сети и позволяет получать меньшие пульсации выпрямленного тока. В этом случае диоды соединяют по трехфазной мостовой схеме двухполупериодного выпрямления (рис. 13.16). В каждом плече моста установлены вентили. Диоды в плечах каждой фазы соединены последовательно. Катоды в трех плечах соединены между собой в катодную группу выпрямителя, аноды объединены в анодную группу.

Выпрямители для ручной дуговой сварки изготавливают на номинальные значения сварочного тока от 125 до 500 А при номинальном рабочем напряжении от 25 до 40 В. Выпрямители для механизированной и автоматической дуговой сварки изготавливают на номинальные значения сварочного тока от 500 до 2000 А при номинальном рабочем напряжении от 46 до 76 В.

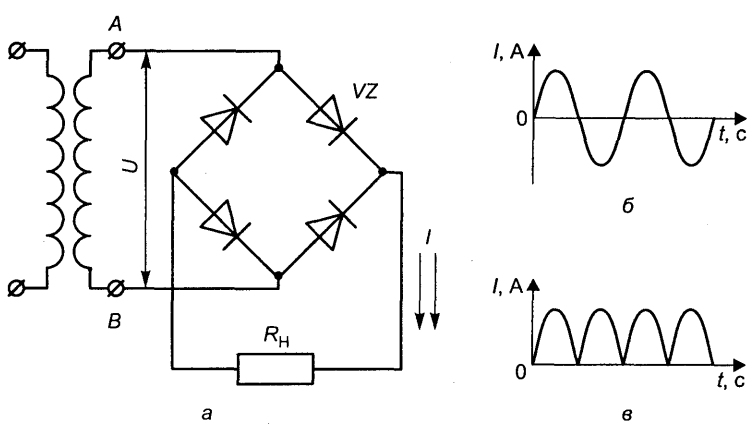


Рис. 13.15. Однофазная двухполупериодная мостовая схема выпрямления (*а*), форма токов внешней цепи (*б*) и выпрямленного тока (*в*)

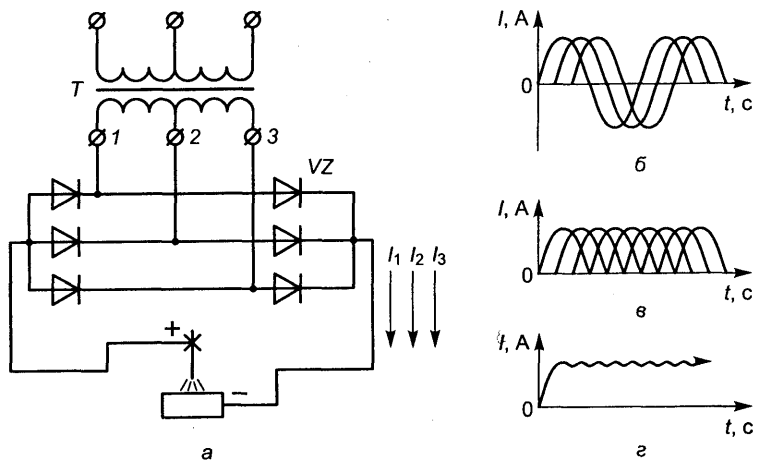


Рис. 13.16. Выпрямление трехфазного переменного тока:
а – схема включения; *б* – трехфазный ток внешней цепи; *в, г* – выпрямленные токи трех фаз

Выпрямители для разных способов сварки. Сварочный выпрямитель ВД-306УЗ предназначен для питания сварочной дуги постоянным током от сети трехфазного переменного тока при ручной дуговой сварке, наплавке и резке металлов. Он состоит из трехфазного сварочного трансформатора с подвижной первичной обмоткой, выпрямительного кремниевого блока с вентилятором, пусковой и защитной аппаратуры. Все составляющие части выпрямителя смонтированы на тележке и защищены кожухом из листового металла. Выпрямитель имеет два диапазона регулирования сварочных токов. Внутри каждого диапазона плавное регулирование сварочного тока производится изменением расстояния между обмотками сварочного трансформатора. Внешние характеристики выпрямителя являются крутопадающими.

Сварочный выпрямитель ВДГ-601 предназначен для однопостовой механизированной сварки в среде углекислого газа на форсированных режимах. Выпрямитель включает в себя силовой трансформатор, выпрямительный блок на шести тиристорах, дроссель в сварочной цепи, блок управления тиристорами, блок управления сва-

рочным полуавтоматом, подогреватель газа, пускорегулирующую и защитную аппаратуру. Силовой трансформатор стержневого типа, трехфазный, с нормальным магнитным рассеянием. Первичная и вторичная обмотки расположены концентрично на стержнях магнитопровода. Плавное регулирование сварочного напряжения осуществляется резисторами, расположенными на блоке управления (местное управление), или с пульта управления полуавтоматом (дистанционное управление). Выпрямитель имеет жесткую внешнюю вольт-амперную характеристику.

Сварочные выпрямители типов ВСВУ и ВСП относят к тиристорным выпрямителям. Тиристорный блок используют в качестве регулятора силы тока. За счет управляющих импульсов, подаваемых на тиристорный блок, формируют вольт-амперную характеристику выпрямителя и настраивают его на заданный режим непрерывной или импульсной дуговой сварки.

Принципиальная электрическая схема источников этого типа приведена на рис. 13.17, *а*. Трехфазный силовой трансформатор имеет одну первичную обмотку W_1 и две вторичные W_2 и $W_{2в}$. Обмотка W_2 подключена к тиристорному выпрямителю VZ, выполняющему роль регулятора тока и имеющему пологопадающую вольт-амперную характеристику. От вторичной обмотки $W_{2в}$ напряжение подводится к диодному выпрямительному блоку $VZ_в$, образующему вспомогательный источник питания дуги с крутопадающей вольт-амперной характеристикой с помощью дросселей $L_в$. Вспомогательный источник питания предназначен для зажигания дуги, сварки на малых токах и др. В процессе сварки дуга питается одновременно от обоих источников, что позволяет снизить напряжение холостого хода основного источника и сформировать крутопадающие внешние характеристики в области рабочих токов (рис. 13.7, *б*). Источники питания используют для автоматической сварки вольфрамовым электродом.

Источники питания дуги типа ВСП предназначены для механизированной сварки плавящимся электродом и имеют пологопадающие внешние характеристики.

Сварочные выпрямители обладают следующими преимуществами перед генераторными преобразователями:

- более высокий КПД (0,74 против 0,54).
- высокие сварочные свойства и более широкие пределы регулирования сварочного тока и напряжения.
- меньшая масса (ПСО-300 М – 330 кг; ВД 302 – 220 кг);
- бесшумность в работе и отсутствие вращающихся частей (не считая вентилятора);
- большая простота изготовления;
- меньше затрат на обслуживание;
- высокая надежность при эксплуатации;
- широкие возможности для замены медных обмоток алюминиевыми.

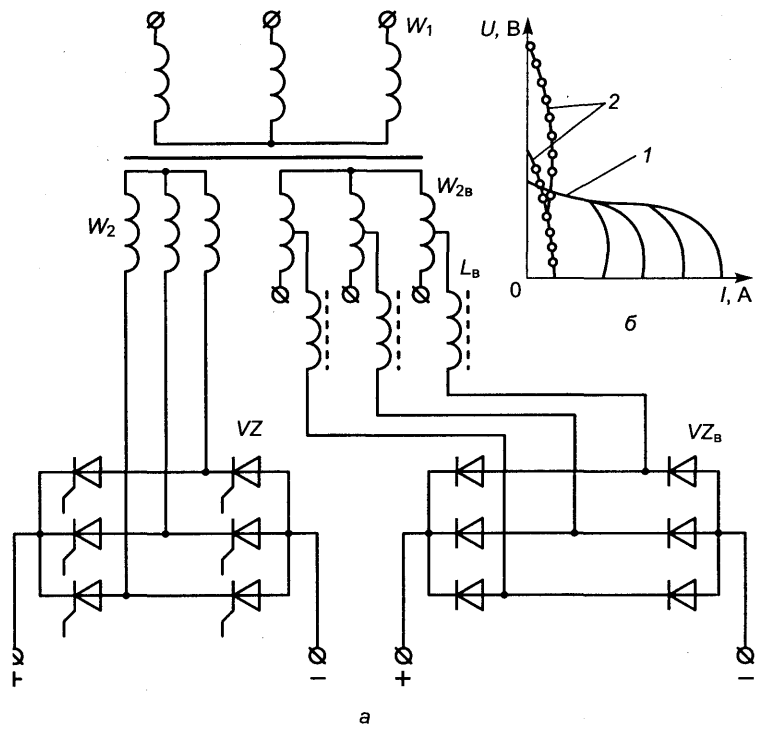


Рис. 13.17. Электрическая схема (*а*) и внешние характеристики (*б*) сварочных выпрямителей типов ВСВУ и ВСП:
1 – основной источник; *2* – вспомогательный источник

К недостаткам выпрямителей следует отнести:

- чувствительность к перегрузкам;
- невозможность ремонта вентилей или вентильных блоков;
- чувствительность к изменениям напряжения питающей сети.

13.4. Сварочные генераторы и преобразователи

Сварочные генераторы. Источниками постоянного тока для сварки наряду с выпрямителями служат ***сварочные генераторы***, преобразующие механическую энергию в электрическую.

Сварочный генератор постоянного тока состоит из статора с магнитными полюсами и якоря с обмоткой и коллекторами. При работе генератора якорь вращается в магнитном поле, создаваемом полюсами статора. Обмотка якоря пересекает магнитные силовые линии полюсов генератора, и в ее витках возникает переменный ток, который с помощью коллектора преобразуется в постоянный. К коллектору прижаты угольные щетки, через которые постоянный ток подводится к выходным зажимам. К зажимам присоединяют сварочные провода, идущие к электроду и изделию.

Все генераторы имеют намагничивающие обмотки возбуждения, питающиеся от независимого источника (с независимым возбуждением) либо от самого генератора (с самовозбуждением). Изменяя ток намагничивания, осуществляют плавное регулирование напряжения холостого хода, а следовательно, и режима работы генератора. В генераторах имеется и последовательная обмотка возбуждения с малым числом витков. По этой обмотке, включенной последовательно с дугой, протекает ток, равный силе тока дуги. Последовательная обмотка секционирована. Включают либо все ее витки, либо часть витков, регулируя ступенчато сварочные режимы в двух диапазонах.

Сварочные генераторы выполняют по различным электрическим схемам. Они могут быть с падающей внешней характеристикой (генераторы ГСО в преобразователях ПСО-300, ПСО-500 и др.), с жесткой или пологопадающей характеристикой (типа ГСГ в преобразователях ПСГ-500) и универсальные (преобразователи ПСУ-300 и ПСУ-500).

Наибольшее распространение получили сварочные генераторы с падающими внешними характеристиками, работающие по двум схемам: с независимым возбуждением (рис. 13.18, *а*) и с самовозбуждением и размагничивающей последовательной обмоткой (рис. 13.18, *б*).

В первом случае генератор имеет обмотку независимого возбуждения $W_н$, питаемую от отдельного источника постоянного тока, и размагничивающую обмотку $W_р$, включенную в сварочную цепь последовательно с обмоткой якоря. Силу тока в цепи независимого возбуждения регулируют реостатом R. Магнитный поток $Ф_н$, создаваемый обмоткой $W_н$, противоположен по своему направлению магнитному потоку $Ф_р$, создаваемому обмоткой $W_р$. Результирующий поток представляет собой разность потоков: $Ф_{рез} = Ф_н - Ф_р$. С увеличением силы тока в сварочной цепи поток $Ф_р$ будет увеличиваться, а поток $Ф_н$ – оставаться неизменным. При этом напряжение на

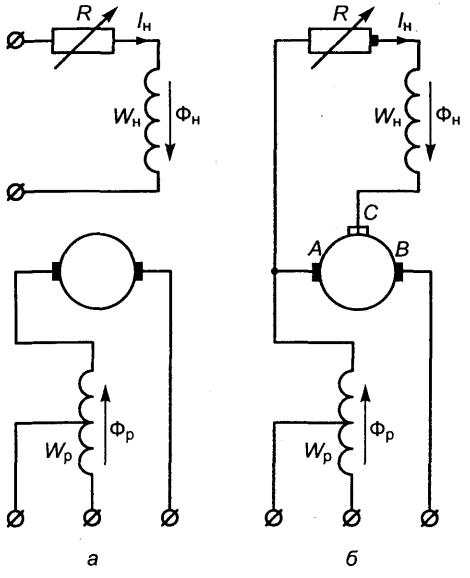


Рис. 13.18. Электрические схемы сварочных генераторов

зажимах генератора будет падать, создавая падающую внешнюю характеристику генератора. Сварочный ток в генераторах этой системы регулируют реостатом *R* и секционированием последовательной обмотки. По такой схеме работают генераторы ГСО-300 и ГСО-500.

В генераторах, работающих по второй схеме, намагничивающая обмотка питается постоянным током от части обмотки якоря самого генератора. С этой целью на коллекторе между главными щетками *A* и *B* расположена дополнительная щетка *C*. При работе генератора напряжение между щетками *A* и *C* остается постоянным, что позволяет подключить к ним параллельно якорю намагничивающую обмотку возбуждения, создающую постоянный поток $\Phi_н$. Падающая внешняя характеристика создается действием последовательной размагничивающей обмотки, магнитный поток которой $\Phi_р$ направлен против магнитного потока $\Phi_н$. По такой схеме работают сварочные генераторы ГСО-300-М, ГСО-300-5 и др.

Сварочный генератор является составной частью сварочных преобразователей и сварочных агрегатов.

Сварочные преобразователи. Установку, состоящую из сварочного генератора и приводного трехфазного асинхронного электродвигателя, называют ***сварочным преобразователем***.

Сварочный преобразователь преобразует механическую энергию электродвигателя в электрическую с напряжением и диапазоном токов, необходимыми для сварки. Конструктивно состоит из трехфазного электродвигателя и сварочного генератора с независимым возбуждением.

На рис. 13.19 показаны основные части сварочного преобразователя.

Сварочные агрегаты. Установку, состоящую из сварочного генератора и двигателя внутреннего сгорания, называют ***сварочным агрегатом***.

Сварочный агрегат преобразует механическую энергию двигателя внутреннего сгорания (бензинового или дизельного) в электрическую с напряжением и диапазоном токов, необходимыми для сварки. Конструктивно состоит из двигателя внутреннего сгорания и сварочного генератора с самовозбуждением (рис. 13.20). Агрегаты используют

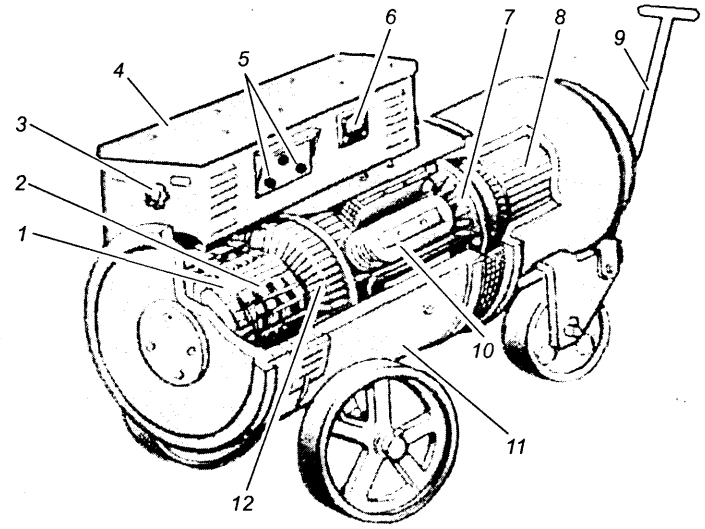


Рис. 13.19. Сварочный преобразователь:
1 – медные пластинки коллектора; *2* – щетки генератора; *3* – регулировочный реостат; *4* – распределительное устройство; *5* – зажимы; *6* – вольтметр; *7* – вентилятор; *8* – трехфазный асинхронный двигатель; *9* – тяга; *10* – магнитные полюсы; *11* – корпус; *12* – якорь

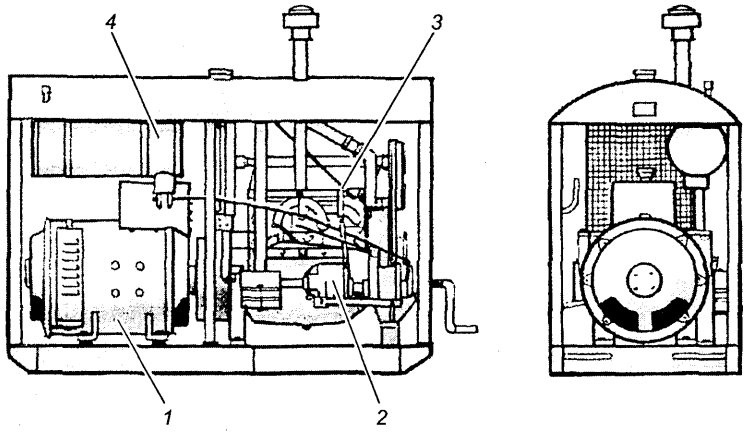


Рис. 13.20. Сварочный агрегат:
1 – генератор; *2* – двигатель; *3* – регулятор скорости вращения; *4* – бак с горючим

в основном для сварки в монтажных полевых условиях, где отсутствуют электрические сети.

Например, дизельный сварочный агрегат АДЦ-4001С для питания одного поста ручной дуговой сварки постоянным током имеет в качестве привода двигатель Д144-81 мощностью 50 л.с. (37 кВ · А). Номинальный ток агрегата 400 А (ПН 60%), пределы регулирования 60–450 А, напряжение холостого хода 100 В, номинальное напряжение 36 В.

13.5. Инверторные источники питания

Одно из перспективных направлений совершенствования сварочного оборудования – создание энергосберегающих источников питания со звеном повышенной частоты, или **инверторных**. У этих источников масса и габариты в 6–9 раз меньше по сравнению с выпускавшимися ранее. Они имеют коэффициент мощности 0,95–0,98, более высокий КПД, высокие динамические свойства.

Инверторные источники обеспечивают легкое зажигание и эластичность дуги; мелкокапельный и струйный перенос металла; минимальное разбрызгивание расплавленного металла; понижение напряжения холостого хода до 36 В; экономию электроэнергии на 30–40%; плавную дистанционную регулировку параметров тока и напряжения.

История развития регулируемых сварочных источников питания начинается с 1905 г., когда австрийский профессор Розенберг создал генератор поперечного поля, у которого с ростом сварочного тока изменялось напряжение на дуге. В 1927 г. русскому ученому В.П. Никитину был выдан патент на первый в мире комбинированный однокорпусный трансформатор-регулятор для ручной дуговой сварки.

В 50-х годах прошлого столетия появились сварочные выпрямители на основе селеновых диодов, а затем, в 70-е годы – на основе силовых кремниевых тиристоров. Их применение позволило плавно регулировать величину сварочного тока и менять выходные вольт-амперные характеристики сварочных аппаратов не за счет трансформатора, а на основе обратных связей и фазовой регулировки угла включения тиристоров.

Однако, несмотря на применение новой элементной базы, сварочные источники питания оставались по-прежнему достаточно тяжелыми и громоздкими, поскольку их основная масса была сосредоточена в трансформаторе.

Из электротехники известна формула, по которой определяется размер сечения S сердечника трансформатора

$$S=\frac{U_{20}\cdot 10^4}{4{,}44fW_2B},$$

где U_{20} – напряжение холостого хода трансформатора; f – частота; W_2 – количество витков вторичной обмотки; B – индукция в сердечнике.

Из формулы видно, что уменьшить сечение сердечника, а следовательно и массу трансформатора, можно за счет снижения U_{20} или увеличения W_2, B, f. По пути уменьшения U_{20} шли разработчики традиционных бытовых трансформаторов. Однако при $U_{20} < 50$ В зажигание дуги становится практически невозможным, поэтому уменьшение U_{20} дает относительно небольшое снижение массы, причем в ущерб стабильности при зажигании дуги. Увеличение W_2 также практически ничего не дает, так как одновременно увеличивается W_1. Снижение массы сердечника увеличивает массу обмоток. Увеличить индукцию B не позволяют характеристики современных трансформаторных сталей. Практически единственным путем уменьшения размеров сердечника явилось увеличение частоты f. Именно по этому пути пошли разработчики инверторных источников питания.

Понятие «инвертор» происходит от латинского inverto – переворачиваю, изменяю. Блок-схема инверторного источника питания показана на рис. 13.21. Напряжение сети промышленной частоты преобразуется входным выпрямителем в постоянное напряжение порядка 500 В. Оно в свою очередь преобразуется с помощью инвертора в переменное напряжение повышенной частоты (20–100 кГц), которое затем поступает на понижающий высокочастотный трансформатор. К вторичной обмотке трансформатора подключен диодный выпрямитель, к которому через сглаживающий дроссель подсоединен электрод.

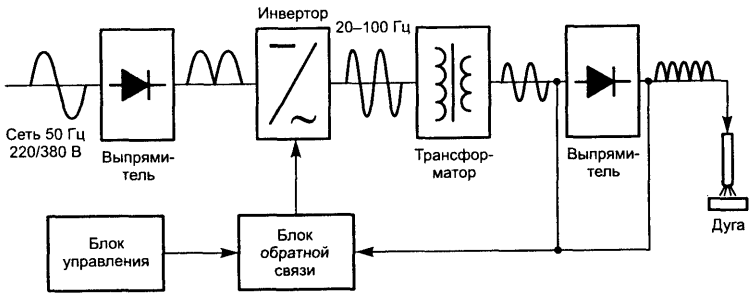


Рис. 13.21. Блок-схема инверторного источника питания

Питание трансформатора напряжением высокой частоты позволяет существенно снизить его размеры и массу. Так, при частоте 10 кГц по сравнению с частотой 50 Гц масса трансформатора и его габариты уменьшаются в 3 раза, а при частоте 50 кГц уже в 15–17 раз.

Одним из первых тиристорных инверторов был источник питания LUA-400 Шведской фирмы ESAB. Он имеет шесть различных вольт-амперных характеристик, что позволяет использовать его при ручной дуговой сварке, сварке в углекислом газе, аргонодуговой сварке, сварке порошковой проволокой и сварке алюминиевой проволокой пульсирующей дугой.

Вторая стадия развития инверторной сварочной техники связана с появлением модульных биполярных транзисторов с изолированным затвором серии IGBT (Insulated Gate Bipolar Transister). IGBT-транзисторы позволили повысить частоту работы сварочного трансформатора до 20 кГц. При этом отношение сварочного тока к единице массы источника питания стало 8–10 А/кг, что в 2 раза выше, чем тиристорных инверторов.

С уменьшением массы и габаритов, а также с увеличением сварочных возможностей инверторных преобразователей расширились их области применения. На базе IGBT-транзисторов стали выпускаться небольшие «бытовые» источники для ручной дуговой сварки и аргонодуговой сварки, источники для импульсно-дуговой и механизированной сварки в защитных газах, плазменной резки.

Для дальнейшего снижения массы инверторных источников питания и расширения их функциональных возможностей необходимо было увеличить частоту работы транзисторов. Однако низкая скорость переключения IGBT-транзисторов и повышенный теплоотвод на высоких частотах не давали возможности использовать их на частотах свыше 20 кГц.

Третья стадия развития сварочных инверторов связана с появлением в 90-х годах полевых МОП-транзисторов серии MOSFET (Metal Ocside Semiconductor Field Effect Transistor). Силовые полевые транзисторы позволили повысить частоту работы сварочных трансформаторов до нескольких десятков килогерц. На базе MOSFET-транзисторов в начале 90-х годов фирма ESAB стала выпускать установки для ручной дуговой сварки «Power Inverter-315», работавшие на частоте 24 кГц, и малогабаритные источники серии Caddy, работавшие на частоте 36 кГц. Масса «Power Inverter» – 28 кг, Caddy – 11 кг. Отношение сварочного тока к массе – 11–18 А/кг.

Дальнейшее развитие инверторной техники пошло по пути повышения частоты работы MOSFET-транзисторов.

Выпущенный фирмой ESAB Caddy-250 стал работать на частоте 48,5 кГц при массе 11 кг.

Источники питания Caddy-110, Caddy-115 и Caddy Tig-150 имеют массу 6,5 кг, отношение сварочного тока к массе стало 17–23 А/кг благодаря повышению частоты работы трансформатора до 70 кГц.

Появление инверторных источников, в которых формирование выходной частоты обеспечивается собственным генератором на основе электронной схемы, дало возможность управлять формой выходного напряжения и тока. А это в свою очередь позволило создать сварочные аппараты, которые взяли на себя функции контроля сварочного процесса.

Известно, что правильный выбор режимов сварки и их контроль на протяжении всего процесса являются одними из главных факторов, определяющих качество сварного соединения. В связи с многообразием свариваемых сталей и сварочных материалов становится достаточно трудно точно подобрать сварочные режимы для ка-

чественного выполнения шва. Необходима система, способная выбрать оптимальный режим сварки и управлять им с учетом основных особенностей процесса. Источник питания должен обеспечивать функцию контроля над дугой и регулировать сварочный ток в зависимости от условий протекания сварочного процесса. Только инверторные преобразователи на основе мощных МОП-транзисторов с высокой скоростью переключения в сочетании с микропроцессорным управлением позволили реализовать вышеуказанные требования. Такого типа источники были разработаны рядом ведущих производителей сварочной техники: «Lincoln», «Electric», «Kempi», ESAB, которые имеют синергетическую систему управления.

Синергетическая система означает, что в аппарате имеются синергетические линии для наиболее часто применяемых комбинаций проволок и газа для MIG-сварки, TIG-сварки (при обычной и импульсной сварке), а также для наиболее часто применяемых типов электродов для ручной дуговой сварки.

Таким образом, оптимальная рабочая точка по каждому типу и диаметру проволоки, виду газа задана в компьютере и по ее положению имеется возможность регулировать соотношение тока, напряжения и скорость подачи проволоки. В то же время это позволяет перейти на ручной режим, задать свои собственные параметры, а затем ввести их в запоминающее устройство компьютера. В память машины могут быть введены до 200 программ со сварочными режимами различных процессов сварки. Все процессы запрограммированы в виде оптимальной комбинации сварочных параметров, диаметра и типа проволоки, типа и состава защитного газа. Сварщик формирует лишь сварочный шов. Неоспоримым преимуществом такой техники является ее способность достигать хороших результатов при сварке нержавеющих сталей, цветных металлов и их сплавов, представляющих определенную проблему для традиционных способов сварки.

Инверторный тиристорный источник ВДУЧ-301 с пологопадающими и крутопадающими внешними характеристиками – универсальный выпрямитель для механизированной сварки в среде защитных газов и для ручной дуговой сварки.

Структуру источника можно представить состоящей из двух основных узлов: сетевого выпрямителя и конверторного преобразователя. Сетевой выпрямитель выполнен по мостовой схеме на оптотиристорах и диодах. Кроме выполнения основной функции – выпрямления напряжения сети – он сглаживает пульсации входного напряжения, обеспечивает плавную зарядку накопительного конденсатора при включении источника, контроль величины входного напряжения, отключение выпрямителя при аварийных режимах.

Инверторный преобразователь преобразует выпрямленное напряжение в напряжение сварочного контура с гальванической развязкой контуров. В его состав входит высокочастотный регулируемый инвертор, трансформаторно-выпрямительное устройство, работающее на высокой частоте, и выходной сглаживающий дроссель. Полумостовой тиристорный инвертор с резонансной коммутацией и диодами обратного тока содержит высокочастотные конденсаторы, катушки индуктивности и тиристорно-диодные ячейки. Выпрямительное устройство выполнено на стержневом трансформаторе с ферритовым сердечником.

С целью повышения сварочных показателей схема инвертора обеспечивает кратковременное форсирование режимов работы при зажигании дуги и капельных коротких замыканиях в процессе сварки. Частота пульсаций выходного напряжения источника в номинальном режиме 5 кГц.

Инверторный транзисторный источник ВДУЧ-251 предназначен для ручной дуговой сварки штучными электродами на постоянном токе неповоротных стыков магистральных трубопроводов в непрерывном и импульсном режимах. Диапазон регулирования длительности импульса и паузы 0,1–0,9 с. Амплитуда тока импульса может быть установлена в пределах 30–250 А, тока паузы – 30–100 А. Выпрямитель имеет падающие внешние характеристики с возможностью изменения наклона (0,2; 0,4 и 0,7 В/А). Частота пульсации выходного напряжения источника в номинальном режиме 16 кГц.

13.6. Многопостовые источники питания

При необходимости размещения значительного числа сварочных постов на ограниченной производственной площади целесообразно применять более мощные источники питания. Они обеспечивают работу нескольких постов одновременно через общий шинопровод, подключенный к выходным зажимам источника. Такие источники называют *многопостовыми источниками питания дуги.* Основное требование, предъявляемое к ним, – обеспечение устойчивой работы каждого подключенного поста как в установившемся, так и в переходных режимах независимо от воздействия других постов. Эта независимость постов обеспечивается неизменностью напряжения холостого хода для каждого поста. Многопостовое питание часто используют для ручной дуговой сварки покрытыми электродами, автоматической сварки под флюсом и механизированной сварки в среде углекислого газа.

Каждый сварочный пост подключается к шинопроводу через отдельное балластное сопротивление. Схема подключения показана на рис. 13.22. Многопостовой источник (*В*) обслуживает *n* сварочных постов (*СП1–СПn*) через общий шинопровод (*ШП*). Каждый сварочный пост подключен к шинопроводу через балластное сопротивление (*РБ*), с помощью которого регулируют силу сварочного

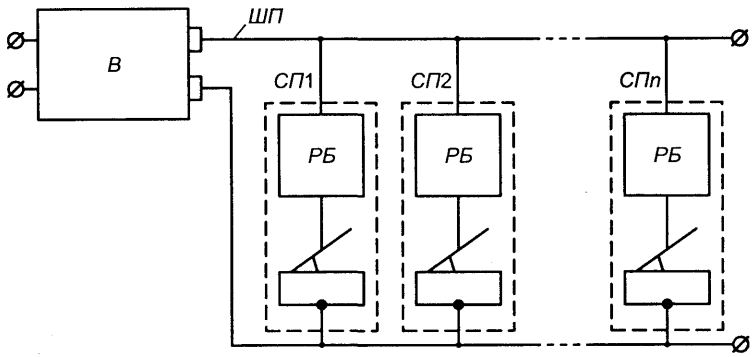


Рис. 13.22. Схема подключения сварочных постов к многопостовому источнику питания

тока и получают падающую вольт-амперную характеристику для сварки. Для ручной дуговой сварки и сварки под флюсом выходное напряжение источника питания дуги обычно не изменяют. Многопостовые источники для сварки в углекислом газе отличаются тем, что в них имеется несколько выходных шинопроводов на разные напряжения холостого хода. Каждый сварочный пост в этом случае подключают к соответствующему шинопроводу с соответствующим напряжением.

В многопостовых выпрямителях большое внимание уделяют защитным устройствам от перегрузки. Для сварки покрытыми электродами применяют выпрямители ВКСМ-1000, ВДМ-1601, ВДМ-6302, ВДМ-6303С, ВДМ-1202С с балластными реостатами РБ-306 и РБ-500. Для сварки в среде углекислого газа используют выпрямители ВМГ-5000 с реостатами РБГ-502, а также многопостовые генераторы постоянного тока (ГСО-500) и трансформаторы.

Балластный реостат (рис. 13.23) состоит из набора нихромовых проволок различного сопротивления, соединенных параллельно. Формирует падающую вольт-амперную характеристику источника питания. Ступенчато регулирует режим сварки. Компенсирует постоянную составляющую тока при сварке от трансформатора.

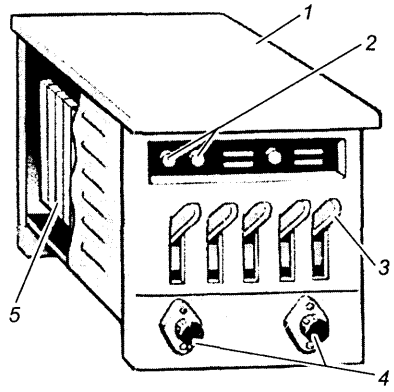


Рис. 13.23. Балластный реостат:
1 – корпус; *2* – тумблеры диапазонов регулирования; *3* – рубильники секций сопротивления; *4* – клеммы для сварочного кабеля; *5* – секции нихромовой проволоки или ленты

Тестовые задания

1. Время, необходимое для подъема напряжения от нуля до напряжения повторного зажигания дуги (до 30 В) не должно превышать:

1) 0,005 с; 2) 0,05 с; 3) 0,5 с; 4) 5 с.

2. При коротком замыкании в сварочной цепи сопротивление уменьшается практически до нуля и источник питания дает:

1) максимальный ток;
2) минимальный ток;
3) максимальное напряжение;
4) минимальное напряжение.

3. Напряжение на зажимах источника питания при разомкнутой сварочной цепи:

1) рабочее напряжение;
2) напряжение холостого хода;
3) ток короткого замыкания;
4) номинальный режим.

4. Электрическая мощность сварочной дуги при ручной дуговой сварке составляет:

1) 1–2 кВт; 2) 3–5 кВт; 3) 6–8 кВт; 4) 10–20 кВт.

5. Электромагнитный аппарат, преобразующий энергию переменного тока одного напряжения в энергию переменного тока другого напряжения:

1) трансформатор; 3) генератор;
2) выпрямитель; 4) преобразователь.

6. Электрический аппарат, преобразующий переменный ток трехфазной сети в постоянный при помощи полупроводниковых приборов:

1) трансформатор; 3) генератор;
2) выпрямитель; 4) преобразователь.

7. Электрический аппарат, преобразующий механическую энергию в электрическую:

1) трансформатор; 3) генератор;
2) выпрямитель; 4) преобразователь.

8. Установка, состоящая из сварочного генератора и приводного трехфазного асинхронного электродвигателя:

1) трансформатор; 3) генератор;
2) выпрямитель; 4) преобразователь.

9. Установка, состоящая из сварочного генератора и двигателя внутреннего сгорания:

1) трансформатор; 3) генератор;
2) выпрямитель; 4) сварочный агрегат.

10. Внешняя характеристика источника питания для ручной дуговой сварки:

1) падающая; 3) жесткая;
2) пологая; 4) возрастающая.

Глава 14

ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ СПОСОБЫ СВАРКИ

14.1. Методы, повышающие производительность труда

К *организационным мероприятиям* повышения производительности труда относят: своевременное обеспечение сварщиков исправным, подключенным к сети сварочным оборудованием, сварочными материалами и инструментом, шлангами, кабелем, спецодеждой, средствами индивидуальной защиты; предоставление сварщику оборудованного рабочего места и обустройство безопасных подходов к нему; своевременную подготовку деталей под сварку; обеспечение технологической документацией; создание необходимых производственно-бытовых условий.

К *организационно-техническим мероприятиям* относят: своевременное и быстрое подключение оборудования и устранение неисправностей; снабжение качественными электрододержателями и инструментом; обеспечение приспособлениями для быстрого поворота изделий или их кантовки; изготовление наиболее эффективных конструкций с минимальным количеством наплавленного металла в готовом изделии. Четкое выполнение организационных и организационно-технических мероприятий наряду с внедрением прогрессивных форм организации труда повышает производительность труда не менее чем на 15–20%.

Рассмотрим *технические мероприятия*, внедрение которых позволяет повысить производительность сварочных работ.

❑ Увеличение плотности сварочного тока при выбранном диаметре электрода по сравнению с паспортными данными позволяет повысить производительность ручной сварки в 1,5–2 раза за счет увеличения скорости сварки и глуби-

ны проплавления основного металла. Наилучшие технико-экономические показатели при сварке на повышенных режимах получают при использовании электродов диаметром 5 и 6 мм. Однако повышать плотность сварочного тока свыше 12–14 А/мм^2 при сварке электродами с основным покрытием не рекомендуется, так как это приводит к сильному разбрызгиванию электродного металла, снижению коэффициента наплавки и ухудшению качества шва.

❑ Увеличение диаметра электрода с 3 до 6 мм позволяет повысить производительность сварки в 3 раза (если правильно выбран оптимальный режим сварки для каждого диаметра электрода). Применение электродов больших диаметров (8 и 10 мм) позволяет вести сварку при увеличенном токе и тем самым повышает производительность процесса. Однако при сварке такими электродами увеличивается масса электрода и держателя, что вызывает усталость сварщика. Появляются трудности с обеспечением провара корня шва в узких разделках кромок и угловых швов. Кроме того, при ручной сварке большими токами значительно повышается магнитное дутье, особенно при сварке на постоянном токе, что усложняет процесс сварки и приводит к снижению качества сварного соединения.

❑ Применение электродов с железным порошком или другими металлическими добавками в покрытии используют для повышения коэффициента наплавки. Производительность сварки такими электродами увеличивается на 10–15% по сравнению со сваркой обычными электродами. Одновременно снижается удельный расход электроэнергии (примерно на 20%).

Введение железного порошка в покрытие увеличивает скорость наплавки, повышает переход металла электрода в шов, улучшает внешний вид шва. Небольшие добавки железного порошка (до 14%) применяют для стабилизации дуги, средние и большие (до 50%) – для повышения производительности процесса. К высокопроизводительным обычно относят электроды, для которых переход металла электрода в шов вследствие добавки в покрытие железного порошка составляет свыше 120%, например электроды марок АНО-5 (11 г/А · ч), ЭРС-1 (14 г/А · ч), ОЗС-3 (15 г/А · ч). Электроды этих марок пригодны для сварки только в нижнем положении.

17. Зак. 717.

14.2. Способы сварки, повышающие производительность труда

Сварку погруженной дугой в отличие от обычного способа ручной сварки покрытым электродом (сварки открытой дугой) называют *сваркой опиранием электрода* или *сваркой с глубоким проплавлением*.

Для получения глубокого проплавления применяют специальные высококачественные электроды с особо толстым покрытием, например марки ОЗС-3.

Электрод опирают образующимся при плавлении козырьком на свариваемый металл под углом 70–85° к горизонту для лучшего вытеснения жидкого металла из кратера (рис. 14.1). При сварке дуга оказывается погруженной в основной металл, а края козырька предохраняют электрод от короткого замыкания. Короткая дуга при сварке погружением поддерживается автоматически вследствие опирания козырька покрытия на основной металл. Большая концентрация теплоты при короткой дуге увеличивает глубину проплавления. При сварке с глубоким проплавлением потери металла в результате угара и разбрызгивания минимальные. Сварку осуществляют на большой силе сварочного тока с повышенной скоростью.

Наиболее эффективен этот способ при сварке угловых и тавровых соединений в нижнем положении, однако применяется и при сварке стыковых соединений.

Сварка погруженной дугой требует тщательной подготовки свариваемого изделия: поверхность вдоль шва очищается от ржавчины, зазор между кромками не должен превышать 10% толщины металла изделия.

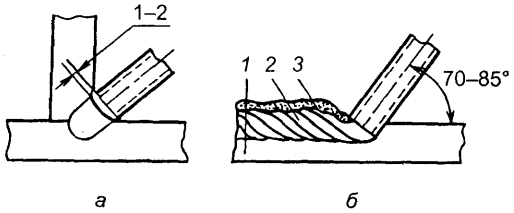


Рис. 14.1. Сварка с опиранием электрода угловых (*а*) и стыковых (*б*) соединений:
1 – свариваемый металл; *2* – шов; *3* – шлак

Сварка с глубоким проплавлением отличается от обычной ручной сварки большей силой сварочного тока и большей скоростью сварки. Кроме того, она обладает следующими преимуществами: исключается необходимость держать электрод на весу, что облегчает труд сварщика; обеспечивается хороший провар корня шва; возможна сварка листов толщиной до 20 мм без скоса кромок; в течение нескольких дней приобретаются навыки сварщика; не требуется высокая квалификация сварщика; в 2–3 раза повышается производительность труда.

Сварку опиранием в вертикальном положении по направлению сверху вниз можно выполнять электродами марки АНО-9. При наложении угловых швов с катетом 8 мм применяют электроды диаметром 4 мм. Скорость сварки 10 м/ч.

Сварка пучком (гребнем) электродов осуществляется такими же приемами, как и ручная сварка одним покрытым электродом. Сварщик одновременно работает двумя, тремя и более электродами (рис. 14.2), соединенными в пучок путем наложения прихватки в месте зажима их в электрододержатель. Электроды между собой соединяют мягкой проволокой (стальной или медной диаметром 0,25–0,5 мм) по длине в 3–5 местах, а сверху – сваркой. При этом используют обычный электрододержатель.

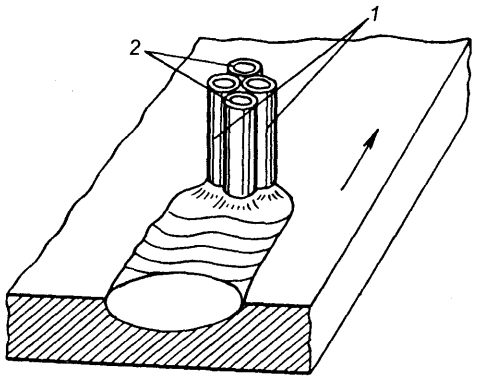


Рис. 14.2. Сварка пучком электродов:
1 – активные электроды, к которым подается ток; *2* – пассивные (холостые) электроды

Если конструкция электрододержателя позволяет удерживать несколько электродов, отпадает необходимость соединения их в месте захвата.

Дуга при сварке пучком электродов вначале возбуждается между одним электродом и свариваемым изделием. Когда этот электрод настолько оплавится, что расстояние от его торца до изделия станет большим, дуга погаснет и вновь появится между изделием и электродом, который ближе других окажется к изделию. Дуга поочередно возникает там, где расстояние между изделием и электродом становится минимальным, и постепенно расплавляет электроды. Процесс происходит непрерывно, как при сварке одним электродом.

При сварке пучком электродов ток проходит через отдельные электроды кратковременно, они нагреваются меньше, чем при обычной сварке, и это дает возможность применять большую силу сварочного тока.

По сравнению со сваркой одним электродом при сварке пучком электродов в 2–3 раза сокращается время на смену электродов, уменьшается число перерывов в работе, улучшается использование мощности источника тока, повышается производительность труда (не менее чем на 50%).

Применение такого способа сварки очень эффективно при наплавочных работах.

К недостаткам сварки пучком электродов следует отнести непригодность ее при вертикальной и потолочной сварке, а также сложность изготовления электродов.

Безогарковая сварка отличается от обычной ручной сварки тем, что электрод не закрепляют в держателе, а приваривают к его торцу. За счет этого устраняются потери электродов на огарки, увеличивается сила сварочного тока (на 10–15%) и сокращаются потери времени на смену электродов.

Безогарковая сварка увеличивает производительность труда, однако она не свободна от недостатков: затрудняется манипулирование электродом, что при недостаточном опыте сварщика отрицательно сказывается на качестве сварного соединения; приварка электрода по сравнению с закреплением его в обычном электрододержателе – более сложная операция.

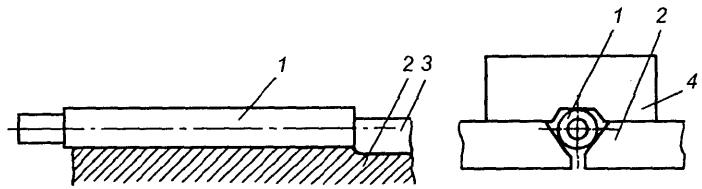


Рис. 14.3. Сварка лежачим электродом:
1 – электрод; *2* – свариваемый металл; *3* – разделка шва; *4* – медный брус

Сварка лежачим электродом заключается в том, что электрод с качественным покрытием не подается в зону дуги, а укладывается в разделку кромок (рис. 14.3). Дуга, возбуждаемая между торцом электрода и свариваемым металлом, перемещается по длине электрода, постепенно расплавляя его.

В разделку шва укладывают один или несколько электродов диаметром 6–10 мм. Поверх кладут бумажную изоляцию и прижимают медной колодкой.

Такая сварка особенно удобна в труднодоступных местах. Длина электрода принимается равной или кратной длине шва, а сечение шва получается равным сечению стержня электрода. При этом способе сварки один оператор может обслуживать несколько постов.

Этот способ сварки обеспечивает высокое качество металла шва; производительность по сравнению с ручной сваркой увеличивается в 1,5–2 раза благодаря применению электродов большого диаметра и соответствующему увеличению силы сварочного тока; уменьшает потери металла на угар и разбрызгивание.

Сварка наклонным электродом – это сварка металлическим электродом, когда происходит самоподача в зону дуги электрода с качественным покрытием, который нижним концом опирается на изделие, в то время как верхний конец закрепляется в специальном скользящем электрододержателе (рис. 14.4, *а*).

Опора с помощью магнита фиксирует устройство на поверхности свариваемого металла. По мере оплавления электрод под собственным весом перемещается по направляющей вдоль линии сварки. Покрытие электрода опирается на свариваемое изделие, обеспечивая постоянную

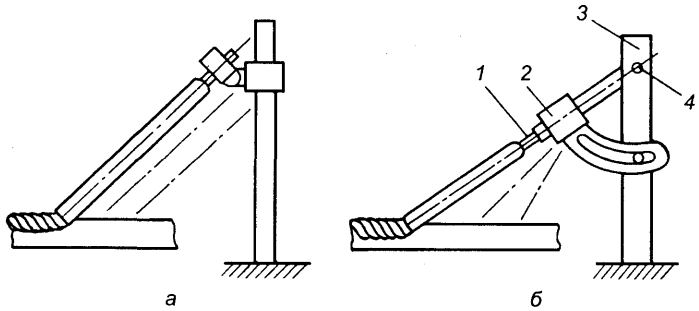


Рис. 14.4. Сварка наклонным электродом:
а – при постоянном угле наклона электрода; *б* – при переменном угле наклона электрода: *1* – электрод; *2* – электрододержатель с токопроводом; *3* – стойка; *4* – шарнир

длину дуги. Верхняя часть козырька длиннее нижней, поэтому дуга отклоняется в сторону свариваемого изделия. Сечение шва регулируется изменением угла наклона электрода.

Известен также способ сварки наклонным электродом, при котором верхний конец электрода имеет шарнирное закрепление (рис. 14.4, *б*).

Сварка трехфазной дугой производится специальными электродами и электрододержателями. Ручная сварка и наплавка производятся следующими способами: двумя электродами, закрепленными в двух держателях (рис. 14.5, *а*); двумя параллельными электродами, закрепленными в одном держателе (рис. 14.5, *б*). Электроды состоят из двух стержней, расположенных на расстоянии 5–6 мм друг от друга и покрытых обмазкой, а электрододержатели имеют раздельные закрепления и электроподводку к электродам. Концы электродов одной стороной (зачищенной) раздельно закрепляют в электрододержателе. При сварке одна фаза подводится к изделию, а две фазы (раздельно) – к электродам.

Производительность при сварке трехфазной дугой по сравнению с обычной однофазной ручной сваркой возрастает примерно в 2 раза, но техника выполнения несколько сложнее из-за увеличения массы электрода и держателя. Навыки сварки трехфазной дугой приобретаются довольно быстро.

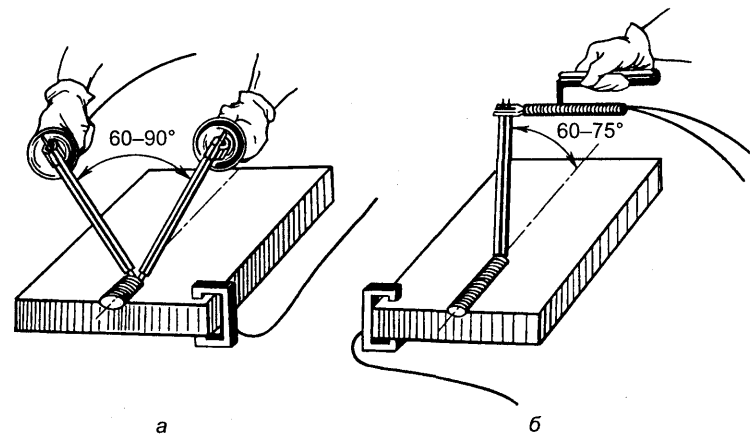


Рис. 14.5. Сварка трехфазной дугой

Трехфазной дугой сваривают соединения (стыковые и тавровые) в нижнем положении. При сварке возможно образование больших наплывов. Поэтому тавровые соединения следует сваривать «в лодочку». Уменьшение пористости и увеличение глубины провара достигается ведением сварки методом опирания электродов.

При сварке двумя параллельными электродами, зажатыми в одном держателе, угол наклона электродов к поверхности пластины должен быть 65–70°. При чрезмерно большом угле наклона жидкий шлак и металл затекают вперед на нерасплавленный металл пластины, в результате чего глубина провара уменьшается. При малом угле наклона жидкий металл и шлак сильно оттесняются дугой в хвостовую часть сварочной ванны, чем нарушается формирование шва и увеличивается разбрызгивание.

Для получения широкого валика электродам необходимо придавать поперечное колебательное перемещение, ширина которого у продольно расположенных электродов должна составлять не более двух диаметров электродов (рис. 14.6, *а*), а у поперечно расположенных – не более четырех (рис. 14.6, *б*).

При многослойной сварке пластин встык с односторонним скосом кромок первый слой выполняют спаренными

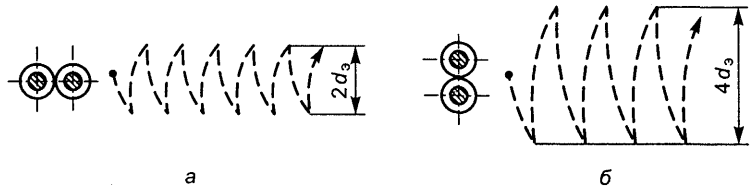


Рис. 14.6. Колебательные движения электродами при сварке трехфазной дугой

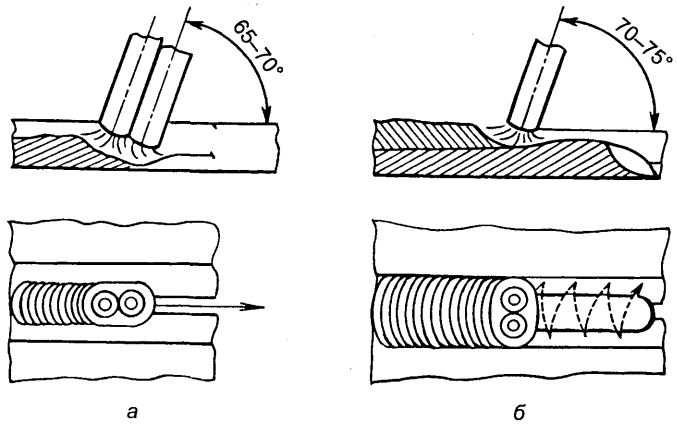


Рис. 14.7. Расположение электродов при сварке встык трехфазной дугой

электродами, расположенными вдоль шва (рис. 14.7, *а*), а последующие – поперечно расположенными электродами (рис. 14.7, *б*).

При сварке пластин внахлестку электроды должны располагаться поперек шва. При этом угол наклона электродов в направлении сварки должен составлять 70–75° (рис. 14.8, *а*) и по отношению к поверхности деталей 50–60° (рис. 14.8, *б*). В процессе сварки электродами совершают поперечные колебательные движения с амплитудой колебаний 2,5–3 диаметра электрода.

Трехфазная сварочная дуга выделяет больше излучения, чем однофазная, поэтому защитные светофильтры должны быть более темными.

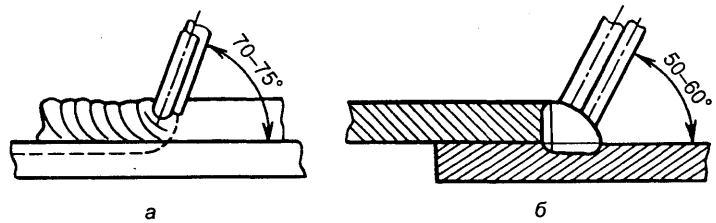


Рис. 14.8. Расположение электродов при сварке соединений внахлестку трехфазной дугой

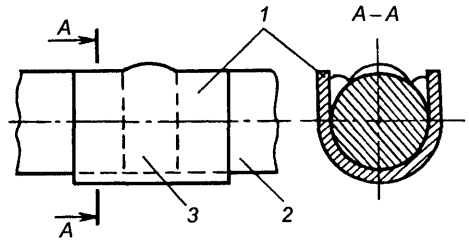


Рис. 14.9. Ванная сварка:
1 – форма; *2* – стержни; *3* – шов

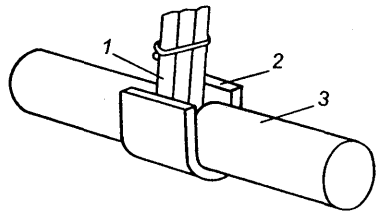


Рис. 14.10. Ванная сварка гребенкой электродов:
1 – электроды; *2* – форма; *3* – стержень

Ванная дуговая сварка (рис. 14.9) характеризуется увеличенными размерами сварочной ванны, удерживаемой в специальной форме (стальной или керамической). Стальную форму приваривают к сварному стыку, керамические формы делают разъемными и после сварки удаляют. Применяют при сварке стержневых изделий (например, железобетонной арматуры и рельсов). Сварку производят одним или несколькими электродами (рис. 14.10) марки УОНИ. Сварку выполняют на повышенных режи-

18. Зак. 717.

мах, что обеспечивает необходимый нагрев свариваемых элементов для создания большой сварочной ванны из жидкого металла.

Сварку начинают в нижней части формы, в зазоре между торцами стержней. Электрод вначале перемещают вдоль зазора. В процессе сварки наплавленный металл должен находиться в жидком состоянии.

Сварка электрозаклепками производится с проплавлением верхней детали сварочной дугой без отверстия в верхнем листе или через предварительно подготовленное отверстие.

Способ сварки без отверстия применяют при толщине верхнего листа не более 2 мм. Необходимость сверления отверстий в верхних листах ограничивает область применения сварки электрозаклепками. Однако высокая производительность и удобство сборки крупногабаритных узлов при соединении тонких листов с профильным прокатом способствуют широкому применению сварки электрозаклепками в промышленности.

В соединениях с заплавленными отверстиями расстояние между отверстиями составляет 100–200 мм, а диаметр отверстия 1–2,5 δ (δ – толщина листа, мм). Отверстия сверлят или пробивают на дыропробивных прессах. При сварке отверстие полностью заплавляется с небольшим наплывом сверху. Соединения электрозаклепками не отличаются высокой прочностью.

Тестовые задания

1. Увеличение диаметра электрода с 3 до 6 мм позволяет повысить производительность сварки в:

1) 1,5 раза; 2) 2 раза; 3) 3 раза; 4) 5 раз.

2. Удельный расход электроэнергии при сварке электродами с железным порошком в покрытии снижается примерно на:

1) 5%; 2) 10%; 3) 20%; 4) 50%.

3. Сварка с глубоким проплавлением отличается от обычной ручной дуговой сварки большей силой сварочного тока и большей скоростью сварки, что обеспечивает повышение производительности труда в:

1) 1–1,5 раза;
2) 2–3 раза;
3) 3–5 раз;
4) 5–10 раз.

4. При сварке пучком электродов по сравнению со сваркой одним электродом сокращается время на смену электродов в:

1) 1–1,5 раза;
2) 2–3 раза;
3) 3–5 раз;
4) 5–10 раз.

5. При сварке пучком электродов улучшается использование мощности источника тока и повышается производительность труда не менее чем на:

1) 5%; 2) 25%; 3) 50%; 4) 150%.

6. Сварку пучком электродов эффективно используют при:

1) сварке тонкого металла;
2) наплавочных работах;
3) резке металлов;
4) потолочной сварке.

7. Применение лежачего электрода особенно удобно при сварке:

1) тонкого металла;
2) нержавеющей стали;
3) в потолочном положении;
4) в труднодоступных местах.

8. Производительность при сварке лежачим электродом по сравнению с ручной дуговой сваркой возрастает примерно в:

1) 1,5–2 раза; 2) 3 раза; 3) 4 раза; 4) 5 раз.

9. Производительность при сварке трехфазной дугой по сравнению с обычной однофазной ручной сваркой возрастает примерно в:

1) 1,5 раза; 2) 2 раза; 3) 3 раза; 4) 5 раз.

10. Способ ванной дуговой сварки применяют для соединения:

1) тонкого металла;
2) нержавеющей стали;
3) деталей при потолочной сварке;
4) железобетонной арматуры и рельсов.

Глава 15

РУЧНАЯ ДУГОВАЯ НАПЛАВКА

15.1. Назначение и способы наплавки

Назначение наплавки. ***Наплавка*** – это процесс нанесения посредством сварки плавлением слоя металла на поверхность изделия. Наплавку применяют для изготовления новых и восстановления изношенных деталей машин и оборудования путем нанесения на их рабочие поверхности металлических покрытий, обладающих необходимым комплексом свойств: износостойкостью, термостойкостью, кислотостойкостью и др. Наплавкой на поверхности детали можно получить слой нужной толщины, любого химического состава с разнообразными свойствами. С помощью наплавки создают биметаллические изделия, которые выгодно сочетают свойства наплавленного и основного металлов.

Наплавка деталей и восстановление изношенных деталей путем наплавки – эффективный и экономичный метод продления срока службы деталей и машин. В большинстве случаев процессы наплавки основаны на применении дуговой сварки плавящимся электродом.

Наплавка твердых сплавов применяется для получения износостойких поверхностей деталей дробильного, цементного и металлургического оборудования, рабочих частей землеобрабатывающих машин, бурового и режущего инструментов, опорных валков прокатных станов, кузнечно-прессового оборудования, бандажей вагонных колес, железнодорожных рельсов.

Наплавляемые детали разнообразны по массе, форме, материалам и условиям работы. Это вызвало необходимость разработки разных способов наплавки.

Наплавка угольным электродом. При восстановлении и ремонте поверхностей деталей машин и технологического оборудования угольным электродом наплавляют по-

рошкообразные твердые сплавы (сталинит, вокар, релит и др.), литые твердые сплавы, а также измельченные отходы металлорежущих инструментов (рис. 15.1).

Наплавляемая поверхность должна быть зачищена до металлического блеска, слой буры должен быть небольшим, а высота слоя порошкообразного сплава должна быть в 1,5–2 раза больше, чем необходимая толщина наплавленного металла.

Слишком большая сила сварочного тока вызывает глубокое проплавление основного металла и уменьшает твердость наплавленного слоя, а слишком малая – дает небольшую производительность и неровную поверхность наплавки.

Дуга возбуждается на основном металле, наклон угольного электрода должен составлять 10–15° к вертикали, а в процессе передвижения его необходимо совершать широкие колебательные движения.

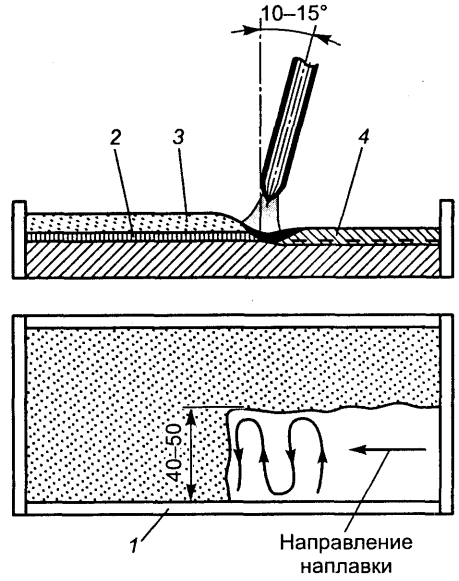


Рис. 15.1. Схема наплавки порошкообразных твердых сплавов угольным электродом:
1 – графитовые формовочные пластины; *2* – слой прокаленной буры; *3* – слой порошкообразного твердого сплава; *4* – наплавленная поверхность

Получение острых граней обеспечивают формовочные графитовые пластины.

По окончании наплавки медленно охлаждают детали, для чего их засыпают горячим песком, покрывают асбестом или помещают в нагретую печь.

Наплавка покрытыми электродами. Ручная дуговая наплавка применяется в тех случаях, когда использование механизированных способов невозможно или нецелесообразно. Для получения минимальной глубины проплавления основного металла электрод наклоняют в сторону, обратную направлению наплавки. Наплавку выполняют электродами диаметром 2–6 мм постоянным током 80–300 А обратной полярности («плюс» на электроде). Производительность процесса 0,8–3 кг/ч.

К преимуществам ручной дуговой наплавки относятся использование обычного сварочного оборудования и возможность наплавки деталей сложной конфигурации; к недостаткам – низкая производительность и тяжелые условия труда. При ручной наплавке требуется высокая квалификация сварщика, так как процесс необходимо вести на минимальных токе и напряжении с целью уменьшения доли основного металла в наплавленном. Однако при этом должно обеспечиваться сплавление наплавленного и основного металлов.

Основные параметры режима ручной наплавки: сила сварочного тока, напряжение на дуге и скорость наплавки. Тип электрода выбирают в зависимости от сплава металла, который необходимо наплавить, а диаметр – от толщины и формы изделия, пространственного положения наплавляемой поверхности.

ГОСТ 10051–75 устанавливает 44 типа покрытых металлических электродов для наплавки. Химический состав электродного стержня оказывает значительное влияние на химический состав наплавленного металла и его механические свойства.

15.2. Особенности техники наплавки

Основными особенностями наплавки являются: незначительное перемешивание наплавляемого слоя с основным металлом (для обеспечения заданного химического

состава слоя и предотвращения трещин); малая зона термического влияния; минимальные деформации и напряжения. Все это обеспечивается за счет уменьшения глубины проплавления путем регулирования параметров режима, а также использования различных технологических приемов.

Основными элементами режима дуговой наплавки являются: сила сварочного тока, напряжение и скорость перемещения дуги, вылет и число электродов, шаг наплавки, а также смещение электрода с зенита при наплавке тел вращения.

Тип электрода выбирают в зависимости от сплава металла, который необходимо наплавлять. Диаметр электрода зависит от толщины и формы изделия, пространственного положения наплавляемой поверхности.

Для получения минимальной глубины проплавления основного металла электрод наклоняют в сторону, обратную направлению наплавки.

Наплавку обычно ведут постоянным током, обеспечивающим высокую стабильность процесса. Сила сварочного тока при наплавке зависит от скорости подачи электрода. С увеличением скорости подачи возрастает сила сварочного тока, а следовательно, и производительность наплавки. Однако с возрастанием силы сварочного тока увеличивается глубина проплавления и доля основного металла в наплавленном. Кроме того, образуются узкие и высокие валики, ухудшается формирование наплавленного шва. Поэтому сила сварочного тока ограничивается условиями качества наплавки.

При увеличении диаметра электрода уменьшается глубина проплавления и увеличивается ширина наплавленного валика.

Напряжение дуги определяет форму наплавленного валика; при его повышении увеличивается ширина и уменьшается высота валика, возрастает длина дуги и усиливается окисляемость легирующих примесей, особенно углерода.

Для наплавки используют электроды диаметром 3–6 мм. При толщине наплавленного слоя менее 1,5 мм применяют электроды диаметром 3 мм, при большей – диаметром 4–6 мм. Для обеспечения минимального проплав-

ления основного металла при достаточной устойчивости дуги плотность тока должна составлять 11–12 А/мм^2.

Наплавка должна производиться без перерыва горения дуги, смена электрода должна быть быстрой, а после повторного возбуждения дуги металл кратера нужно хорошо переварить и только после этого продолжать наплавку.

При наплавке каждый последующий валик должен перекрывать предыдущий валик на величину, равную примерно половине ширины шва (рис. 15.2). При большом шаге наплавки доля основного металла в шве велика и необходимая твердость наплавленного слоя не обеспечивается. С уменьшением же шага наплавки уменьшается переход примесей из основного металла в шов и химический состав наплавленного металла становится близким к составу электродной проволоки.

Техника наплавки предусматривает различные приемы ведения работ при наплавке тел вращения, плоских поверхностей и деталей сложной формы (рис. 15.3). Цель одна – получение качественного наплавленного слоя заданных свойств и минимальная деформация изделия.

При наплавке круглых деталей электрод смещают относительно вертикальной оси, проходящей через центр вращения, в сторону, противоположную вращению детали. Смещением электрода предотвращают стекание на-

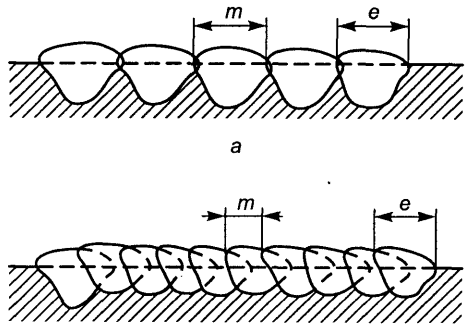


Рис. 15.2. Схема наплавки валиков при разной величине шага наплавки:
а – большой шаг; *б* – малый шаг; *m* – шаг наплавки, *e* – ширина шва

плавляемого металла и шлака. При наплавке тел вращения это достигается ведением непрерывного процесса по винтовой линии с перекрытием последующим валиком предыдущего. При наплавке по винтовой линии обеспечиваются непрерывность процесса, более высокое качество наплавки и меньшая деформация наплавляемой детали.

Наплавку плоских деталей и поверхностей сложной формы производят с минимальным проплавлением основного металла.

Предварительный подогрев обрабатываемой детали до 200–250 °С уменьшает склонность наплавленного металла к образованию трещин. Для предотвращения образования трещин при наплавке и охлаждении обрабатываемые детали целесообразно подогреть перед наплавкой до 300–600 °С и сохранять такую температуру до завершения наплавки. Затем наплавленные детали следует медленно охладить.

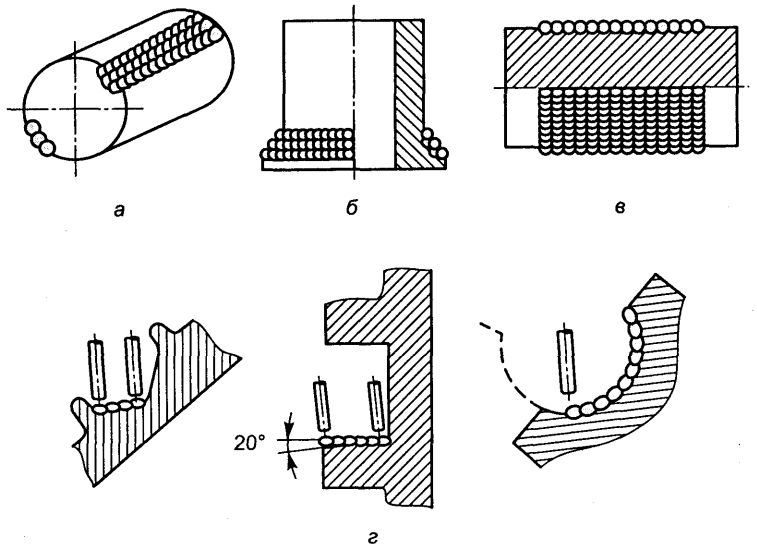


Рис. 15.3. Схемы выполнения наплавки:
а – наплавка вала по образующей; *б* – наплавка вала по спирали горизонтальным швом на вертикальной плоскости; *в* – наплавка вращающегося вала по спирали горизонтальным швом в нижнем положении; *г* – наплавка ручьев прокатных валков разных типов

После наплавки обычно производят термообработку. Цель термической обработки деталей после наплавки – устранение внутренних напряжений и получение металла с определенными структурой и свойствами. Основными видами термической обработки являются отжиг, нормализация, закалка и отпуск.

15.3. Выбор химического состава наплавляемого металла

Свойства наплавленного металла зависят в основном от его химического состава. Для восстановления и упрочнения деталей применяют разнообразные износостойкие наплавочные материалы.

Для ручной наплавки выпускается большое количество марок электродов различных химических составов и свойств. При выборе наплавляемого металла учитывают химический состав металла обрабатываемой детали, условия ее работы, характер и вид нагрузки, вид изнашивания, требуемую износостойкость.

❑ Низкоуглеродистые низколегированные стали используют для восстановительной наплавки колес электромостовых кранов, посадочных мест под подшипники, осей, валов и многих других деталей, а также для создания подслоя при наплавке износостойкими сплавами.

Наплавку ручной дуговой сваркой производят электродами марок ОЗН-300М, ОЗН-400М и др. Перед наплавкой массивных деталей необходимо их предварительно подогреть до 200–300 °С. После наплавки детали медленно охлаждают с целью получения наплавки оптимальной структуры и твердости.

❑ Углеродистые и низколегированные стали, содержащие более 0,4% углерода и до 5% легирующих примесей, применяют для износостойкой наплавки ножей бульдозеров, штампов холодной и горячей штамповки и других деталей. Наплавку ведут электродами марки ЭН-60М.

Наплавку металлорежущего инструмента (взамен марок сталей Р18 и Р6М5) производят электродами марки ОЗИ-5.

Наплавленный металл этой группы сталей имеет повышенную склонность к образованию горячих и холодных трещин, поэтому перед наплавкой изделие подогревают до 350–450 °С. В случае необходимости механической обработки наплавленного металла деталь подвергают отжигу и затем закалке.

❑ Высокомарганцовые аустенитные стали, содержащие до 13% марганца, обладают высокой стойкостью к ударам и способностью наклепываться, в результате чего твердость их поверхности возрастает до 450–500 НВ. При этом сердцевина остается вязкой. Этими сталями наплавляют детали дробильного оборудования, железнодорожные крестовины и другие изделия, работающие в условиях абразивного изнашивания с ударными нагрузками. Наплавку ведут электродами марки ЦНИИН-4 при минимально возможном разогреве деталей.

❑ Хромоникелевые аустенитные стали, обладающие высокой стойкостью к коррозии, используют в качестве наплавочных материалов аппаратов в химическом и нефтяном машиностроении. При легировании марганцем стали этой группы приобретают высокую вязкость и способность к наклепу, поэтому их применяют для наплавки деталей, подверженных кавитационному изнашиванию, например лопастей гидротурбин, плунжеров гидропрессов и др.

Для наплавки металла указанного типа применяют покрытые электроды разных марок (ОЗЛ-7, ОЗЛ-8, ОЗЛ-36, НИАТ-1, ЦЛ-11, ЭА-400/10У и др.). С целью повышения стойкости наплавленного металла к межкристаллитной коррозии наплавку на углеродистые стали следует выполнять с минимальной долей основного металла в наплавленном. Хромоникелевые аустенитные стали наплавляют без подогрева.

❑ Хромистые стали, обладающие высокими стойкостью к коррозии и прочностью при повышенных температурах, используют для наплавки уплотнительных поверхностей задвижек для пара и воды, плунжеров гидропрессов, штампов и других деталей. Применяют электроды марок ОЗЛ-6, УОНИ-13/НЖ(12Х13) и др.

Для предупреждения образования пор наплавку хромистых сталей выполняют на предельно короткой дуге при напряжении 24–26 В. Наплавленный металл склонен к образованию трещин, поэтому наплавку ведут с предварительным и сопутствующим подогревом детали до 150–250 °С.

❑ Хромовольфрамовые и хромомолибденовые стали, обладающие высокой стойкостью к термической усталости и изнашиванию, применяют для наплавки валков горячей прокатки, штампов горячей штамповки и других деталей. Наплавку производят покрытыми электродами марки ВСН-6. Для предупреждения трещин наплавку ведут при температуре детали 350–400 °С с последующим замедленным охлаждением.

❑ Высокохромистые чугуны используют для наплавки деталей, работающих в условиях абразивного, газоабразивного и гидроабразивного изнашивания при обычных и высоких температурах, например ножей бульдозеров, зубьев ковшей экскаваторов и т.п. Применяют электроды марок ОЗЧ-2, МНЧ-2, ОЗЧ-4 и др.

❑ Никелевые сплавы обладают высокой износостойкостью в сочетании с жаростойкостью и стойкостью к коррозии. Ими наплавляют уплотнительные поверхности арматуры для пара высоких параметров, выхлопные клапаны дизелей, плунжеры кислотных насосов, штампы для горячей штамповки и др. Применяют электроды марок ОЗЛ-32, В-56Уи др.

❑ Хромокобальтовые сплавы, называемые *стеллитами,* обладают высокой жаропрочностью, сопротивлением истиранию при температуре до 1000 °С. Их применяют для наплавки буровых долот, матриц штампов, уплотнительных поверхностей паровой арматуры сверхвысоких параметров и др.

Стеллиты наплавляют вручную дуговым способом покрытыми электродами марки ЦН-2. Важное условие получения наплавленного металла высокой износостойкости – минимальный переход железа из основного металла в наплавленный. При наплавке покрытыми электродами только в третьем слое удается получить наплавленный металл с минимальным содержанием железа. Другая трудность наплавки стеллитов – их высокая склонность к образованию холодных и горячих трещин. Поэтому стеллиты наплавляют при подогреве детали до 600–700 °С и не снижают эту температуру в процессе наплавки. После наплавки деталь необходимо нагреть в печи до 600–700 °С, выдержать до выравнивания температуры, затем вместе с печью медленно охладить.

Тестовые задания

1. При наплавке угольным электродом высота слоя порошкообразного твердого сплава должна быть больше, чем необходимая толщина наплавки в:

1) 0,5–1,0 раз;
2) 1,5–2 раза;
3) 2,5–3 раза;
4) 3,5–4 раза.

2. Производительность ручной дуговой наплавки покрытыми электродами составляет:

1) 0,3–0,5 кг/ч;
2) 0,8–3 кг/ч;
3) 4–5 кг/ч;
4) 6–10 кг/ч.

3. ГОСТ 10051–75 устанавливает определенное количество типов покрытых металлических электродов для наплавки поверхностей с различными свойствами:

1) 4 типа;
2) 24 типа;
3) 44 типа;
4) 144 типа.

4. Основной особенностью наплавки является обеспечение незначительного перемешивания наплавляемого слоя с основным металлом за счет:

1) уменьшения глубины проплавления;
2) увеличения скорости сварки;
3) уменьшения скорости сварки;
4) предварительного подогрева.

5. При увеличении диаметра электрода глубина проплавления:

1) уменьшается;
2) увеличивается;
3) не изменяется;
4) равна нулю.

6. При увеличении диаметра электрода ширина наплавленного валика:

1) уменьшается;
2) увеличивается;
3) не изменяется;
4) равна нулю.

7. Для обеспечения минимального проплавления основного металла при достаточной устойчивости дуги плотность тока должна составлять:

1) 1–2 А/мм^2;
2) 3–5 А/мм^2;
3) 11–12 А/мм^2;
4) 100–120 А/мм^2.

8. С целью уменьшения склонности наплавленного металла к образованию трещин производят предварительный подогрев обрабатываемой детали до температуры:

1) 100–200 °С;
2) 200–250 °С;
3) 300–600 °С;
4) 700–750 °С.

9. Для предотвращения образования трещин обрабатываемые детали подогревают перед наплавкой до температуры:

1) 100–200 °С;
2) 200–250 °С;
3) 300–600 °С;
4) 700–750 °С.

10. Хромоникелевые аустенитные стали наплавляют:

1) без подогрева;
2) с подогревом;
3) с подогревом до 1000 °С;
4) их не наплавляют.

Глава 16

ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ

16.1. Сварка в инертных газах

Защитные газы. *Инертными* называются газы, которые химически не взаимодействуют с металлом и не растворяются в нем. Инертные газы (аргон, гелий и их смеси) применяют для сварки химически активных металлов (алюминия, магния, титана и др.), а также в случаях, когда необходимо получить сварные швы, однородные по составу с основным и присадочным металлами (высоколегированными сталями и др.). Инертные газы обеспечивают защиту дуги и свариваемого металла, не оказывая на него металлургического воздействия.

Для сварки меди используют также азот, являющийся по отношению к ней инертным газом.

Сварка в инертном газе выполняется как неплавящимся вольфрамовым, так и плавящимися электродами. Вольфрам – тугоплавкий металл с температурой плавления 3380 °С и температурой кипения 4700 °С.

Согласно ГОСТ 10157–79 аргон поставляется трех сортов. Содержание аргона в высшем сорте составляет 99,99%, в первом – 99,98, во втором – 99,95%, остальное – кислород (менее 0,005%), азот (менее 0,004%), влага (менее 0,03%). Гелий выпускается согласно МРТУ 51-04-23–64 следующего состава: в марке 1 – 99,6–99,7% гелия, в марке 2 – 98,5–99,5%, остальное – азот.

Аргон и гелий поставляют в баллонах вместимостью 40 л под давлением 15 МПа. Баллон для аргона окрашен в серый цвет, надпись – зеленого цвета; баллон для гелия – коричневый, надпись – белого цвета.

Поставка инертного газа может производиться в смеси с кислородом, азотом, водородом и другими газами.

Расход аргона при сварке зависит от диаметра электрода и обычно составляет от 120 до 600 дм^3/ч. В связи с тем что гелий легче аргона, расход гелия при сварке больше на 30–50%.

Применение гелия вместо аргона увеличивает проплавляющую способность дуги, устраняет пористость и улучшает формирование шва при больших скоростях сварки. Однако высокая стоимость и дефицит гелия ограничивают его использование.

Электроды. В качестве неплавящегося электрода используют прутки диаметром 0,5–10 мм из вольфрама чистого (ЭВЧ), вольфрама торированного (ЭВТ), вольфрама иттрированного (ЭВИ), вольфрама лантанированного (ЭВЛ). Введение в состав электродов оксидов тория, либо оксидов лантана, либо оксидов иттрия (1–3,5%) усиливает эмиссионные свойства электродов, улучшает зажигание дуги на малой силе сварочного тока, увеличивает на 40–50% допустимую силу сварочного тока.

Вольфрам имеет высокую температуру плавления, однако при нагреве он интенсивно соединяется с кислородом. Поэтому вольфрамовый электрод нельзя применять при сварке на воздухе, а можно только в защитных газах, не содержащих кислорода.

Различные марки электродов имеют свои специфические особенности, которые необходимо учитывать при выборе электрода для конкретных условий сварки.

Электроды из чистого вольфрама применяются для сварки переменным током алюминия и его сплавов. Электрод в этом случае оплавляется с образованием полусферы на торце. Сила сварочного тока ограничивается, так как образуется чрезмерно большая капля расплавленного вольфрама, которая затрудняет процесс сварки. Электроды из чистого вольфрама используются и при сварке постоянным током, однако сила сварочного тока должна быть снижена по сравнению с применением торированных или лантанированных электродов.

Торированные и лантанированные электроды, как правило, применяются для сварки постоянным током прямой полярности. Заточка электрода производится на конус высотой, равной 2–3 диаметрам электрода. Острая заточка исключает блуждание катодного пятна по поверхности электрода.

Торированные вольфрамовые электроды, обладая технологическими преимуществами, имеют существенный недостаток. Естественная радиоактивность тория требует применения особых мер предосторожности при хранении таких электродов и работе с ними.

Иттрированные вольфрамовые электроды обеспечивают максимальную токовую нагрузку по сравнению с другими типами вольфрамовых электродов. Их используют для сварки как переменным, так и постоянным током.

Заточка вольфрамовых электродов (рис. 16.1) производится твердыми дисками с мелким зерном во избежание образования заусенцев и бороздок на торце электрода. Круг, на котором затачиваются электроды, не должен применяться для других материалов, чтобы исключить загрязнение.

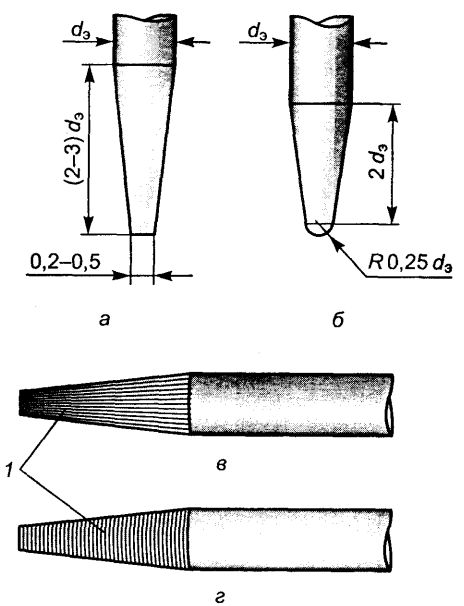


Рис. 16.1. Заточка вольфрамовых электродов для сварки:
а – постоянным током; *б* – переменным током; *в* – правильная; *г* – неправильная; *1* – риски от заточного камня

Диаметр притупления вольфрамового электрода и угол заточки влияют на проплавляющую способность дуги. При уменьшении диаметра притупления повышается концентрация теплового потока, растут давление дуги и плотность тока, что увеличивает проплавление. Вольфрамовые электроды обычно затачивают под углом 20–90°. При меньших углах снижается ресурс работы электрода, а при углах свыше 90° возможно неустойчивое горение дуги из-за блуждания катодного пятна по торцевой поверхности электрода.

Расход вольфрамовых электродов зависит от способа сварки, рода тока, диаметра электрода, силы сварочного тока, свойств свариваемых материалов. Например, расход вольфрама при сварке алюминиевых сплавов толщиной 4 мм составляет примерно 0,5 г/м шва, а при сварке коррозионно-стойких сталей – 1 г/м шва. Расход электродов при сварке переменным током почти в 1,5 раза больше, чем постоянным.

Установки для ручной сварки. Установки для сварки неплавящимся электродом включают следующие основные элементы и узлы: источник тока, который обычно конструктивно объединяется с устройством для зажигания дуги и аппаратурой управления циклом сварки и подачей защитного газа; комплект сварочных горелок на разные токи; соединительные провода и шланги. Источник питания для сварки переменным током содержит стабилизатор горения дуги.

Установка УПС-301У4 обеспечивает сварку постоянным током пульсирующей дугой и точечную сварку. В нее входят: сварочный выпрямитель с тиристорным регулированием сварочного тока; горелки; блок зажигания дуги; газовая аппаратура (клапан, ротаметры); дистанционный регулятор сварочного тока.

Установка УДГ-201УХЛ4 предназначена для многопостовой ручной аргонодуговой сварки постоянным током прямой полярности в непрерывном и импульсном режимах изделий из коррозионно-стойких сталей, титана, меди, никеля и их сплавов. Установка рассчитана на номинальный ток 200 А.

Для сварки переменным током используют установки типов УДГ-301-1 и УДГ-500-1. На базе установки УДГ-301 выпускается универсальная установка типа УДГУ-301 для сварки переменным и постоянным током.

Сварочные горелки. Горелки для ручной сварки вольфрамовым электродом (ЭЗР-4, ГР-6, ГР-10, ГСН-1 и др.) выпускаются на токи до 500 А и, как правило, имеют водяное охлаждение. Горелки с воздушным охлаждением (ЭЗР-3, ЭЗР-5) применяются в специальных случаях, например для сварки в монтажных условиях силой сварочного тока до 150 А.

Горелка должна быть легкой и удобной для сварки в труднодоступных местах. Она состоит из корпуса, рукоятки, соединительных проводов и шлангов. В рукоятке имеется кнопка включения и выключения. Для закрепления вольфрамового электрода и подвода к нему тока чаще всего применяются цанговые зажимы.

Технология и техника сварки. Вольфрамовым электродом сваривают большинство металлов постоянным током прямой полярности. Сварку алюминия, магния и бериллия ведут переменным током.

При использовании дуги прямой полярности («плюс» на изделии, «минус» на электроде) лучше условия термоэлектронной эмиссии, выше стойкость вольфрамового электрода, допускается большая сила сварочного тока. При использовании вольфрамового электрода диаметром 3 мм сила сварочного тока в случае прямой полярности составляет примерно 140–280 А, обратной – только 20–40 А. При сварке переменным током сила сварочного тока равна 100–160 А. Дуга прямой полярности легко зажигается и горит устойчиво при напряжении 10–15 В в широком диапазоне значений тока.

При сварке дугой обратной полярности возрастает ее напряжение, уменьшается устойчивость горения, резко снижается стойкость электрода, повышаются его нагрев и расход. Однако дуга обратной полярности обладает важным технологическим свойством: при ее действии с поверхности свариваемого металла удаляются оксиды и загрязнения. Это объясняется тем, что поверхность металла бомбардируется тяжелыми положительными ионами аргона, которые, перемещаясь под действием электрического поля от «плюса» (электрод) к «минусу» (изделие), разрушают оксидные пленки на свариваемом ме-

талле, а вылетающие с катода (поверхности изделия) электроны способствуют удалению этих пленок. Процесс разрушения и удаления оксидных пленок называется *катодным распылением*.

Описанное выше свойство дуги обратной полярности используют при сварке алюминиевых, магниевых и бериллиевых сплавов, имеющих прочные оксидные пленки. Но так как при постоянном токе обратной полярности стойкость вольфрамового электрода низкая, то для этой цели используют переменный ток. В этом случае удаление пленки (катодное распыление) происходит, когда свариваемое изделие является катодом. Таким образом, при сварке неплавящимся электродом переменным током в определенной степени реализуются преимущества дуги прямой и обратной полярностей, т.е. обеспечивается и устойчивость электрода и разрушение оксидных пленок.

Аргонодуговая сварка вольфрамовым электродом применяется для стыковых, угловых и нахлесточных соединений в различных пространственных положениях. Сварку металлов, имеющих высокую жидкотекучесть (алюминия, меди, магния и их сплавов), рекомендуется производить в нижнем положении. На вертикальной плоскости шов следует выполнять сверху вниз, если толщина металла до 5 мм и снизу вверх, если больше. Горизонтальных стыковых швов на вертикальной плоскости и потолочных швов следует избегать, так как при сварке возможно вытекание расплавленного металла сварочной ванны. При необходимости такие швы выполняют с разделкой кромок в несколько проходов.

Сварку вольфрамовым электродом производят без присадочной проволоки или с подачей присадочной проволоки.

На рис. 16.2 приведена характерная циклограмма процесса аргонодуговой сварки вольфрамовым электродом. Показано изменение основных параметров процесса ручной сварки: сварочного тока $I_{св}$, напряжения дуги $U_д$, скорости сварки $v_{св}$, расхода аргона $Q_г$ и дополнительного параметра – напряжения осциллятора $U_{осц}$ в течение времени цикла сварки t. Газ подают за 10–15 с до начала горения дуги, давление его составляет $(1{,}1–1{,}3) \cdot 10^5$ Па, средний расход газа для защиты зоны сварки – 10–15 л/мин, для обратной стороны шва – 30–50% основного расхода.

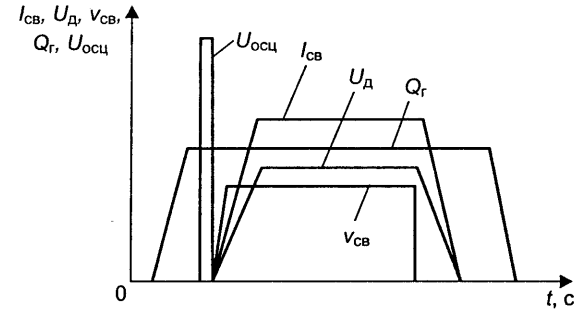


Рис. 16.2. Циклограмма процессов сварки неплавящимся электродом

Возбуждение дуги при сварке алюминия производится кратковременным разрядом тока высокой частоты и напряжения с помощью осциллятора. В случае отсутствия осциллятора дугу можно зажигать замыканием электрода и металла с помощью угольного стержня. Зажигание дуги на свариваемом металле вне разделки не допускается. Дуга зажигается на ранее наплавленном металле.

В месте начала шва необходимо разогреть кромки свариваемых элементов, плавно перемещая дугу на небольшом участке. Присадочная проволока вводится после образования сварочной ванны.

Присадочная проволока вводится в сварочную ванну возвратно-поступательными движениями небольшими порциями или серповидными колебательными движениями поперек шва. Это обеспечивает благоприятные условия для перемешивания и сплавления присадочного материала с основным.

Не следует вводить конец присадочной проволоки в столб дуги, где под действием высокой температуры она интенсивно плавится и разбрызгивается.

В процессе сварки необходимо следить, чтобы разогретый конец присадочной проволоки находился внутри потока защитного газа. Погружая проволоку в сварочную ванну, нужно одновременно слегка отводить от ванны конец вольфрамового электрода. Подача проволоки и отвод конца вольфрамового электрода должны выполняться плавно, без резких движений, которые могут нарушить истечение защитной струи аргона.

При сварке нельзя допускать касания торцом вольфрамового электрода расплавленной ванны жидкого металла. Если касание происходит, сварку необходимо прекратить, а загрязненный участок шва зачистить или вырубить. Торец вольфрамового электрода следует зашлифовать и прожечь, возбудив дугу на вспомогательном медном элементе. После вынужденного обрыва дуги сварку возобновляют на расстоянии не менее 10–15 мм от места ее обрыва, не допуская заметной выпуклости шва.

Боковая поверхность и торец электрода при правильном выборе параметров режима сварки и размеров электрода должны блестеть. Если поверхность матовая, это означает, что тепловая нагрузка на электрод превышает допустимую. Если поверхность электрода после сварки приобретает синий, черный цвет или имеет зеленый налет, значит, расход аргона недостаточен или время продувки горелки аргоном после отключения дуги мало.

Сварку выполняют наклонной горелкой «углом вперед», угол наклона к поверхности изделия составляет 70–80° (рис. 16.3). Присадочную проволоку подают под углом 10–15°. По окончании сварки дугу постепенно обрывают для заварки кратера. Для защиты охлаждающегося металла подачу газа прекращают через 10–15 с после выключения тока.

Сварка тонколистовой высоколегированной стали. Перед сваркой поверхность свариваемых кромок зачищают до блеска стальной щеткой, а затем промывают растворителем (дихлорэтаном, ацетоном) для удаления жировых и других загрязнений.

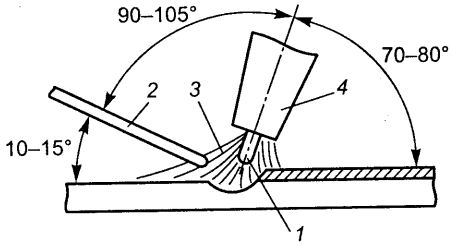


Рис. 16.3. Расположение горелки и присадочного прутка при ручной аргонодуговой сварке:
1 – электрод; *2* – присадочный пруток; *3* – защитный газ; *4* – сопло

Сталь толщиной до 3 мм включительно рекомендуется сваривать неплавящимся электродом постоянным током прямой полярности, свыше 3 мм – плавящимся электродом постоянным током обратной полярности. Сварку ведут справа налево. Ориентировочные режимы сварки стыковых швов нержавеющей стали приведены в табл. 16.1.

Табл. 16.1. **Режимы сварки стыковых швов вольфрамовым электродом**

Материал	Толщина металла, мм	Диаметр вольфрамового электрода, мм	Диаметр присадочной проволоки, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В	Расход аргона, дм³/мин
Нержавеющая сталь 04Х18Н9Т	1 2 3	2 1,6 4	1,2 1,6 2	40–70 80–100 120–160	1 2 3	3–4 5–6 6–7
Алюминий	2 3	2 3	2 3	80–100 120–140	11–13 12–15	5–6 7–8
Титан	2 3	2 3	2 3	90–100 120–140	11–12 11–13	8–10 10–12
Медь	2 3	2 3	2 3	100–120 200–220	10–14 10–15	10–12 10–14

Сварка алюминия и его сплавов. Подготовка поверхностей свариваемых кромок под сварку аналогична подготовке кромок листов из высоколегированных сталей. Кромки деталей из алюминиевых сплавов можно очищать травлением в растворе хромовой кислоты. Перед травлением кромки обезжиривают растворителем, затем их промывают горячей водой и тщательно протирают. Сварка должна производиться не позже чем через 2–3 ч после травления, иначе вновь образуется пленка оксидов. Обычно сварка выполняется слева направо. Ориентировочные режимы сварки даны в табл. 16.1.

Присадочный металл выбирают в зависимости от марки сплава: для технического алюминия – проволоку марок АО, АД или АК, для сплавов типа АМг – проволоку тех же марок, но с увеличенным (на 1–1,5%) содержанием магния для компенсации его угара. Перед сваркой поверхность проволоки обрабатывают так же, как и кромки основного металла.

Ручную аргонодуговую сварку алюминия вольфрамовым электродом ведут переменным током на установках типа УДГ-300, УДГ-500.

Сварка титана и его сплавов. Титан активно соединяется с кислородом воздуха. Поэтому при сварке титана и его сплавов нужна защита нейтральным газом всех сторон сварного соединения, нагретых выше 400 °С. Часто с обратной стороны шва делают поддув; расход аргона зависит от толщины свариваемых материалов и составляет 2–4 л/мин. Наиболее надежная защита сварного соединения достигается при сварке в герметичных камерах, заполненных аргоном, а также при использовании горелок с насадками (рис. 16.4).

Признаком удовлетворительного качества защиты и сварки можно считать отсутствие цветов побежалости на поверхности шва. Темные цвета побежалости вплоть до синего свидетельствуют о недостаточной защите металла при сварке.

Применяемый присадочный материал близок по составу к основному металлу. Режимы сварки приведены в табл. 16.1.

Сварку выполняют постоянным током прямой полярности.

Сварка меди и ее сплавов. Сваривать вольфрамовым электродом медь лучше постоянном током прямой полярности, а бронзу – можно и переменным током. В качестве присадочного материала пригодна проволока из меди и ее сплавов, которые по своему составу близки основному ме-

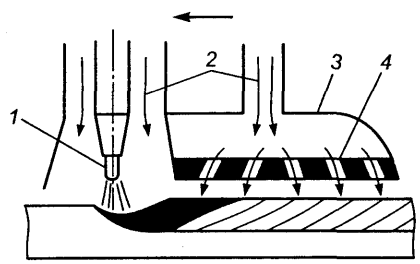


Рис. 16.4. Сварка титана с подачей защитного газа в горелку с насадкой: *1* – электрод; *2* – защитный газ; *3* – насадка; *4* – распределительная сетка

таллу, но содержат раскислители (медь М0, М1, М2; медно-кремнистая бронза БрКМц3-1, хромистая бронза БрХ0,7).

Свариваемые кромки и присадочную проволоку тщательно очищают от оксидов и загрязнения: кромку – механическим путем (шлифмашинкой, металлической щеткой), проволоку – травлением в растворе, состоящем из азотной, серной и соляной кислот, промывкой в воде, щелочи, снова в воде и сушкой горячим воздухом.

Для формирования корня шва используют подкладки из прокаленного графита или меди (с ее охлаждением водой). Металл толщиной до 5 мм сваривают, подогревая его до 350 °С. С увеличением толщины металла подогрев производят до 600–800 °С. Режимы сварки см. в табл. 16.1.

Сварка погруженной дугой. С увеличением диаметра электрода и силы сварочного тока увеличиваются давление дуги и количество вводимой теплоты. В результате воздействия дуги происходит оттеснение под электродом жидкого металла. Дуга при этом погружается в сварочную ванну, а поддержание заданного напряжения (длины дуги) достигается опусканием электрода ниже поверхности свариваемого металла. Глубина проплавления составляет 10–12 мм, расход аргона в сопло горелки – 15–20 л/мин, в приставку для защиты остывающего шва – 15–30 л/мин и на обратную сторону шва – 6–10 л/мин.

Сварка с применением флюса. На поверхность свариваемого металла наносится слой флюса небольшой толщины (0,2–0,5 мм), состоящий из соединений фтора, хлора и оксидов. Использование флюса способствует увеличению глубины проплавления металла в 1,5–2 раза. При этом производительность труда повышается на 40%.

Сварка при повышенном давлении защитного газа. Мощность дуги возрастает с увеличением давления защитного газа при неизменном токе и длине дуги. Дуга при этом сжимается, благодаря чему ее проплавляющая способность увеличивается примерно на 25–60%. Этот способ можно использовать при сварке в камерах с контролируемой атмосферой.

Импульсно-дуговая сварка вольфрамовым электродом. В качестве источника теплоты применяется импульсная (пульсирующая) дуга с целью концентрации теплового и силового воздействия ее на основной и электродный

19. Зак. 717.

металлы. В этом случае теплота на расплавление основного металла используется полнее, чем при сварке постоянной дугой.

Дуга пульсирует с заданным соотношением импульсов и паузы. Сплошной шов получается расплавлением отдельных точек с определенным перекрытием. Повторные возбуждения и устойчивость горения дуги обеспечиваются благодаря горению маломощной дежурной дуги.

Технологические преимущества сварки импульсной дугой вольфрамовым электродом в наибольшей степени проявляются при сварке тонколистовых материалов: практически отсутствуют дефекты шва, провисания и подрезы, улучшаются условия формирования шва в разных пространственных положениях, существенно уменьшаются деформации.

16.2. Сварка плазменной дугой

Плазма – ионизированный газ, содержащий электрически заряженные частицы и способный проводить электрический ток. Ионизация газа происходит при его нагреве дуговым разрядом. Степень ионизации тем выше, чем больше температура газа. Плазма характеризуется высокими температурой и электропроводностью. В центральной части сварочной дуги газ нагревается до 8000–30 000 °С и ярко светится.

Плазменную струю, используемую для сварки и резки, получают в плазмотронах, где нагревание газа и его ионизация осуществляются дуговым разрядом в специальных камерах.

Вдуваемый в камеру газ (рис. 16.5), сжимая столб дуги в канале сопла плазмотрона и охлаждая его поверхностные слои, повышает температуру столба. В результате струя проходящего газа, нагреваясь до высоких температур, ионизируется и приобретает свойства плазмы. Увеличение при нагреве объема газа в 50–100 и более раз приводит к истечению плазмы с высокими околозвуковыми скоростями. Плазменная струя легко расплавляет любой металл.

Дуговую плазменную струю для сварки и резки получают по двум основным схемам. В случае плазменной дуги прямого действия (рис. 16.5, *а*) она горит между электро-

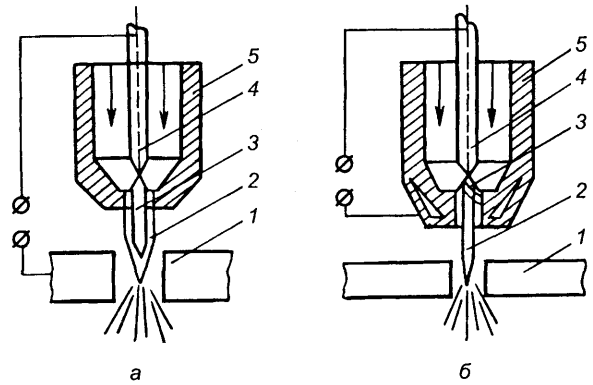


Рис. 16.5. Плазменная резка дугой прямого (*а*) и косвенного (*б*) действия:
1 – разрезаемый металл; *2* – плазменная струя; *3* – дуга; *4* – электрод; *5* – плазмотрон

дом и изделием, при плазменной дуге косвенного действия (рис. 16.5, *б*) – между электродом и поверхностью сопла.

Сжатую дугу, получаемую по первой схеме, называют *плазменной дугой*, а по второй – *плазменной струей*.

Плазмообразующий газ может служить также и защитой расплавленного металла от воздуха. В некоторых случаях для этого используют подачу отдельной струи специального, более дешевого защитного газа. Газ, перемещающийся вдоль стенок сопла, менее ионизирован и имеет пониженную температуру. Благодаря этому предупреждается расплавление сопла. Однако большинство плазменных горелок имеет дополнительное водяное охлаждение.

Дуговая плазменная струя – интенсивный источник теплоты с широким диапазоном технологических свойств. Ее можно использовать для нагрева, сварки или резки как электропроводных металлов (обе схемы рис. 16.5), так и неэлектропроводных материалов, таких как стекло, керамика (плазменная струя косвенного действия, рис. 16.5, *б*).

Тепловая эффективность дуговой плазменной струи зависит от силы сварочного тока и напряжения, расхода и скорости истечения плазмообразующего газа, расстояния от сопла до поверхности изделия, скорости перемещения

горелки (скорости сварки или резки) и т.д. Геометрическая форма струи может быть также различной (квадратной, круглой и т.д.) и определяется формой выходного отверстия сопла.

Питание плазменной дуги, как правило, осуществляется переменным или постоянным током прямой полярности («минус» на электроде). Возбуждают дугу с помощью осциллятора. Для облегчения возбуждения дуги прямого действия используют дежурную дугу, горящую между электродом и соплом горелки. Для питания плазмообразующей дуги требуются источники сварочного тока с рабочим напряжением до 120 В, а в некоторых случаях и более высоким; для питания плазмотрона, используемого для резки, оптимальное напряжение холостого хода источника питания 300 В.

Плазменной струей можно сваривать практически все металлы в нижнем и вертикальном положениях. В качестве плазмообразующего газа используют аргон или гелий, которые также могут быть и защитными. К преимуществам плазменной сварки относятся высокая производительность и малая чувствительность к колебаниям длины дуги.

Без скоса кромок можно сваривать металл толщиной до 15 мм с образованием провара специфической формы. Это объясняется образованием сквозного отверстия в основном металле, через которое плазменная струя выходит на обратную сторону изделия. Расплавляемый в передней части сварочной ванны металл под давлением плазмы перемещается вдоль стенок сварочной ванны в ее хвостовую часть, где кристаллизуется, образуя шов. По существу процесс представляет собой прорезание изделия с заваркой места резки.

Плазменной струей сваривают стыковые и угловые швы. Стыковые соединения на металле толщиной до 2 мм можно сваривать с отбортовкой кромок, при толщине свыше 10 мм рекомендуется делать скос кромок. В случае необходимости используют дополнительный присадочный металл.

Для сварки металла толщиной до 1 мм успешно используют микроплазменную сварку струей косвенного действия, в которой сила сварочного тока равна 0,1–10 А.

16.3. Сварка угольным электродом

Для сварки используют угольные или графитовые электроды, рабочий конец которых на длине 0–20 мм затачивают на конус с притуплением 1,5–2 мм.

Сварку угольным электродом выполняют только постоянным током прямой полярности. Сварка током обратной полярности вызывает сильный разогрев электрода на большой длине, быстрое его испарение и притупление острого конца. Переменный ток не используют из-за неустойчивого горения дуги. Для сварки применяют угольные и графитовые электроды различных диаметров, которые закрепляют в специальных электрододержателях, защищающих руки сварщика от ожогов.

Графитовый и угольный электроды в процессе сварки не расплавляются, их расход незначителен.

Сварку угольным электродом применяют довольно редко, преимущественно без присадочного материала для соединений с отбортовкой, за счет расплавления металла которых образуется сварной шов.

При повышенных зазорах или случайных прожогах следует использовать проволоку диаметром 1,6–2 мм, подавая ее в зону дуги для подварки. При необходимости использования присадочного металла его можно предварительно укладывать на свариваемые кромки.

Сварку угольным электродом обычно выполняют только в нижнем положении. Для стабилизации дуги применяют пасты или порошки, содержащие легкоионизируемые компоненты, наносимые на свариваемые кромки. В некоторых случаях для улучшения качества швов можно использовать флюсы такого же состава, что и при газовой сварке. Силу сварочного тока для угольных электродов выбирают в зависимости от диаметра электрода.

Дуговую сварку угольным электродом обычно выполняют без защиты зоны сварки от атмосферного воздуха. Однако в некоторых случаях можно применять углекислый газ или флюс.

Соединения с отбортовкой элементов толщиной 1,5–3 мм (1,5 + 1,5; 2 + 2; 2,5 + 2,5; 3 + 3) сваривают электродами диаметром 5–8 мм при напряжении дуги 25 В, сварочном токе 100–250 А и скорости сварки 30–45 м/ч.

16.4. Сварка под водой

Дуговая сварка под водой существенно не отличается от дуговой сварки на воздухе. Сварку под водой применяют на глубине до 40 м. При этом продолжительность непрерывной работы не превышает 15 мин. Условия работы под водой тяжелы для человека. На глубине 20 м самочувствие человека значительно ухудшается и ему очень трудно длительное время находиться под водой.

Режимы сварки под водой отличаются от режимов сварки на воздухе большим напряжением дуги (примерно на 6–7 В) и большим (на 10–25%) сварочным током, достигающим 50–60 А на 1 мм^2 диаметра электрода. Сварку выполняют постоянном током прямой полярности. Переменный ток для сварки под водой не рекомендуется. Он не обеспечивает устойчивого горения дуги и более опасен для сварщика.

Сварку под водой выполняют без боковых колебаний электрода, а перемещают электрод по линии сварки, опирая его на выступающий край козырька обмазки.

Электроды, применяемые для сварки под водой, имеют толстое водонепроницаемое покрытие, стержень изготавливают из проволоки Св-08. В отдельных случаях для электродов применяют специальную проволоку, например Св-08ГС.

Водонепроницаемость покрытия – одно из наиболее существенных требований, предъявляемых к электродам. Если покрытие недостаточно водонепроницаемо, горение дуги становится неустойчивым. Отсырев в воде, покрытие становится электропроводным, и ток со стержня проходит в воду, разлагая ее, а выделяющийся на поверхности электрода водород разрушает покрытие и делает электрод непригодным для сварки.

Во время сварки покрытие плавится медленнее, чем стержень, и на конце электрода образуется козырек. Сварку ведут, опирая электрод на козырек покрытия.

Покрытие состоит из смеси порошков – железного сурика (80%) и мела (20%) с добавлением жидкого стекла. Применяют и другие составы.

Водонепроницаемость покрытий достигается путем пропитки в расплавленном парафине, растворе целлулоида в ацетоне, растворе синтетических смол в дихлорэтане.

При необходимости для сварки под водой можно использовать электроды с толстым покрытием, предназначенные для сварки на воздухе. В таких случаях их предварительно пропитывают раствором для придания покрытию водонепроницаемости.

Ранее подводную сварку выполняли с использованием покрытых электродов марок ЭПС-52 и ЭПС-А. Электродами марки ЭПС-52 сваривали углеродистые стали, марки ЭПС-А – высокопрочные. Однако качество шва и производительность труда при использовании этих электродов были низкими.

Применение находят электроды марок ЭПС-АН1 и Э38-ЛКИ-1П для сварки углеродистых и некоторых низколегированных сталей на глубине до 20 м.

Сварку под водой выполняют с помощью электрододержателей специальной конструкции, в которых металлические части изолированы.

Химический состав и механические свойства металла, наплавленного под водой, удовлетворительны. Несмотря на не очень высокое качество сварных соединений, сварку под водой широко используют.

Тестовые задания

1. При сварке неплавящимся вольфрамовым электродом применяется защитный газ:

1) углекислый;
2) аргон;
3) азот;
4) водород.

2. Для сварки меди используют газ, являющийся по отношению к ней инертным газом:

1) углекислый;
2) аргон;
3) азот;
4) водород.

3. Баллон для аргона окрашивают в цвет:

1) белый;
2) серый;
3) красный;
4) черный.

4. Температура плавления вольфрама:

1) 660 °С; 2) 1539 °С; 3) 1668 °С; 4) 3380 °С.

5. Расход вольфрама на 1 м шва при сварке алюминиевых сплавов толщиной 4 мм составляет примерно:

1) 0,1 г; 2) 0,5 г; 3) 1 г; 4) 5 г.

6. Расход вольфрама на 1 м шва при сварке коррозионностойких сталей толщиной 4 мм составляет примерно:

1) 0,1 г; 2) 0,5 г; 3) 1 г; 4) 5 г.

7. Расход электродов при сварке переменным током больше, чем постоянным примерно в:

1) 0,5 раза; 2) 1,5 раза; 3) 3 раза; 4) 5 раз.

8. Для ручной дуговой сварки вольфрамовым электродом большинства металлов используют:

1) постоянный ток прямой полярности;
2) постоянный ток обратной полярности;
3) переменный ток;
4) сварку в углекислом газе.

9. Для ручной дуговой сварки вольфрамовым электродом алюминия и магния используют:

1) постоянный ток прямой полярности;
2) постоянный ток обратной полярности;
3) переменный ток;
4) газовую сварку.

10. При дуговой сварке алюминия неплавящимся электродом для устойчивого горения дуги применяют устройство, которое называют:

1) осциллятор; 3) прерыватель;
2) балластный реостат; 4) инвертор.

Глава 17

РУЧНАЯ ДУГОВАЯ РЕЗКА

17.1. Дуговая резка покрытыми электродами

Особенности дуговой резки. В основе процессов ***дуговой резки*** лежат расплавление металла в месте реза и удаление его за счет давления дуги или собственной массы, а в некоторых случаях и дополнительного давления воздуха.

Получили распространение несколько разновидностей дуговой резки металлов: дуговая резка покрытым металлическим электродом, дуговая резка угольным электродом, воздушно-дуговая резка, кислородно-дуговая резка, резка плазменной струей.

Дуговым способом разрезают чугуны, высоколегированные стали, цветные металлы и сплавы различного химического состава, которые не поддаются кислородной резке.

Кроме этих способов для резки высоколегированных сталей, цветных металлов и их сплавов применяют дуговую резку в среде защитных газов. Существует несколько разновидностей этой резки. К основным относят: резку в среде аргоноводородной смеси, азотнодуговую резку, резку в среде аргонокислородной смеси и в среде аргона. Применяют также дуговую резку под водой.

Способ резки металлов электрической дугой имеет некоторые недостатки: низкая производительность процесса; большой расход основного металла; недостаточная чистота реза (кромки неровные, покрытые шлаком и оплавившимся металлом, натеки на нижней кромке); качество реза обычно не высокое; на обратной стороне разрезанного металла могут образовываться натеки металла, перед последующей сваркой обычно требуется механическая обработка.

Однако этот способ резки имеет определенные преимущества по сравнению с обычной кислородной резкой: не требует специального оборудования и может выполняться

20. Зак. 717.

там же, где и дуговая сварка; возможна резка металлов и сплавов различного химического состава в любых пространственных положениях. Такая универсальность способствует эффективному применению дуговой резки при выполнении строительно-монтажных работ и во многих других случаях. Резка бывает как разделительной, так и поверхностной (для выплавления канавок в основном металле, удаления дефектов в сварных швах, литейных отливках и т.п.).

Ручная дуговая резка покрытым электродом. При такой резке металл в месте реза проплавляют электрической дугой (рис. 17.1).

Дуговая резка производится металлическими электродами со специальным толстым покрытием, которое, сгорая, выделяет теплоту или кислород, что ускоряет процесс резки.

Покрытия электродов, предназначенных для резки, должны быть более тугоплавкими, чем для сварки; этим достигается образование на конце электрода более длинного «чехольчика», что концентрирует нагрев и увеличивает производительность резки.

Для резки применяют электроды диаметром 3–10 мм. Сила сварочного тока должна быть максимально возможной. Обычно при резке покрытыми электродами сила сварочного тока примерно на 20–40% больше, чем при сварке электродами того же диаметра. Резку можно осуществлять переменным и постоянным током электродами разных диаметров и марок. При резке козырек покрытия предохраняет электрод от замыкания.

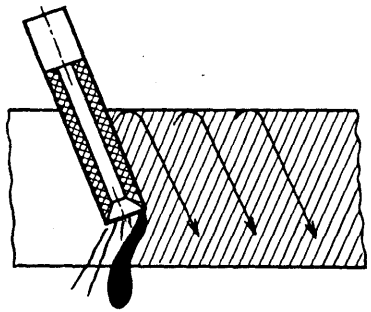


Рис. 17.1. Схема дуговой резки покрытым электродом

Производительность процесса дуговой резки определяется массой выплавленного металла в единицу времени:

$$m_в = \alpha_в I_{св} t,$$

где $\alpha_в$ – коэффициент выплавки, г/А · ч.

Производительность дуговой резки зависит от силы сварочного тока и угла наклона электрода относительно поверхности обрабатываемого металла.

Резку выполняют с использованием обычного оборудования, предназначенного для ручной дуговой сварки переменным или постоянным током.

При разделительной резке изделию придают положение, наиболее благоприятное для вытекания расплавленного металла из места реза. Обрабатываемую поверхность или кромки устанавливают (преимущественно) в вертикальное или наклонное положение. Процесс начинают в верхней части элемента, а затем перемещают дугу по мере выполнения реза по стенке вниз.

При вертикальных резах электрод ведут сверху вниз, чтобы выплавляемый металл не засорял выполненный рез.

Для отклонения дуги магнитным полем в направлении реза второй сварочный кабель присоединяют сверху у начала разреза.

Разделительную резку начинают с кромки или с середины листа. В последнем случае вначале прорезают отверстие. Затем, наклонив электрод так, чтобы кратер был расположен на торцевой кромке реза, расплавляют ее. Расплавленный металл удаляют из реза возвратно-поступательными движениями электрода.

Если толщина разрезаемого металла меньше диаметра электрода, то электрод располагают перпендикулярно к поверхности и перемещают вдоль линии реза без возвратно-поступательных движений.

При поверхностной резке электрод наклоняют к поверхности под углом 5–20° и перемещают, частично погружая его конец в образовавшуюся полость.

Широкие канавки выплавляют с поперечными колебаниями электрода в вертикальном положении. Глубина канавки зависит от скорости перемещения дуги и наклона электрода. Глубокие канавки выполняют за несколько проходов.

Для прорезания (прошивания) дугой круглых отверстий различного размера электрод устанавливают перпендикулярно к поверхности и возбуждают дугу возможно большей длины.

Большие отверстия получают таким образом: вначале прорезают электродом отверстие, несколько отступая внутрь от намеченного края реза, а затем рез продолжают, выводя его на края намеченного отверстия.

Специальные электроды для резки металлов. В группу электродов для резки металлов входят электроды, предназначенные для дуговой разделительной резки плавящимся электродом всех марок сталей (включая высоколегированные), чугунов и цветных металлов. Для резки сталей, чугунов, меди, алюминия и их сплавов применяют электроды марок ОЗР-1 и ОЗР-2 производства АО СПЕЦЭЛЕКТРОД (г. Москва), ОЗР-1М производства ЗАО МЕЖГОСМЕТИЗ (г. Мценск) и др.

Электроды выпускают диаметром 3, 4 и 5 мм, длиной – 350 мм.

Электродами производится резка, строжка, прошивка отверстий, удаление дефектных участков сварных соединений и отливок, разделка свариваемых кромок и корня шва, выполнение других подобных работ при изготовлении, монтаже и ремонте деталей и конструкций.

Скорость резки электродами диаметром 4 мм: низкоуглеродистая сталь типа Ст3 толщиной 14 мм – 12 м/ч; высоколегированная сталь типа 08Х18Н9Т толщиной 12 мм – 12 м/ч. Расход электродов на 1 кг выплавленного металла – 0,6 кг.

Резка электродами выполняется во всех пространственных положениях переменным током и постоянным током прямой и обратной полярности. Резку производят на повышенных режимах с наклоном электрода («углом вперед») в сторону, противоположную направлению резки. При этом электрод должен совершать возвратно-поступательные движения: «туда-обратно» или «сверху-вниз». Специально разработанное покрытие дает струю газа, выдувающую расплавленный металл. Электроды обеспечивают получение чистого реза (без грата и натеков на поверхности реза).

Электроды марки ОЗР-2 имеют повышенную эффективность при резке строительной стержневой арматуры

больших диаметров (время резки арматуры диаметром 16 мм составляет 2–3 с, диаметром 40 мм – 14–16 с).

Для строжки, резки и подготовки стыков к сварке применяют также специальные электроды марки ОК 21.03 шведской фирмы ESAB и электроды марки UTP 82 AS германской фирмы Böhler Thyssen.

Резка электродами для сварки. В практике для резки широко используют обычные сварочные электроды с толстым покрытием. Резка металлическим электродом применяется главным образом при монтажных работах. Она обеспечивает только грубую обработку металла. Режимы резки для разных материалов показаны в табл. 17.1.

Табл. 17.1. **Сила сварочного тока для дуговой резки покрытыми электродами некоторых металлов**

Разрезаемый материал	Толщина металла, мм	Диаметр электрода, мм	Сила тока, А
Низкоуглеродистая сталь, чугун	6–50	5	400
Коррозионно-стойкая сталь	6–25	4	225
Медные сплавы	6–12	5	300

Род тока зависит от марки электрода. На скорость разделительной резки большое влияние оказывает толщина металла, диаметр электрода и сила сварочного тока. С увеличением толщины металла скорость резки уменьшается.

Для разделительной резки арматуры железобетона, выплавки корня шва, удаления дефектов сварки, литья, а также для других целей используют покрытые электроды марки АНР-2М. Резка этими электродами наиболее удобна при наклонном положении разрезаемой детали (лучше стекает расплавляемый металл). Поверхностная резка удобней в вертикальном положении, но возможна и во всех пространственных положениях.

Дуговая резка угольным электродом. Резка металла угольным или графитовым электродом производится обычно постоянным током, в большинстве случаев прямой полярности, так как при этом на поверхности изделия выделяется большее количество теплоты. Науглероживание кромок реза затрудняет их последующую механическую резку. Ширина реза больше, чем при использовании металлического электрода. Производительность резки угольным электродом низкая, рез получается ши-

роким, с неровными кромками. Для получения более узкого реза применяют пластинчатые графитовые электроды.

Автоматическая резка металлическим электродом под слоем флюса. Наряду с ручной резкой применяют автоматическую резку металлическим электродом под слоем флюса. Этим способом можно раскраивать листы из коррозионно-стойкой стали толщиной до 30 мм. Режут на обычных автоматах для сварки проволокой Св-08 или Св-08А диаметром 4 мм под флюсом АН-348А при токе 1200 А и напряжении дуги 42–44 В.

17.2. Воздушно-дуговая и кислородно-дуговая резка

Воздушно-дуговая резка и строжка. При воздушно-дуговой резке объединяют два физических процесса: металл расплавляют теплотой электрической дуги, а затем выдувают из места реза струей сжатого воздуха (рис. 17.2).

При правильном ведении процесса расплавленный металл полностью удаляется, и поверхность основного металла вследствие кратковременности воздействия нагрева не изменяет своего состава. Окисление металла при этом происходит лишь как попутное явление, не влияющее на процесс резки.

Этот способ можно использовать для разделительной и поверхностной резки листового и профильного проката, удаления прибылей с отливок, дефектных участков свар-

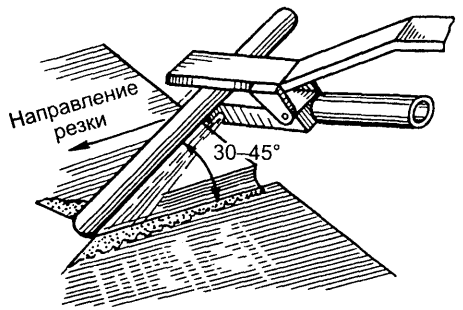


Рис. 17.2. Схема воздушно-дуговой резки

ных швов, трещин, раковин, а также для разделки канавок и съема фасок.

Резать можно в любых пространственных положениях. Качество реза такое же, как и при газокислородной резке.

При воздушно-дуговой резке и строжке (удаление поверхностного слоя) используют угольные электроды диаметром 6–12 мм, длиной 250 мм и больше. Электроды при резке нагреваются до белого свечения и быстро «сгорают». При этом стержень заостряется и образует конус. Меньше нагреваются и более устойчивы в работе угольные омедненные электроды, а также угольно-графитовые электроды.

Резку производят электродами круглого, квадратного или пластинчатого сечения. Пластинчатые электроды применяют только для поверхностной резки.

Резку выполняют специальными резаками, обеспечивающими зажатие электрода, подвод к электроду тока и подачу сжатого воздуха к месту реза. Давление сжатого воздуха должно быть не менее 0,5 МПа.

В зависимости от назначения и метода подачи воздуха применяют в основном два вида резаков: резак с обтекаемой подачей воздуха и резак с боковой подачей воздуха. Резаком с обтекаемой подачей воздуха можно производить резку в любом направлении: справа налево, слева направо, от себя, на себя. Недостатком резака с обтекаемой подачей воздуха является круговое обдувание электрода воздухом, что вызывает большой расход угольных электродов. Резку резаком с боковой подачей воздуха ведут в одном направлении (обычно справа налево), а воздух подается параллельно электроду сзади. При этом уменьшается расход воздуха.

Производительность воздушно-дуговой резки прямо пропорциональна силе тока, поэтому целесообразно применять мощные сварочные источники постоянного тока. Значения тока в зависимости от диаметра электрода приведены ниже.

Диаметр электрода, мм	6	8	10	12
Сила тока, А	120–250	160–320	250–400	350–500

Питание резака сжатым воздухом производится от цеховой сети под давлением 0,4–0,6 МПа или от сети инди-

видуального компрессора. Если давление больше – дуга обрывается, а если меньше – металл слабо выдувается.

Вылет электрода не должен превышать 100 мм. При работе электрод «обгорает» и периодически должен выдвигаться на тот же размер. Воздушный вентиль открывают до начала резки. Возбуждение дуги производится при поступлении воздуха. Выплавка металла начинается немедленно с появлением дуги, поэтому дугу надо возбуждать в намеченной точке начала строжки. При строжке электрод располагают под углом 30–45° к поверхности металла и, перемещая его рабочим концом вперед, несколько углубляют дугу.

Глубина канавки зависит от силы сварочного тока, скорости резки и угла наклона электрода. Чем больше угол наклона электрода, тем глубже выплавляемая канавка. Если нужно получить уширенные канавки, концу электрода сообщают поперечные колебания. Диаметр электрода выбирают на 2–4 мм меньше ширины выплавляемой канавки.

При использовании резаков с боковой подачей воздуха воздушные отверстия должны быть внизу по отношению к рабочему концу угольного электрода в призме электрододержателя. Движение резака производится в направлении конца электрода. После появления дуги резак двигают вперед с постоянным касанием передней кромки расплавленной ванны. Нажимать на электрод не следует, так как при нагреве он становится непрочным и может легко сломаться. Скорость перемещения принимается примерно 500–2000 мм/мин, а глубина канавки увеличивается с возрастанием силы тока, увеличением угла между электродом и металлом и с уменьшением скорости продвижения электрода. При устойчивом ведении электрода канавка получается постоянной формы с ровной поверхностью и без брызг расплавленного металла. Если требуется получить ширину канавки больше диаметра электрода, то строжка ведется с поперечными колебаниями по ширине выплавки.

В случае разделительной резки электрод располагают под углом 60–90° к поверхности изделия и при повышенной толщине металла перемещают с колебаниями конца электрода от нижней к верхней кромке реза. Этот способ

используют для разделительной резки сталей толщиной не более 25–30 мм. Если толщина металла более 20 мм, рекомендуется последовательно выплавлять канавки. При каждом последующем проходе желательно использовать электрод меньшего диаметра.

Воздушно-дуговая резка и строжка наиболее производительны при использовании постоянного тока обратной полярности.

При резке и строжке дугой прямой полярности на поверхности образуется чашеобразное углубление, по которому растекается расплавленный металл, что затрудняет удаление металла воздухом и снижает производительность процесса.

При дуге обратной полярности расплавленный металл образует форму конического выступа в связи с тем, что движение потока электронов, направленное от катода к аноду (в данном случае от изделия), как бы центрирует массу расплавленного металла, стремясь увлечь металл в своем движении. Металл, расплавленный дугой обратной полярности, более подвижен и текуч. Струя воздуха легко удаляет жидкий металл.

При резке чугуна целесообразнее применять переменный ток.

Для поверхностной или разделительной резки электродами 6 и 10 мм сила сварочного тока составит 250 и 500 А соответственно.

При резке углеродистой и нержавеющей стали применяют преимущественно постоянный ток обратной полярности, при резке цветных металлов – постоянный ток прямой полярности или переменный ток (с осциллятором). Резку ведут ручным или механизированным способом.

Преимущество воздушно-дуговой резки – ее экономичность, возможность использования недефицитных материалов и простота оборудования.

Недостатки этого способа: науглероживание металла на поверхности кромок реза, большой расход электроэнергии, необходимость применения повышенного напряжения холостого хода источника тока.

Кислородно-дуговая резка. При этом способе нагретый до расплавления электрической дугой металл сжигают струей технически чистого кислорода (рис.17.3).

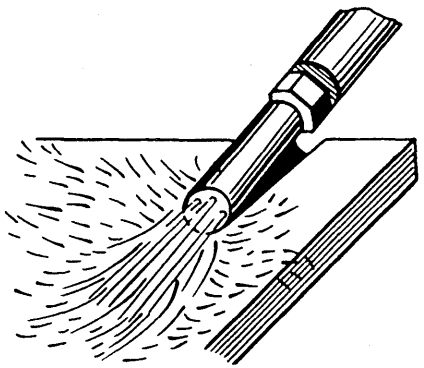


Рис. 17.3. Схема кислородно-дуговой резки

Продукты сгорания и неокисленный расплавленный металл удаляют из зоны реза струей кислорода. Обычно режущая струя кислорода следует в направлении движения электрода. Применяют специальные резаки, обеспечивающие закрепление электрода и подвод кислорода к месту реза. Резку ведут трубчатыми стальными и тугоплавкими неметаллическими (графитовыми, угольными) электродами, а также обычными стальными покрытыми электродами на постоянном и переменном токе.

Кислородно-дуговой резкой разделяют углеродистые и легированные стали, чугун, цветные металлы. По чистоте получаемого реза она почти не уступает газокислородной, а по производительности в некоторых случаях превосходит ее.

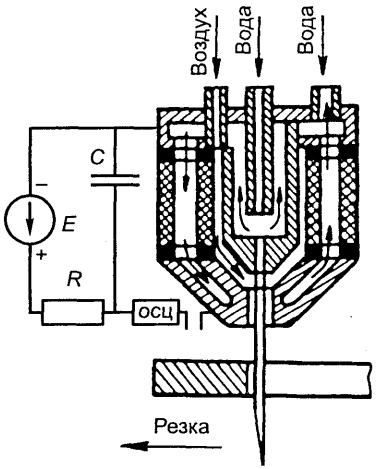
17.3. Резка плазменной струей

Резка плазменной струей основана на расплавлении металла в месте реза и его выдувании потоком плазмы (рис. 17.4). Плазменную струю применяют для резки металла различной толщины: от долей до десятков миллиметров. При резке металла малой толщины используют плазменную струю косвенного действия. Если металл имеет большую толщину, применяют плазменную струю прямого действия. Температура плазменной струи достигает 12 000 °С.

Резка плазменной струей даже углеродистых сталей во многих случаях более экономична, чем газокислородная, ввиду высокой скорости и лучшего качества реза.

В зависимости от металла в качестве плазмообразующих газов применяют азот, водород, аргоно-водородные, аргоно-азотные, азото-водородные смеси. Эффективно использование смесей газов, содержащих двухатомные газы. Диссоциируя, двухатомный газ поглощает много теплоты, которая выделяется на холодной поверхности реза при объединении свободных атомов в молекулу, что приводит к повышению температуры в зоне реза.

Рис. 17.4. Схема резки плазменной струей



Использование циркониевых и гафниевых электродов позволяет в качестве режущего газа использовать и воздух.

17.4. Дуговая подводная резка

Дуговую резку металлов под водой выполняют двумя способами: прожиганием ряда отверстий или непрерывным перемещением электрода. В первом случае при неподвижной дуге в металле образуются сквозные отверстия (проколы), а после выжигания перемычек получается сплошной гладкий рез; во втором случае резку начинают с края и ведут непрерывно.

Для резки используют стальные электроды из низкоуглеродистой проволоки диаметром 5–8 мм, длиной 500–700 мм с покрытием из железного сурика и мела. Так же как и электроды для подводной сварки, электроды для резки пропитывают водонепроницаемым составом.

Резку выполняют на большой силе сварочного тока, как правило, превышающей 500 А. В случае резки стали, например, толщиной 5–10 мм требуется сила сварочного тока 600 А, производительность резки – 4–10 м/ч

(при использовании электродов диаметром 6–7 мм). С увеличением толщины разрезаемого металла резко снижается производительность и значительно возрастает расход электродов.

Некоторые работы по разделительной дуговой резке под водой металла толщиной 5–10 мм выполняли покрытыми металлическими электродами ЭПС-52. Однако они малопроизводительны. Для повышения производительности труда сварщика-водолаза разработаны специализированные покрытые металлические электроды для подводной резки АНР-5П. Одним электродом диаметром 5 мм можно выполнить 130 мм реза на стали толщиной 14 мм.

Дуговую резку под водой так же, как и сварку, выполняют постоянным током прямой полярности.

В качестве источников питания используют обычные электросварочные агрегаты. При недостаточной мощности их соединяют по два-три на одну дугу.

Сварочная цепь должна быть оборудована автоматическим устройством, отключающим электрическую цепь при смене электродов. Сменяют электроды при выключенном токе.

Все металлические предметы водолазного снаряжения сварщика должны быть изолированы резиной, брезентом, лаком, так как любое прикосновение электрода к металлическим предметам зажигает дугу.

Иллюминатор сварщика оборудован прозрачными защитными стеклами, предохраняющими от излучения дуги. Между сварщиком и обслуживающим его персоналом обязательно должна быть телефонная связь.

Тестовые задания

1. Дуговым способом разрезают:

1) любые металлы и сплавы;
2) стали;
3) чугуны;
4) цветные металлы.

2. Дуговая резка производится металлическими электродами со специальным толстым покрытием, которое, сгорая, выделяет:

1) водород;
2) азот;
3) углекислый газ;
4) теплоту или кислород.

3. Дуговую резку можно осуществлять:

1) только переменным током;
2) только постоянным током;
3) переменным и постоянным током;
4) специальным током.

4. Дуговую резку можно выполнять:

1) только специальными электродами;
2) электродами одной марки;
3) электродами одного диаметра;
4) электродами разных диаметров и марок.

5. Производительность дуговой резки зависит от:

1) силы сварочного тока;
2) напряжения на дуге;
3) скорости сварки;
4) диаметра электрода.

6. Для отклонения дуги магнитным полем в направлении реза второй сварочный кабель присоединяют:

1) снизу у начала разреза;
2) сверху у начала разреза;
3) сбоку у начала разреза;
4) перед началом разреза.

7. Для прорезания дугой в металле круглых отверстий возбуждают дугу:

1) возможно большей длины;
2) возможно меньшей длины;
3) длиной 10 мм;
4) длиной 20 мм.

8. Для резки сталей, чугунов, меди, алюминия и их сплавов применяют специальные электроды марок:

1) ОЗР-1 и ОЗР-2;
2) АНЦ-1 и АНЦ-2;
3) ОЗА-1 и ОЗА-2;
4) МР-3 и АНО-4.

9. Резка электродами выполняется в пространственных положениях:

1) только в нижнем;
2) только в горизонтальном;
3) только в вертикальном;
4) во всех пространственных положениях.

10. Скорость резки электродом диаметром 4 мм низкоуглеродистой стали толщиной 14 мм составляет:

1) 1 м/ч; 2) 2 м/ч; 3) 12 м/ч; 4) 24 м/ч.

Глава 18

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

18.1. Металлы и их основные свойства

Признаки металлов. ***Металлы*** – вещества, обладающие высокими теплопроводностью и электрической проводимостью, блеском и другими характерными свойствами, которые обусловлены наличием в их кристаллической решетке большого числа свободно перемещающихся электронов. Этими свойствами обладают свыше 80 химических элементов и множество металлических сплавов.

Металлы разделяют на черные и цветные.

К *черным металлам* относят сплавы железа – стали и чугуны.

Цветные металлы делятся на *тяжелые* (свинец, хром, цинк, никель, тантал и др.), *легкие* (магний, алюминий, титан, натрий, берилий и др.) и *драгоценные* (серебро, золото, платина, палладий).

Сплавы двух или нескольких элементов имеют более высокие механические свойства, чем технически чистые металлы. Например, чистое железо очень мягкое и имеет невысокую прочность, а сплав железа с углеродом обладает высокой прочностью, особенно после термической обработки. Сплавы значительно дешевле чистых металлов, это также является их преимуществом.

Свойства металлов и сплавов разделяют на физические, химические, механические, технологические и эксплуатационные.

Физические свойства металлов объясняются особым строением их кристаллической решетки, а химические – строением их атомов.

Физические свойства – способность металла проводить электричество, теплоту, изменять размеры при нагревании, намагничиваться и т.д. К физическим свойствам

относятся цвет, плотность, температура плавления, теплопроводность, тепловое расширение, удельная теплоемкость, электропроводность и способность намагничиваться.

Химические свойства – способность металлов взаимодействовать с окружающей средой и другими элементами, находящимися в сплаве. Одни металлы активно соединяются с кислородом воздуха, другие не взаимодействуют с ним даже при высоких температурах. Например, железо ржавеет, медь и бронза покрываются слоем оксидов зеленого цвета, сталь окисляется при нагреве в печах без защитной атмосферы. Некоторые металлы легко растворяются в кислотах и щелочах, другие нет.

Механические свойства – способность металлов сопротивляться деформированию (изменению формы) и разрушению под действием внешних механических сил. К основным механическим свойствам относятся: прочность, твердость, пластичность, упругость, вязкость и др.

Технологические свойства – способность металлов без разрушения и образования трещин подвергаться литейным операциям, пластическим деформациям (ковке, штамповке, прокатке, волочению и т.п.) для получения нужной формы деталей, сварке для образования неразъемного надежного соединения деталей, термической обработке (отпуску, закалке, нормализации, аустенизации и т.п.) для формирования необходимой структуры и свойств, холодной механической обработке (фрезерованию, точению, сверлению, шлифованию, полированию и т.п.) для придания деталям нужной формы.

К основным технологическим свойствам металлов относятся жидкотекучесть, ковкость, штампуемость, обрабатываемость резанием, свариваемость, паяемость.

Эксплуатационные (специальные) свойства – свойства металлов сопротивляться разрушению под действием рабочих сред, когда к материалу предъявляются требования износостойкости, коррозионной стойкости, теплостойкости, жаростойкости, жаропрочности, хладостойкости и др.

Физические и химические свойства металлов подробно описываются в учебниках и справочниках по физике и химии. Мы же рассмотрим основные механические, технологические и эксплуатационные свойства металлов.

Механические свойства. *Прочность* – свойство металла сопротивляться разрушению под действием механических нагрузок. К показателям прочности относятся временное сопротивление разрыву ($\sigma_в$), предел текучести ($\sigma_{0,2}$), длительная прочность при заданной температуре и базе испытания, циклическая прочность и т.д.

Твердость – свойство металла оказывать сопротивление пластической деформации при контактном воздействии в поверхностном слое. Определение твердости металла вдавливанием стального шарика или алмазного конуса основано на оценке степени пластического деформирования металла. При испытании пластичных металлов обнаружена связь между твердостью и временным сопротивлением. Поэтому твердость металла, определяемая без разрушения готовых деталей и узлов, является важной характеристикой металла, позволяющей оценить и другие его свойства. Для хрупких металлов зависимость между временным сопротивлением и твердостью отсутствует.

Пластичность – свойство металла принимать новые форму и размеры под действием приложенных внешних сил не разрушаясь. К показателям пластичности относятся удлинение и сужение.

Упругость – свойство металла внутренними силами восстанавливать первоначальную форму после прекращения действия внешних сил.

Вязкость – свойство металла, не разрушаясь, поглощать при пластическом деформировании механическую энергию. В зависимости от характера нагрузки различают: статическую вязкость, возникающую в результате медленного приложения нагрузки, ударную – при быстром (ударном, динамическом) и циклическую – при многократно повторяющемся приложении нагрузки. В технике вязкость материала обычно отождествляют с ударной вязкостью и противопоставляют хрупкости.

Технологические свойства. *Жидкотекучесть* – свойство расплавленного металла заполнять литейную форму. Для определения жидкотекучести металла прибегают к технологическим пробам различных отливок. Мерой жидкотекучести служит длина отливки или степень заполнения металлом эталонной формы. Лучшей жидкоте-

кучестью отличаются эвтектические сплавы; чугун обладает большей жидкотекучестью, чем сталь.

Ковкость – это свойство металла подвергаться давлению в холодном и горячем состоянии без признаков разрушения. Ее определяют кузнечной пробой на осадку до заданной степени деформации. Высота образца для осадки равна обычно двум его диаметрам. Если на боковой поверхности образца трещина не появляется, считается, что образец выдержал пробу, а испытуемый материал пригоден для обработки давлением.

Штампуемость – способность металла изменять свою форму при штамповке без образования трещин и разрывов. Она зависит от химического состава, структуры и механических свойств материала. Наилучшей штампуемостью обладают низкоуглеродистые стали. С увеличением пластичности материала штампуемость улучшается, а с увеличением предела текучести – ухудшается.

Обрабатываемость резанием – свойство металла поддаваться механической обработке режущим инструментом. Одни металлы обрабатываются хорошо, другие же, имеющие высокую твердость, плохо. При обработке вязких металлов с низкой твердостью поверхность получается шероховатой с задирами. Снизить твердость стали можно термической обработкой, например отжимом.

Свариваемость – комплексная технологическая характеристика металла, определяющая его пригодность к образованию сварного соединения при рациональном технологическом процессе.

Свариваемость оценивается путем сопоставления свойств сварных соединений с одноименными свойствами основного металла или с их нормативными значениями. По показателю свариваемости стали разделяют на четыре группы: хорошо, удовлетворительно, ограниченно и плохо свариваемые стали.

Паяемость – свойство металлов и сплавов образовывать прочные и герметичные паяные соединения. Припои должны иметь температуру плавления ниже температуры плавления паяемых материалов и хорошо их смачивать.

Существуют так называемые технологические пробы, которые позволяют в производственных условиях быстро определить технологические свойства металла перед изготовлением из него детали.

Эксплуатационные свойства. *Износостойкость* – свойство материала оказывать сопротивление износу, т.е. постепенному изменению формы и размеров тела вследствие разрушения поверхностного слоя изделия при трении. Испытание металлов на износ проводят на образцах в лаборатории, а деталей – в условиях эксплуатации. При испытании образцов моделируются условия трения, близкие к реальным. Величину износа образцов или деталей определяют различными способами: измерением, взвешиванием и др.

Коррозионная стойкость – свойство металлов сопротивляться коррозии – разрушению в результате действия внешней (коррозионной) среды. Определяется химическим составом и структурой материала, наличием механических напряжений, состоянием поверхности, агрессивностью и условиями воздействия внешней среды, наличием контактов с другими материалами и т.п. Оценивается качественными показателями (макро- и микроскопическими измерениями поверхности) и количественными показателями: уменьшением толщины материала за единицу времени, временем до появления первого очага коррозии или числом этих очагов за определенное время, другими показателями.

Жаростойкость (окалиностойкость) – свойство металла противостоять химическому разрушению при высокой температуре. Жаростойкость металлов в окислительной среде обусловливается свойствами образующейся на поверхности окалины, затрудняющей диффузию газов внутрь металла и тем самым препятствующей развитию коррозии.

Оценивается удельной потерей массы Q за определенный срок наработки, линейным показателем жаростойкости ΔS, характеризующим глубину коррозии за определенное время, а также другими показателями.

Теплостойкость – свойство металла сохранять эксплуатационные характеристики в условиях механического и химического воздействия при повышенной температуре (до 550 °С).

Жаропрочность – свойство металла сопротивляться деформированию и разрушению под воздействием механических нагрузок при высокой температуре (до 1100 °С). Основным показателем жаропрочности служит предел

длительной прочности, который характеризуется как статическое напряжение растяжения, вызывающее разрушение через определенное время. Длительная прочность определяется для сталей, работающих при высоких температурах, когда в них развивается явление ползучести.

Ползучесть – свойство металла медленно и непрерывно пластически деформироваться под действием постоянной нагрузки при напряжениях, меньших предела упругости для данной стали.

Хладостойкость – свойство металла сохранять пластичность и вязкость с понижением температуры. Характеризуется температурами перехода в хрупкое состояние, или критическими температурами хрупкости, которые определяют с помощью различных механических испытаний. Температура перехода металла в хрупкое состояние называется *порогом хладноломкости*.

Трещиностойкость – свойство металла сопротивляться развитию трещин при механических нагрузках и других условиях, например при сварке.

При выборе металла для изготовления детали или конструкции учитывают свойства металла, которые должны обеспечить прочность и надежность изделия при эксплуатации (конструктивную прочность), технологические свойства (способность свариваться и подвергаться другим видам обработки), а также его стоимость.

18.2. Свариваемость материалов

Оценка свариваемости. Для сварки различных металлов и сплавов используют электроды разных марок и эффективные технологические приемы. Однако не все металлы образуют при сварке высококачественные, надежные сварные соединения.

Изменение или сохранение свойств металла при сварке вызывается комплексом одновременно происходящих процессов нагрева и плавления основного и присадочного металлов, кристаллизации металла шва и взаимной кристаллизации в зоне сплавления.

Свойство металлов образовывать при установленной технологии сварки соединение, отвечающее требованиям,

обусловленным конструкцией и эксплуатацией изделия, называют *свариваемостью*.

Свариваемость оценивается путем сопоставления свойств сварных соединений с аналогичными свойствами основного металла или их нормативными значениями.

С целью оценки свариваемости материала производят специальную пробу – пробу на свариваемость – изготовление специального образца по определенной методике. Признаком плохой свариваемости считается склонность свариваемых металлов к перегреву, образованию закалочных структур, повышению хрупкости в зоне сварки, появлению трещин в металле сварного шва и переходной зоне, других дефектов (пор, раковин, несплавлений и др.).

Технологическая и физическая свариваемость. На свариваемость металлов влияют способ сварки, химический состав присадочного металла, тип сварного соединения, толщина свариваемых элементов и др. Влияние факторов технологического характера на свариваемость металлов называют *технологической свариваемостью*.

Влияние химического состава и свойств металлов на их свариваемость называют *физической свариваемостью*.

Классификация стали по свариваемости. По степени свариваемости стали подразделяют на четыре группы: хорошо сваривающиеся, удовлетворительно сваривающиеся, сваривающиеся ограниченно и плохо сваривающиеся (табл. 18.1, 18.2). При этом критерием оценки свариваемости стали принято считать ее склонность к образованию трещин и уровень механических свойств сварного соединения по сравнению с теми же свойствами основного металла.

Хорошо сваривающиеся стали обеспечивают хорошее качество сварных соединений, что достигается применением режимов сварки в широких пределах, при любых температурах окружающего воздуха, без предварительного подогрева, без подогрева в процессе сварки и без последующей после сварки термической обработки, если она не предназначена для снятия напряжений. Стали первой группы свариваются хорошо без применения особых приемов. Это стали Ст3, 08, 10ХСНД, 09Г2, Х18Н10Т и др.

Табл. 18.1. **Группы технологической свариваемости сталей**

Группа	Оценка свариваемости	Характеристика свариваемости
I	Хорошая	Сварные соединения высокого качества получают без применения особых приемов
II	Удовлетворительная	Для получения высококачественных сварных соединений необходимы строгое соблюдение режимов сварки, специальные присадочные материалы, нормальные температурные условия, в некоторых случаях – подогрев, проковка швов, термообработка
III	Ограниченная	Для получения высококачественного сварного соединения необходимы дополнительные операции: подогрев, предварительная или последующая термообработка, проковка швов и др.
IV	Плохая	Швы склонны к образованию трещин и при сварке необходим подогрев. Последующая термообработка обязательна. Качество сварных соединений пониженное. Стали этой группы обычно не применяют для изготовления сварных конструкций

Табл. 18.2. **Классификация сталей по свариваемости**

Свариваемость	Сталь	
	углеродистая	конструкционная легированная
Хорошая	Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, 08; сталь 10, 15, 20, 25, 12кп, 15кп, 16кп, 18кп, 20кп	15Г, 20Г, 15Х, 15ХА, 20Х, 15ХМ, 14ХГС, 10ХСНД, 10ХСНД, 15ХСНД
Удовлетворительная	Ст5; сталь 30, 35	12ХН2, 12ХН3А, 14Х2МР, 10Г2МР, 20ХН3А, 20ХН, 20ХГСА, 25ХГСА, 30Х, 30ХМ
Ограниченная	Ст6; сталь 40, 45, 50	35Г, 40Г, 45Г, 40Г2, 35Х, 40Х, 45Х, 40ХН, 40ХМФА, 30ХГС, 30ХГСА, 30ХГСМ, 35ХМ, 20Х2Н4А, 4ХС, 12Х2Н4МА
Плохая	Сталь 65, 70, 75, 80, 85, У7, У8, У9, У10, У11, У12	50Г, 50Г2, 50Х, 50ХН, 45ХН3МФА, 6ХС, 7Х3, 9ХС, 8Х3, 5ХТН, 5ХНВ

Удовлетворительно сваривающиеся стали можно сваривать только при температуре окружающего воздуха не ниже +5 °С. Требуемое качество сварных соединений достигается применением специальных электродов, флюсов и режимов сварки в узких пределах. Стали этой группы подвергают термической обработке до сварки по режимам, которые зависят от марки стали и назначения свариваемого изделия. При сварке элементов большой толщины рекомендуется предварительный подогрев. Для получения высококачественных сварных соединений из сталей второй группы (30, 35, Ст6, 15ХСНД и др.) необходимо строгое соблюдение режимов сварки, специальные присадочные материалы, нормальные температурные условия, в некоторых случаях – подогрев, термообработка.

Ограниченно сваривающиеся стали обладают склонностью к образованию трещин. Режимы сварки следует соблюдать в узких пределах; механические свойства улучшают путем применения соответствующих электродов, присадочных материалов, флюсов; используют предварительный и сопутствующий подогрев (для плохо сваривающихся сталей) и последующую (после сварки) термическую обработку. Сварка допускается только при положительных температурах окружающего воздуха. Для получения высококачественных сварных соединений из сталей третьей группы (40, 50, 35Х, 30ХМА, Х25НВ и др.) необходима предварительная термообработка, иногда требуются проковка шва, подогрев.

Плохо сваривающиеся стали склонны к образованию трещин в шве и зоне термического влияния. При их сварке необходим подогрев, обязательна последующая термообработка. Обычно стали четвертой группы (45Х, 50Х, Г13, 35ХГ2 и др.) для изготовления сварных строительных конструкций не применяют.

Приближенный метод оценки свариваемости стали. Свариваемость стали можно приближенно определить по количеству легирующих элементов, эквивалентных (приравненных) углероду по формуле

$$C_э = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{10} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{5} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2},$$

где $C_э$ – эквивалент углерода, %; C, Mn, Si, Cr, Ni, Mo, V, Cu, P – содержание в стали этих элементов, %.

Легирующие элементы в различной степени влияют на свариваемость сталей. Поэтому их воздействие сравнивают с влиянием углерода – приводят к эквиваленту углерода. Установлено, что отрицательное воздействие молибдена приблизительно в 4 раза, хрома и ванадия – в 5 раз, марганца – в 6 раз, меди – в 13 раз, кремния – в 24 раза, фосфора – в 2 раза меньше влияния углерода.

Для того чтобы определить $C_э$, в формулу вместо символов подставляют процентное содержание легирующих элементов.

При $C_э < 0{,}35\%$ сталь хорошо сваривается. Если толщина свариваемых элементов менее 8 мм, то сталь хорошо сваривается при $C_э < 0{,}5\%$.

При большой толщине металла или при $C_э > 0{,}35\%$ требуется предварительный подогрев, другие технологические методы сварки или последующая термообработка.

Как видно из приведенной выше формулы, увеличение в стали содержания Si, Ni, Cu в меньшей степени влияет на ухудшение свариваемости. Ухудшает свариваемость стали увеличение содержания Mn, Cr, Mo, V и особенно фосфора (более 0,05%). Наличие в стали фосфора 0,05% и менее в формуле не учитывается.

При суммарном содержании в стали примесей марганца, кремния, хрома и никеля меньше 1% сталь хорошо сваривается, если содержание углерода не превышает 0,25%; удовлетворительно – при 0,25–0,35% углерода; ограниченно – при 0,35–0,45% углерода и плохо – при содержании углерода свыше 0,45%.

Если суммарное содержание указанных примесей составляет 1–3%, сталь сваривается хорошо при содержании до 0,20% углерода, удовлетворительно – при 0,2–0,3, ограниченно – при 0,3–0,4 и плохо сваривается при содержании более 0,4% углерода.

При суммарном содержании указанных примесей в стали свыше 3% сталь хорошо сваривается, если количество углерода не превышает 0,18%, удовлетворительно – 0,18–0,28%, ограниченно –0,28–0,38% и плохо, когда в стали более 0,38% углерода.

Формула эквивалентного углерода в сталях выведена опытным путем и не всегда отражает точную картину взаимодействия различных элементов в сварочной ванне и изменения структуры при охлаждении металла шва. Поэтому для определения свариваемости обычно сваривают специальные образцы, исследуют микроструктуру наплавленного металла и т.д. Свариваемость многих сплавов давно известна. Хорошо свариваются малоуглеродистая сталь и технически чистый алюминий. Пониженной свариваемостью отличаются многие чугуны, большинство медно-цинковых сплавов.

Особую сложность представляет сварка разнородных металлов, различающихся своими свойствами. Большая разница температур плавления, склонность к образованию хрупких соединений и другие причины вынуждают разрабатывать специальные приемы сварки, особые сварочные материалы.

Для оценки свариваемости металла берут, например, две пластины и сваривают их на нескольких режимах. Затем изготавливают образцы и определяют ударную вязкость, критическую температуру хрупкости, зернистость, твердость наплавленного металла и зоны термического влияния.

При оценке свариваемости стали помимо химического состава учитываются: форма сварной конструкции, толщина металла и его механические свойства, количество и расположение швов в конструкции, технологические особенности сварки и другие характеристики.

Влияние легирующих элементов на свариваемость стали. Углерод (C) – один из наиболее важных химических элементов, определяющих свариваемость стали. Содержание углерода в обычных конструкционных сталях до 0,25% не ухудшает свариваемости. При более высоком содержании свариваемость стали резко ухудшается, так как в зонах термического влияния образуются закалочные структуры, приводящие к трещинам. Повышенное содержание углерода в присадочном материале вызывает при сварке пористость металла шва.

Марганец (Mn) не ухудшает свариваемости стали, если его содержание не превышает 0,3 – 0,8%. В среднемарганцовистых (1,8–2,5% Mn) сталях марганец повышает их закаливаемость и склонность к образованию трещин при сварке.

21. Зак. 717.

Кремний (Si) не влияет на свариваемость стали, если его содержание не превышает 0,3%. В обычных углеродистых сталях содержится не более 0,2–0,3% кремния. В специальных сталях содержание кремния достигает 0,8–1,5%. В таких количествах кремний затрудняет сварку из-за высокой жидкотекучести стали, легкой ее окисляемости и образования тугоплавких оксидов.

Хром (Cr) содержится в низкоуглеродистых сталях в количестве 0,2–0,3%, в конструкционных 0,7–3,5%, хромистых 12–18%, хромоникелевых 9–35%. Он затрудняет сварку, так как образует химические соединения с углеродом (карбиды хрома), резко повышающие твердость металла в зонах термического влияния. Хром также содействует образованию тугоплавких оксидов, затрудняющих процесс сварки.

Никель (Ni) в низкоуглеродистых сталях содержится в количестве до 0,2 –0,3%, конструкционных 1–5%, легированных 8–35%. В некоторых сплавах содержание никеля достигает 85%. Никель увеличивает пластичность и прочность стали, измельчает зерно, не ухудшая свариваемости.

Молибден (Mo) в стали ограничивается 0,15–0,8%. Он измельчает зерно, затрудняет сварку, приводит к образованию трещин в наплавленном металле и зоне термического влияния, сильно окисляется и выгорает при сварке.

Вольфрам (W) при содержании в стали 0,8–1,8% резко увеличивает ее твердость и работоспособность при высоких температурах. Он сильно окисляется при сварке, требует хорошей защиты от кислорода, затрудняет сварку.

Ванадий (V) обычно содержится в сталях в количестве 0,2–0,8%, в штамповых сталях – 1–1,5%. Он способствует закаливаемости стали, чем затрудняет сварку. В процессе сварки активно окисляется и выгорает.

Титан (Ti) и ниобий (Nb) содержатся в коррозионностойких сталях в количестве до 1%, не усложняют сварочный процесс и не ухудшают свариваемость стали.

Медь (Cu) в специальных сталях имеется в количестве 0,3–0,8%. Медь повышает пластичность, ударную вязкость стали и не ухудшает ее свариваемость.

Сера (S) в стали в количествах, превышающих предельно допустимые, ухудшает свариваемость, вызывает появление горячих трещин.

Фосфор (P) в стали в концентрациях, превышающих предельно допустимые, ухудшает свариваемость, вызывает появление холодных трещин.

Кислород (O) содержится в сплаве в виде оксида железа, ухудшает свариваемость стали, снижая ее механические свойства.

Азот (N) образует химические соединения с железом (нитриды) в металле сварочной ванны при ее охлаждении, что снижает пластичность стали.

Водород (H) является вредной примесью. Скапливаясь в отдельных местах сварного шва, он образует газовые пузырьки, вызывает появление пористости и мелких трещин.

Тестовые задания

1. Свинец, хром, никель, цинк – это металлы:

1) тяжелые;
2) легкие;
3) драгоценные;
4) черные.

2. Магний, алюминий, титан – это металлы:

1) драгоценные;
2) черные;
3) тяжелые;
4) легкие.

3. Физические свойства металлов объясняются строением:

1) кристаллической решетки;
2) атомов;
3) сварного соединения;
4) структуры металла.

4. Свойство металлов сопротивляться разрушению под действием механических нагрузок:

1) пластичность;
2) упругость;
3) прочность;
4) вязкость.

5. Свойство металлов принимать новые формы и размеры под действием внешних сил, не разрушаясь:

1) прочность;
2) пластичность;
3) вязкость;
4) упругость.

6. Свойство металла внутренними силами восстанавливать первоначальную форму после прекращения действия внешних сил:

1) вязкость; 3) пластичность;
2) упругость; 4) прочность.

7. Ухудшает свариваемость металла, вызывает появление горячих трещин:

1) азот; 3) водород;
2) сера; 4) кислород.

8. Ухудшает свариваемость стали и снижает ее механические свойства:

1) хром; 3) оксид железа FeO;
2) цементит Fe_3C; 4) медь.

9. К группе хорошо сваривающихся относится сталь:

1) 40; 2) Ст3; 3) 35Х; 4) 15ХСНД.

10. К группе удовлетворительно сваривающихся относится сталь:

1) Х18Н10Т; 2) 50Х; 3) 35; 4) Ст3.

Глава 19

СВАРКА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

19.1. Требования к сварным конструкциям

Требования к соединениям. В зависимости от типа и назначения конструкции изменяются и конкретизируются требования, предъявляемые к сварным соединениям. Поэтому их нельзя сформулировать в общем виде. Можно лишь утверждать, что любому сварному соединению должна быть обеспечена достаточная работоспособность при минимальной трудоемкости его изготовления. Под ***работоспособностью сварного соединения*** подразумевают сохраняемую в течение всего срока эксплуатации необходимую прочность, выносливость и устойчивость при заданных видах нагружения и рабочей среде.

Прочность сварного соединения определяется механическими свойствами металла шва и околошовной зоны. Требования к пластическим и прочностным характеристикам металла шва различные и зависят от типа соединения и условий работы конструкции.

Сварные конструкции изготавливают из проката различного профиля. Различают следующие основные группы стальных прокатных изделий: сортовую сталь, листовую сталь, специальные виды прокатной стали, стальные трубы. *Сортовая сталь* – круглая, полосовая и угловая, лента, проволока, швеллеры, двутавры, рельсы и др. *Листовую сталь* толщиной до 4 мм принято считать тонколистовой, а толщиной более 4 мм – толстолистовой. К *специальным видам проката* относят бандажи, цельнокатные колеса, периодические профили, т.е. профили переменного сечения по длине полосы и др.

Требования к сварке конструкций. Технологический процесс сварки должен обеспечивать требуемые геометрические размеры швов, хорошее качество и необходимые

механические свойства сварного соединения, а также минимальные усадочные напряжения и деформации свариваемых деталей. Поэтому процесс сварки следует вести на стабильном режиме, при котором отклонения от заданных значений силы сварочного тока и напряжения на дуге не превышают 5%.

Корень шва выполняют ручной дуговой сваркой электродами диаметром не более 3–4 мм.

Свариваемые детали располагают так, чтобы обеспечить возможность наложения швов преимущественно в нижнем положении.

Выполнение каждого валика многослойного шва производят после тщательной очистки предыдущего валика от шлака и брызг металла. Участки шва с порами, трещинами и раковинами удаляют до наложения последующих валиков.

При двусторонней сварке стыков с полным проплавлением необходимо перед выполнением шва с обратной стороны удалить шлак вдоль корня шва до чистого бездефектного металла.

При образовании прожогов в процессе выполнения корня шва их следует удалить и заварить выбранные участки ручной дуговой сваркой.

Придание угловым швам вогнутого профиля и плавного перехода к основному металлу, а также выполнение стыковых швов без выпуклости обеспечивается подбором режимов сварки и соответствующим расположением деталей в процессе сварки.

Начало и конец стыкового шва выполняют за пределами сварного соединения на выводных планках, удаляемых после окончания сварки.

Размеры сечения сварных швов должны соответствовать величинам, указанным в ГОСТ 11534–75 и ГОСТ 5264–80.

По окончании сварки конструкции и швы сварных соединений очищают от шлака и брызг расплавленного металла. Приваренные сборочные и монтажные приспособления удаляют без повреждения основного металла и применения ударных воздействий, а места приварки зачищают до чистого основного металла.

К сварке стальных конструкций допускаются сварщики, прошедшие аттестацию в соответствии с утвержденными правилами. Каждый сварщик должен иметь удостоверение на право выполнения сварочных работ.

На месте производства работ сварщик должен заварить технологическую пробу в условиях, аналогичных условиям при сварке конструкций.

В условиях низких температур перед допуском к работе каждый сварщик должен сварить стыковые образцы для механических испытаний при предусмотренной технологическим процессом отрицательной температуре.

Перед сваркой особо ответственных конструкций, новых марок сталей или с использованием новых сварочных материалов сварщик должен сварить контрольные образцы в том же пространственном положении и при использовании тех же материалов и оборудования, что и при сварке монтируемых конструкций.

Браковочным показателем при испытании образцов на статическое растяжение является временное сопротивление разрыву сварного соединения, которое ниже такого же показателя основного металла.

Технология сварки должна обеспечивать безопасные условия работы сварщика.

19.2. Классификация сварных конструкций

Сварные конструкции классифицируют:

- по методу получения заготовок – листовые, листосварочные, кованосварочные, штампосварные;
- по назначению – машиностроительные, строительные, вагонные, судовые, авиационные и др.;
- в зависимости от толщины свариваемых элементов – тонкостенные и толстостенные;
- по применяемым материалам – стальные, алюминиевые, титановые и т. д.

Рассмотрим основные типы сварных элементов и конструкций.

Балки – конструктивные элементы, работающие в основном на поперечный изгиб. Жестко соединенные между собой балки образуют рамные конструкции.

Колонны – элементы, работающие преимущественно на сжатие или на сжатие с продольным изгибом.

Решетчатые конструкции представляют собой систему стержней, соединенных в узлах так, что стержни испытывают главным образом растяжение или сжатие. К ним относят фермы, мачты, арматурные сетки и каркасы.

Оболочковые конструкции, как правило, испытывают избыточное давление, к ним предъявляют требование герметичности соединений. К этому типу относят различные емкости, сосуды и трубопроводы.

Корпусные транспортные конструкции подвергаются динамическим нагрузкам. Они должны удовлетворять требованиям высокой жесткости при минимальной массе. Основные конструкции данного типа – кузова автомобилей, корпуса судов, вагонов.

Детали машин и ***приборов*** работают преимущественно при переменных, многократно повторяющихся нагрузках. К ним предъявляется требование точных размеров, обеспечиваемое главным образом механической обработкой заготовок или готовых деталей. Примерами таких изделий являются станины, валы, колеса.

19.3. Технологичность сварных конструкций

Технологичной называют конструкцию (изделие), которую можно изготовить с применением производительных способов сварки, соответствующую техническим условиям, экономичную, обладающую необходимыми прочностью и надежностью. Факторы, характеризующие технологичность сварной конструкции, взаимосвязаны между собой.

Наиболее целесообразны конструкции, при сварке которых можно использовать прямолинейные, кольцевые или круговые сварные соединения. Следует минимально применять перекрещивающиеся и близко расположенные друг к другу сварные швы. Пересекающиеся сварные швы нежелательны. Расположение сварных швов должно обеспечивать минимальное число изменений положения и кантовки свариваемых деталей.

Выбранный для сварной конструкции материал должен обладать хорошей свариваемостью. Желательно, чтобы свариваемые детали были изготовлены из материалов с однородными физико-механическими свойствами. Недопустима большая разница в толщине свариваемых элементов. Максимальная толщина заготовок, соединяемых без скоса кромок ручной дуговой сваркой, не должна превышать 4 мм при односторонней сварке и 6 мм при двусторонней.

19.4. Технологическая документация

Технологический процесс сварки узла (изделия) представляет собой описание последовательно выполняемых операций подготовки деталей к сварке, сварки этих деталей и последующей обработки.

Технологический процесс разрабатывают на основе рабочих чертежей, с учетом стандартов, заводских и отраслевых норм. При этом технологи стараются изыскать наиболее экономичный способ изготовления изделия, обеспечивающий высокое его качество.

Описание технологического процесса оформляют на специальных бланках, называемых *маршрутами* или *технологическими картами*. Подробность изложения технологического процесса сварки деталей зависит от вида производства (массовое, серийное, мелкосерийное, опытное и т.д.).

В технологической карте приводят свариваемые материалы, виды сварки, применяемое оборудование, присадочные материалы, сварочные приспособления, последовательность сварки швов, режимы сварки, размеры сварных швов и др. Кроме того, указывают способ сварки, марку и диаметр электрода, смещение электрода с зенита, скорость сварки, число слоев, полярность тока, силу сварочного тока и др.

Детали, предназначенные для сварки, должны быть тщательно очищены от грязи, масла и ржавчины. Не принимаются к сварке детали, имеющие трещины и изломы.

Содержание контроля указывают в технологической карте. В зависимости от способа и объема контроля может заполняться специальная карта контроля. Например, при радиографическом контроле, ультразвуковой дефектоскопии оформляют специальные карты. В таких технологических картах содержание контроля оформлено более подробно, чем в маршрутной или пооперационной карте.

22. Зак. 717.

Нормы дефектов в сварных швах, допустимых без исправления, указывают в технологических картах. Основанием для этих данных являются инструкции и технические условия, зафиксированные в чертежах изделия.

В технологической карте указывают, кем осуществляется технический контроль. Контролю подлежат все без исключения технологические операции, выполняемые рабочими. В технологическом процессе отмечают, кем выполняется данная операция контроля (сварщиком, мастером или контролером).

19.5. Сборка и прихватка деталей

Инструменты для разметки и наметки. Для выполнения разметочных и наметочных работ при изготовлении деталей и сборке конструкций применяют измерительный и чертежный инструмент.

Для измерения и контроля линейных размеров используют стальные рулетки и линейки.

Измерительные металлические рулетки в зависимости от требуемой точности замеров выпускают 2-го, 3-го классов точности длиной 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 75, 100 м. На заводах металлоконструкций применяют в основном рулетки 3-го класса точности. Для разметочных и наметочных работ используют рулетки 2-го класса.

Измерительные металлические линейки имеют шкалу, цена деления которой 1 мм, т.е. погрешность отсчета по линейке составляет 1 мм. Линейки выпускают с одной или двумя шкалами и верхним пределом измерений 150, 300, 500, 1000 мм.

К чертежным инструментам относят угольники, чертилки, циркуль, штангенциркуль, слесарные и контрольные кернеры, рейсмусы (рис. 19.1).

Поверочные угольники 90° применяют для проверки прямых углов и нанесения на поверхности металла поперечных линий. На заводах металлоконструкций используют угольники типов УЛП – лекальные плоские, УП – слесарные плоские, УШ – слесарные с широким основанием. Угольники выпускают трех классов точности.

Чертилки (рис. 19.1, *а*) применяют для нанесения линий на поверхность металла. Изготавливают их из высо-

коуглеродистой твердой стали. Для повышения стойкости к истиранию рабочей части на острие чертилки напаивают победит или другой сверхтвердый сплав.

Разметочные циркули изготавливают двух типов: с дугой – тип А (рис. 19.1, *б*) и без дуги – тип В.

Штангенциркуль (рис. 19.1, *в*) служит для замеров и вычерчивания окружности радиусом до 1000 мм. Он состоит из деревянной рейки с двумя стальными движками, на которых прикреплены чертилки с упорными винтами.

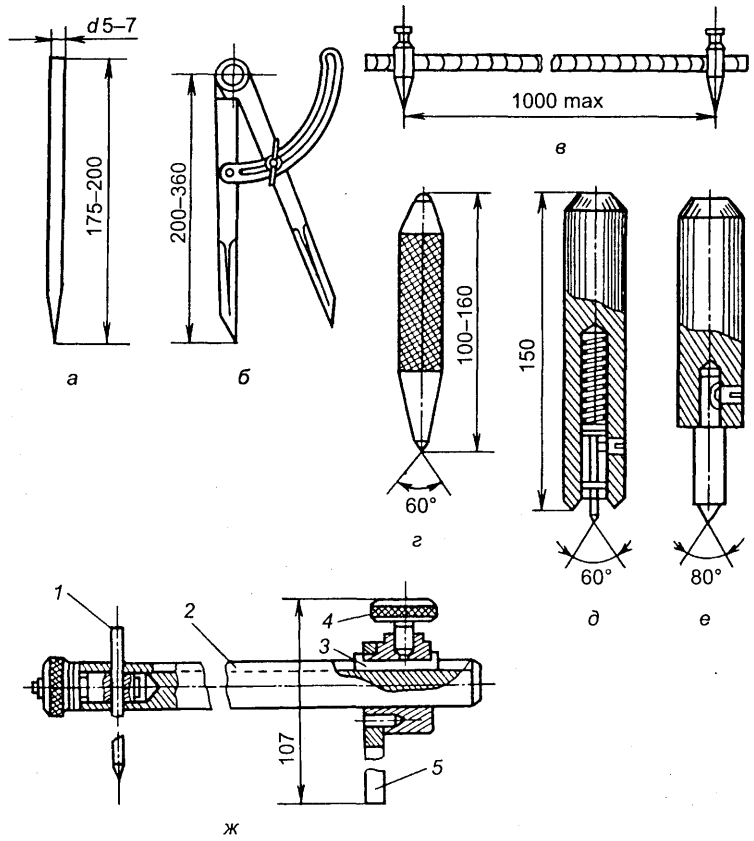


Рис. 19.1. Чертежные инструменты для разметки и наметки

Кернеры имеют заостренный и закаленный конец, которым набивают керны (углубления) по размеченной линии на металле через 50 – 70 мм в центрах отверстий для направления сверла в начале сверления (рис. 19.1, *г*).

Контрольные кернеры (рис. 19.1, *д*) предназначены для нанесения контрольного кольца диаметром на 1–2 мм больше, чем диаметр отверстия. Контрольный кернер имеет цилиндрический корпус с острым кольцевым ножом на конце, центроловитель, пружину и винт.

Центровые кернеры (рис. 19.1, *е*) различных диаметров используют для наметки центра отверстий через отверстия в металлических шаблонах.

Для нанесения контрольного кольца совмещают заостренный конец центроловителя с керном (углублением), набитым кернером в центре отверстия, и ударяют молотком по торцу корпуса кернера. Острый кольцевой нож оставляет на металле окружность соответствующего диаметра.

Рейсмус (рис. 19.1, *ж*) применяют для нанесения продольных рисок параллельно строганой кромке в листовой детали или прокатной кромке в деталях из угловой, швеллерной или двутавровой стали. Он состоит из строганой планки *5* и штанги *2* с чертилкой *1*, соединенных под прямым углом во втулке *3*. Положение чертилки относительно планки регулируется передвижением штанги во втулке с закреплением ее стопорным винтом *4*.

Рейсмус передвигают вдоль размечаемой детали, плотно прижимая его планку к кромке, параллельно которой чертилкой наносят нужную линию.

Сборка деталей. Комплексная механизация сварочных работ предусматривает замену физического труда при выполнении не только собственно сварочных работ, но и вспомогательных, связанных с изготовлением сварных конструкций и требующих значительных затрат ручного труда.

Более 30% общей трудоемкости изготовления сварных деталей и узлов составляют затраты труда на сборку деталей под сварку. Ее выполняют несколькими методами.

Наиболее рационален *метод узловой сборки*, предусматривающий сборку и сварку отдельных узлов, из которых состоит конструкция, а затем сборку и сварку всей конструкции.

При изготовлении сварных конструкций широко используют так называемый *метод общей сборки* сварной конструкции. Он заключается в том, что вначале собирают всю конструкцию, а затем ее сваривают. Если это не удается сделать, то детали последовательно присоединяют к уже сваренной конструкции.

Узловую сборку выполняют в различных сборочно-сварочных приспособлениях, что дает возможность вести работу широким фронтом, эффективно использовать производственные площади, обеспечивать высокую производительность труда и хорошее качество сварных изделий. Таковы преимущества этого способа сборки деталей под сварку.

К недостаткам узловой сборки относится то, что ее выполняют более квалифицированные рабочие, чем общую сборку всей конструкции из отдельных элементов. При общей сборке допускается подгонка деталей по месту, а при узловой – детали изготавливают точно по размерам.

Зазоры в стыковых соединениях должны быть равномерными и не превышать 2 мм.

В соединениях внахлестку и втавр элементы плотно прилегают друг к другу. Зазоры в таких соединениях допускаются равными 2–4 мм (в зависимости от толщины свариваемых элементов).

Не допускается сборка деталей под напряжением с помощью хомутов или других способов стягивания соединяемых элементов, создающих в них остаточные напряжения.

Для сборки под сварку применяют специальные и универсальные приспособления. Первые предназначены для сборки данного конкретного узла, вторые – для сборки различных конструкций.

Использование специальных приспособлений дает возможность собрать заранее обработанные детали, исключает необходимость разметки и подгонки соединяемых деталей, уменьшает деформацию свариваемых узлов. Специальные приспособления обеспечивают большую точность сборки деталей под сварку, чем универсальные. Они также позволяют получить сварные детали и узлы более высокого качества.

Приспособления, применяемые при изготовлении сварных изделий, различают по назначению: для сборки под сварку; для сварки уже собранных деталей; для сбор-

ки и сварки деталей (так называемые комбинированные сборочно-сварочные приспособления).

Комбинированные приспособления должны быть достаточно прочными и жесткими, чтобы сохранять свою форму и размеры под воздействием усилий, возникающих в конструкции при нагреве в процессе сварки и при усадке сварных швов.

Рациональной является такая технология сборки деталей, которая обеспечивает необходимое качество сварного соединения и шва при минимальных требованиях к сборке.

Прихватка деталей. С увеличением толщины свариваемых кромок увеличиваются высота, длина и шаг прихваток. Поперечное сечение прихватки не должно превышать 1/2–1/3 сечения полного шва.

В местах резких переходов, в острых углах, на окружностях малого радиуса и в других местах концентрации напряжений установка прихваток не разрешается.

Прихватки не следует устанавливать вблизи отверстий, на расстоянии менее 10 мм от отверстия или от края детали.

В случае сборки фланцев, цилиндров, шайб, трубчатых соединений и т.п. прихватки следует располагать симметрично. При двусторонней прихватке деталей их следует располагать в шахматном порядке.

Если сборочные приспособления, в которых закреплены элементы узла, пригодны для выполнения в них сварки, нет необходимости в постановке прихваток.

Сборку сварных конструкций из листов толщиной 6–8 мм и более не рекомендуется вести на сварочных прихватках. Это объясняется тем, что при большой толщине свариваемых листов прихватки сдерживают перемещение деталей, что приводит к образованию трещин в прихватках. С увеличением толщины свариваемых листов в прихватках увеличиваются растягивающие силы и вероятность образования в них трещин возрастает.

Прихватки следует ставить в такой последовательности, которая исключает или сводит до минимума коробление листов.

Сборку длинных листов начинают с постановки прихваток на одном, а затем на другом концах соединений, третью прихватку ставят посередине. Остальные прихватки ставят между ними.

Прихватку длинных листов соединений втавр начинают с середины соединения. Когда первая прихватка поставлена, последующие ставят вначале от середины к одному концу, а затем от середины к другому концу.

Стойки и раскосы прихватывают поочередно вначале к одному поясу, а затем между собой. Если между поясами несколько узлов, сборку и прихватку начинают со среднего узла.

Сила сварочного тока при прихватке должна быть на 20–30% больше, чем при сварке тех же материалов.

Прихватку следует выполнять электродами меньшего диаметра, чем сварку той же детали; длина дуги при этом должна быть короткой, не более диаметра электрода; дугу следует отрывать не в момент образования кратера, а после его заполнения.

После выполнения прихватки толстообмазанными электродами остатки шлака полностью удаляют с помощью зубила, молотка и металлической щетки.

При постановке прихваток на соединениях из элементов разной толщины дугу направляют на элемент большей толщины. В прихватках таких соединений могут образовываться трещины. В этом случае после полного охлаждения прихватки с трещиной в непосредственной от нее близости устанавливают новую прихватку, а прихватку с трещиной заваривают.

Сварочные работы, выполняемые в цехе. Большую часть строительных металлических конструкций изготавливают с помощью сварки. Основным способом сварки является дуговая. Широко применяют механизированную сварку в защитном газе и порошковой проволокой. Используют также ручную дуговую, автоматическую под флюсом, давлением (контактную) и другие способы сварки.

Элементы стальных строительных конструкций собирают на заводах из обработанных прокатных профилей стали. Поступающий на завод стальной прокат разгружают в цехе подготовки металла, сортируют по маркам сталей, профилям, размерам и укладывают в штабеля. Металлопрокат при необходимости предварительно правят на вальцах, кулачковых или горизонтальных прессах и огрунтовывают.

Затем металл поступает в цех обработки, где выполняют разметку, резку и обработку деталей для последующей сборки элементов сварных конструкций. На современных заводах получили распространение автоматические поточные линии по обработке деталей без предварительной разметки. После обработки детали поступают на склад полуфабрикатов, а затем в сборочные и сварочные цеха.

Элементы конструкций собирают и сваривают из полуфабрикатов на специально оборудованных стеллажах, кондукторах, стендах, вращателях, манипуляторах, сборочно-сварочных поточных линиях и автоматизированных установках.

Для сборки конструкций широко применяют инвентарные сборочные приспособления, различного рода струбцины, клинья, упоры, эксцентриковые зажимы, стяжные уголки, домкраты, клиновые стяжные приспособления, винтовые распорки, пневматические и магнитные фиксаторы, скобы и т.п.

Для сварки конструкций используют разнообразное сварочное оборудование.

Из общего объема сварочных работ, выполняемых на заводах, значительная часть приходится на сварку элементов листовых конструкций.

Сварочные работы на монтажной площадке. Сварке на монтажной площадке присущи следующие особенности: сварку выполняют в разных пространственных положениях; ее ведут при разной температуре окружающего воздуха; сварочные работы выполняют на открытой монтажной площадке.

Вследствие особенностей сварочных работ на монтажной площадке ручная дуговая сварка плавящимся электродом продолжает оставаться основным способом соединения элементов строительных конструкций. Однако автоматические и механизированные способы сварки постепенно внедряются в практику монтажных работ.

19.6. Особенности сварки некоторых конструкций

Сварка балок. Наиболее распространены сварные двутавровые балки. Их обычно изготавливают из двух горизонтальных листов, называемых полками, и одного вертикального листа – стенки. В зависимости от длины сварной балки каждую из ее деталей собирают из одной, двух или трех частей. Вначале собирают элементы балки, устанавливая на нижний лист стенку, а затем прихватывают к ней верхнюю полку.

Сборка балки должна обеспечивать симметрию и взаимную перпендикулярность полок и стенок, прижатие их друг к другу и закрепление прихватками.

Стенку устанавливают по разметке и фиксируют ее положение на нижнем и верхнем листах, предварительно закрепленных на прихватках с короткими уголками-упорами. Затем балку устанавливают в кольцо-кантователь, который дает возможность перекатывать ее по мере сварки. Вертикальные ребра жесткости устанавливают и приваривают после сварки поясных швов. Приемы выполнения поясных швов различны. Шов «в лодочку» обеспечивает лучшие условия его формирования и проплавления, однако при этом приходится поворачивать изделие после сварки каждого шва.

Принятая технология должна обеспечивать не только высокое качество сварных соединений, но и минимальные напряжения и деформации при сварке балки. Соблюдение этих условий необходимо для эффективного использования сварных балок в конструкциях, где прокатные балки по условиям прочности не могут быть применены (перекрытие зданий, подкрановые пути, колонны, мосты и др.).

В прокатных балках (рис. 19.2, *а*) монтажные стыковые швы выполняют сначала на толстом, а затем на тонком металле. Поэтому сначала накладывают швы полок (*1* и *2*), а затем – стенки (*3*).

В балках с совмещенным стыком (рис. 19.2, *б*) угловые швы соединения стенки с полкой (*4*) выполняют в последнюю очередь. Продольные швы не доводят до конца балки на величину, равную одной ширине полки (низкоуглеродистая сталь) или двум (легированная сталь).

В балках со смещенным стыком (рис. 19.2, *в*) последовательность выполнения швов следующая. Если толщина полок разная, то вначале выполняют стыковой шов полки с большей толщиной (*1*), а затем с меньшей (*2*). Желательно, чтобы угловые швы (*4*) накладывали одновременно два сварщика от концов к середине монтажного стыка.

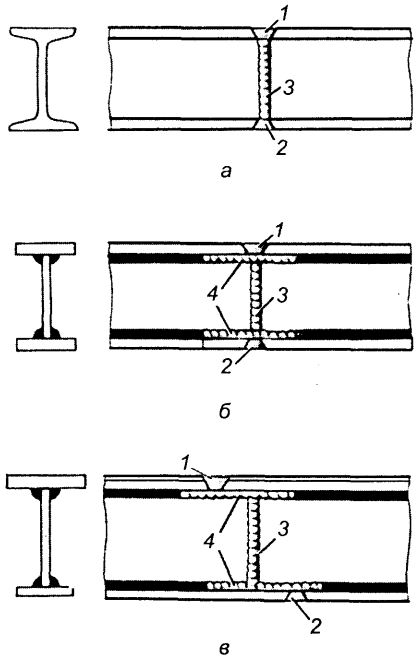


Рис. 19.2. Сварка балок

Сварка ферм. Металлические сварные фермы широко используют при строительстве промышленных и гражданских зданий, мостов, мачт, вышек и т.д. Это объясняется высокой прочностью и жесткостью ферм и небольшими затратами металла на их производство.

Технологический процесс сварки металлической фермы начинается с изготовления ее элементов: уголков, швеллеров, косынок по заданным чертежам. Изготовленные элементы фермы собирают на стеллаже или в стапелях и скрепляют короткими сварными швами. Если сборка велась на стеллаже, то затем по всей длине фермы устанавливают фиксирующие винтовые прижимы – фиксаторы, которые определяют геометрические размеры собранной фермы.

Собранную ферму снимают со стеллажа для сварки, а стеллаж с установленными на нем фиксаторами используют для сборки следующей фермы.

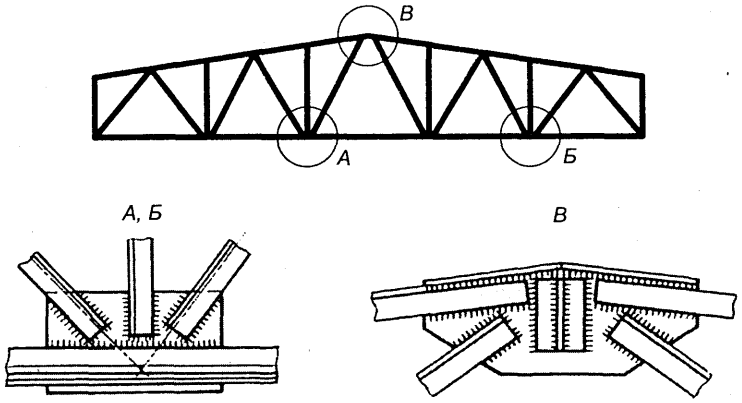


Рис. 19.3. Сварка фермы и ее узлов *А*, *Б*, *В*

Последовательность наложения сварных швов при сварке фермы, собранной на прихватках, должна соответствовать технологии, предусматривающей получение минимальных короблений, допустимых без последующей рихтовки фермы.

Узлы фермы (рис. 19.3) сваривают последовательно – от середины фермы к опорным узлам. Сначала выполняют стыковые, а затем угловые швы. Если швы – разного сечения, то вначале накладывают швы с большим сечением, а затем – с меньшим.

Каждый элемент при сборке прихватывают швом длиной 30–40 мм. Близко расположенные швы нельзя выполнять сразу. Вначале дают остыть тому участку основного металла, где будет накладываться близко расположенный шов. Это снизит перегрев металла и пластические деформации.

Конец продольного шва выводят на торец привариваемого элемента на длину 20 мм (рис. 19.4).

Последовательность выполнения продольных швов показана на рис. 19.5.

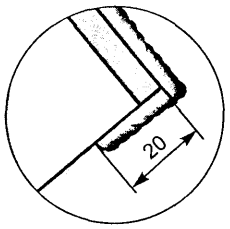


Рис. 19.4. Вывод конца продольного шва на торец привариваемого элемента

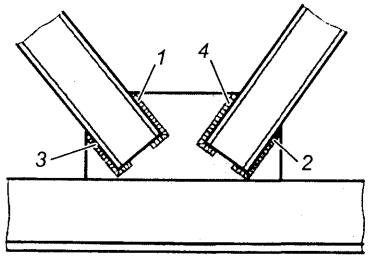


Рис. 19.5. Последовательность выполнения продольных швов

Сварка трубчатых конструкций. При подготовке труб к сборке и сварке требуется фигурная обрезка концов на специальных газорезательных машинах. Иногда концы труб относительно небольших диаметров сплющивают, что упрощает их соединение в узлах дуговой сваркой. Сплющенные на концах трубы можно соединять в пространственный узел ванной сваркой. В этом случае торцы сплющенных частей образуют ограниченное с боковых сторон пространство, куда в процессе сварки вводят электрод или гребенку электродов.

Трубчатые конструкции сваривают преимущественно ручной дуговой сваркой, соединяя трубчатые стойки и раскосы с трубчатыми поясами непосредственно или с помощью соединительных деталей. К соединительной детали могут быть приварены один или несколько трубчатых элементов.

Сварка арматурных стержней. Сварные арматурные конструкции (рис. 19.6) из стальных прокатных стержней различного диаметра (12–80 мм) более экономичны, чем вязаная арматура. Например, при сварке каркаса железобетонных балок потребность металла для сварных сеток уменьшается примерно на 15%, а затраты времени сокращаются почти в 2 раза; в случае изготовления железобетонных плит экономия составляет 10–60% (при использовании сварной арматуры).

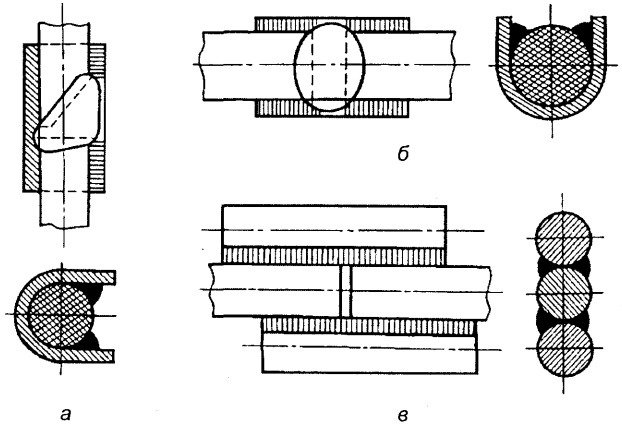


Рис. 19.6. Сварка стыков арматуры железобетона:
а – ванная горизонтальных; *б* – ванная вертикальных; *в* – шовная

Сварная арматура по сравнению с вязаной делает несущие железобетонные конструкции более прочными, жесткими и менее трудоемкими.

При изготовлении арматурных конструкций в заводских условиях для увеличения прочности бетонных сооружений наряду с ручной дуговой сваркой используют контактную и другие высокопроизводительные способы сварки. На монтажных и строительных площадках при сварке узлов и блоков арматуры чаще используют ручную дуговую сварку.

При монтаже арматуры наибольшее распространение получило стыковое соединение стержней. Такие соединения часто выполняют с помощью круглых накладок длиной, равной примерно 10 диаметрам стыкуемых стержней. Накладки устанавливают с двух сторон стыкуемого стержня, прихватывают к основному стержню в четырех местах и сваривают только с одной стороны. Для уменьшения коробления арматуры сварку накладок ведут от середины к их концам.

Сварка корпусных конструкций. К сварным соединениям и швам толстостенных конструкций сосудов, котлов, химической арматуры, резервуаров, цистерн, морских и речных судов, работающих под давлением при повышенных температурах и в других сложных эксплуатационных условиях, предъявляют высокие технические требования.

Высокая прочность и хорошее качество сварки этих изделий достигаются прежде всего строгим соблюдением технологии. Вначале сваривают соединения отдельных цилиндрических поясов, свальцованных по заданным радиусам. Сварные швы этих соединений в большинстве стыковые, реже внахлестку, прямолинейные, расположенные по образующей этих элементов.

Пояса устанавливают на сварные днища, начиная с нижнего пояса, сваривают с днищем и далее, наращивая

пояса, выполняют сварку вертикально расположенного изделия поперечными кольцевыми швами.

Кроме того, используют специальные стеллажи с роликами. Поворачивая конструкцию при сборке и сварке, накладывают сварные швы в нижнем положении.

Для перечисленных выше конструкций применяют листы толщиной 10, 20, 24, 36 мм и более. Листы соединяют встык многослойными швами с Х-, V- и К-образной разделками для кольцевых и продольных соединений.

Сварку некоторых конструкций из листов толщиной 24–36 мм ведут одновременно с двух сторон разделки. При этом хорошо прогревается вся толщина стыка и устраняются деформации листов. Секции сваривают без длительных перерывов, применяя способ сварки «горкой» для предотвращения и уменьшения деформаций.

Последовательность выполнения швов в резервуаре и в настиле показана на рис. 19.7.

Сварка трубопроводов. Широко используются конструкции из труб диаметром от 50 до 1420 мм. Толщина стенки труб составляет от 2,5 до 25 мм и более. Количество слоев при сварке стыков трубопроводов зависит от толщины стенки:

Толщина стенки, мм	4–6	7–11	12–14	15–17	18–22	23–25
Число слоев	2	3	4	5	6	7

На рис. 19.8 показана последовательность выполнения швов при сварке неповоротных стыков труб.

Корневой шов выполняют электродом диаметром 3 мм. После каждого прохода обязательно зачищают поверхность предыдущего шва от шлака. Сварку ведут возможно короткой дугой. Облицовочный шов должен иметь плавное сопряжение с поверхностью трубы.

Ширина шва должна перекрывать ширину разделки на 1,5–2 мм в каждую сторону.

Стыки труб диаметром 219 мм и менее независимо от толщины стенки выполняет один сварщик. Стыки труб диаметром 219 мм и более сваривают одновременно два сварщика.

Сварку труб производят также с поворотом на 90 и 180°.

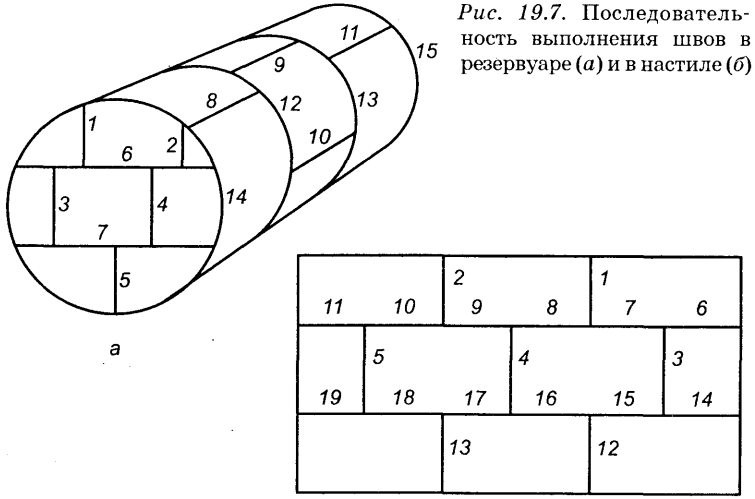


Рис. 19.7. Последовательность выполнения швов в резервуаре (*а*) и в настиле (*б*)

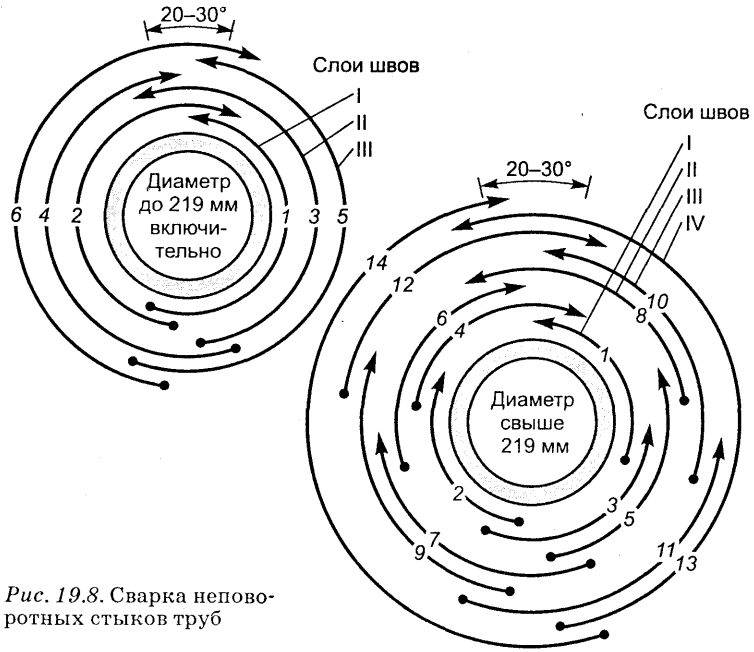


Рис. 19.8. Сварка неповоротных стыков труб

Тестовые задания

1. Конструкции и конструктивные элементы, работающие в основном на поперечный изгиб:

1) балки;
2) фермы;
3) резервуары;
4) решетки.

2. Жестко соединенные между собой балки образуют конструкции:

1) рамы;
2) решетки;
3) колонны;
4) фермы.

3. Конструкции и конструктивные элементы, работающие преимущественно на сжатие или на сжатие с продольным изгибом:

1) рамы;
2) решетки;
3) колонны;
4) фермы.

4. Оболочковыми сварными конструкциями являются:

1) рамы;
2) фермы;
3) резервуары;
4) решетки.

5. Описание технологического процесса оформляют на специальных бланках, которые называют:

1) технологическая карта;
2) технологическая сводка;
3) технологическая ведомость;
4) технологическая запись.

6. Часть конструкции, представляющая собой соединение двух или нескольких деталей при помощи сварки:

1) инжектор;
2) осциллятор;
3) манипулятор;
4) сварной узел.

7. Метод сборки, предусматривающий сборку и сварку отдельных узлов, из которых состоит конструкция, а затем сборку и сварку всей конструкции:

1) метод узловой сборки;
2) метод общей сборки;
3) метод рациональной сборки;
4) метод сборки под заказ.

8. Метод сборки, при котором вначале собирают всю конструкцию, а затем ее сваривают:

1) метод узловой сборки;
2) метод общей сборки;
3) метод рациональной сборки;
4) метод сборки под заказ.

9. Прихватки следует устанавливать от края детали или от отверстия на расстоянии не менее:

1) 5 мм; 2) 10 мм; 3) 15 мм; 4) 50 мм.

10. Корневой шов трубопроводов выполняют электродом диаметром:

1) 2 мм; 2) 3 мм; 3) 4 мм; 4) 5 мм.

Глава 20

ДЕФЕКТЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

20.1. Классификация дефектов

Дефектами в сварных соединениях называют отклонения от норм, предусмотренных стандартами и техническими условиями.

В сварных соединениях, выполненных сваркой плавлением, различают дефекты в зависимости от причин возникновения и места их расположения.

В зависимости от причин возникновения дефекты можно разделить на две группы.

К первой группе относятся дефекты, связанные с металлургическими и тепловыми явлениями, происходящими в процессе образования, формирования и кристаллизации сварочной ванны и остывания сварного соединения: горячие и холодные трещины в металле шва и околошовной зоне, поры, шлаковые включения, неблагоприятные изменения свойств металла шва и зоны термического влияния.

Вторую группу составляют дефекты формирования швов, т.е. дефекты, происхождение которых связано в основном с нарушением режима сварки, неправильной подготовкой и сборкой элементов конструкции под сварку, неисправностью оборудования, небрежностью и низкой квалификацией сварщика и другими нарушениями технологического процесса. К таким дефектам относятся: несоответствие швов расчетным размерам, непровары, подрезы, прожоги, наплывы, незаваренные кратеры и др.

Сварочные дефекты классифицируют по форме, величине, массовости и расположению в шве (рис. 20.1).

В зависимости от места нахождения дефекты условно делят на наружные и внутренние.

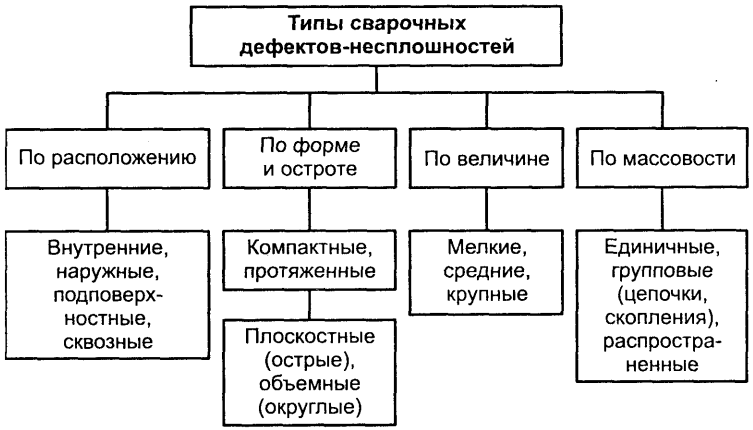


Рис. 20.1. Классификация дефектов сварных швов

Наружные (внешние) дефекты – это дефекты формы шва, подрезы, прожоги, наплывы, кратеры, а также трещины и поры, выходящие на поверхность металла (рис. 20.2). В большинстве случаев наружные дефекты можно определить при внешнем осмотре.

Неравномерная форма шва (рис. 20.2, *а*) появляется вследствие неустойчивого режима сварки, неточного направления электрода относительно разделки, неравномерности зазора и угла скоса кромок, а также в местах

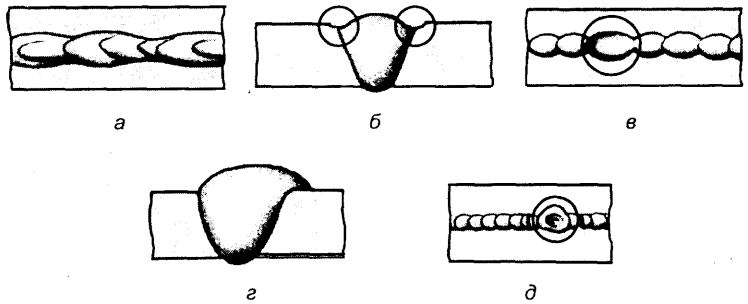


Рис. 20.2. Наружные дефекты сварных швов

расположения прихваток. Этот дефект обычно возникает в результате недостаточной квалификации сварщика.

Подрезы образуются на поверхности швов и представляют собой углубления (канавки) в основном металле, идущие вдоль границы шва (рис. 20.2, *б*). Они возникают в результате большого сварочного тока и длинной дуги, так как при этом возрастает ширина шва и сильнее оплавляются кромки.

Основной причиной образования подрезов при выполнении угловых швов является смещение электрода в сторону вертикальной стенки, которая плавится раньше и стекает на горизонтальную полку. В таких случаях на горизонтальной полке образуются наплывы.

Прожоги – это сквозное проплавление основного или наплавленного металла с образованием в нем отверстия (рис. 20.2, *в*). Причинами их образования могут быть большая сила сварочного тока при небольшой скорости сварки, превышение зазора между свариваемыми кромками, недостаточное притупление кромок. Наиболее часто прожоги образуются при сварке тонкого металла и выполнении первого прохода многослойного шва. Прожоги могут появляться также в результате плохого поджатия медной подкладки или флюсовой подушки.

Наплывы образуются от натекания расплавленного металла сварочной ванны на кромки нерасплавившегося основного металла (рис. 20.2, *г*). Чаще всего они возникают при выполнении дуговой сваркой горизонтальных швов на вертикальной плоскости. Причинами образования наплывов являются: большая сила сварочного тока, неправильный наклон электрода, слишком длинная дуга, неудобное пространственное положение соединяемых деталей при сварке.

Кратеры образуются при внезапном прекращении сварки и имеют вид углублений в застывшей сварочной ванне (рис. 20.2, *д*).

К внутренним дефектам относят поры, шлаковые включения, непровары, трещины, несплавления, перегрев металла, а также неметаллические включения, пережог металл, смещение свариваемых кромок (рис. 20.3). Эти дефекты выявляют методами неразрушающего контроля.

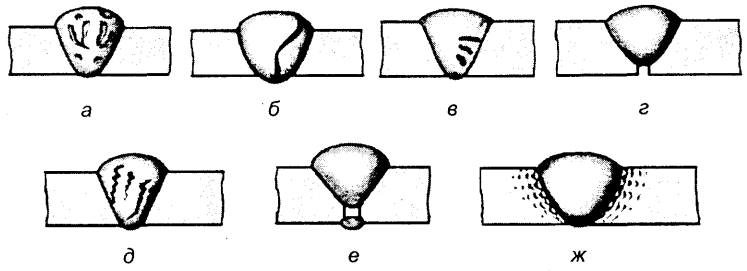


Рис. 20.3. Внутренние дефекты сварных швов

Поры – это газовые пустоты в металле шва (рис. 20.3, *а*). Газовые поры образуются в результате перенасыщения жидкого металла газами, которые не успевают выйти на поверхность во время его быстрой кристаллизации и остаются в нем в виде пузырьков.

Размер внутренних пор колеблется от нескольких микрометров до 2–3 мм в диаметре. Поры могут быть распределены в шве в виде отдельных включений (одиночные поры), в виде цепочки по продольной оси шва или отдельными группами (скопление пор). При сварке поры могут выходить на поверхность (рис. 20.3, *б*). Такие поры являются канальными, их называют *свищи*.

Причины образования газовых пор: загрязненность кромок свариваемого металла (ржавчина, окалина, масло, краска и др.), использование отсыревших электродов, завышенная длина дуги. Поры могут быть вызваны чрезмерно большой скоростью сварки, в результате которой нарушается газовая защита ванны жидкого металла. Образование пор возможно также при повышенном содержании углерода в основном металле и при неправильном выборе электродов.

Шлаковые включения в металле шва – это небольшие объемы (рис. 20.3, *в*), заполненные неметаллическими веществами (шлаками, оксидами). Они достигают нескольких миллиметров и могут быть различной формы: круглые, продолговатые, плоские или пленки. Встречаются микроскопические включения в виде нитридов, сульфидов, оксида железа. Шлаковые включения располагаются

на границе сплавления основного металла с наплавленным, а при многослойной сварке – на поверхности предыдущих слоев.

Шлаковые включения образуются в шве из-за плохой очистки свариваемых кромок от окалины и других загрязнений, а чаще всего от шлака на поверхности первых слоев многослойных швов при заварке последующих слоев. Недостаточный сварочный ток и чрезмерно большая скорость сварки также могут вызывать появление шлаковых включений.

Непровары – дефекты в виде несплавления в сварном соединении вследствие неполного расплавления кромок или поверхностей ранее выполненных валиков сварного шва (рис. 20.3, *г*). Различают непровары по кромке и непровары по сечению. Первые оказывают большее влияние на прочность шва. При этом виде непровара между металлом шва и основным металлом обычно обнаруживаются тонкие прослойки оксидов, а иногда грубые шлаковые прослойки.

Причинами образования непроваров являются: плохая подготовка кромок свариваемых деталей, малое расстояние между кромками деталей, неточное направление электродной проволоки относительно места сварки, недостаточный сварочный ток или чрезмерно большая скорость сварки, неустойчивый режим сварки и т.п.

Трещины – это частичное местное разрушение сварного соединения (рис. 20.3, *д*). Они могут возникать в результате надрыва нагретого металла в пластическом состоянии или в результате хрупкого разрушения после остывания металла до низких температур. Чаще всего трещины образуются в жестко закрепленных конструкциях, они могут располагаться вдоль и поперек сварного соединения, а также в основном металле в местах пересечения и сосредоточения швов.

Причинами образования трещин могут быть также неправильно выбранная технология или плохая техника сварки.

Несплавления возникают, когда наплавленный металл сварного шва не сплавляется с основным металлом (рис. 20.3, *е*) или с ранее наплавленным металлом предыдущего слоя того же шва.

Несплавления образуются вследствие плохой зачистки кромок свариваемых деталей от окалины, ржавчины, краски, при чрезмерной длине дуги, недостаточном токе, большой скорости сварки и др.

Неметаллические включения в металле шва – макро- и микроскопические частицы соединений металла с кислородом (оксидов), азотом (нитридов), серой (сульфидов), фосфором (фосфидов), а также шлака, покрытий и т.п. Неметаллические включения образуются в результате протекающих в металле процессов, например химических реакций, а также в результате попадания инородных частиц извне.

Перегрев металла (рис. 20.3, *ж*) – рост зерна в зоне термического влияния. Причина дефекта – длительное время пребывания металла при высоких температурах.

Пережог металла (рис. 20.3, *ж*) – окисление границ зерен металла при высоких температурах.

Перегрев металла – дефект устранимый, пережог – неустранимый.

Смещение сваренных кромок – неправильное положение сваренных кромок друг относительно друга. Причиной дефекта является плохая сборка деталей под сварку.

20.2. Влияние дефектов на прочность сварных соединений

Дефекты оказывают большое влияние на прочность сварных соединений и нередко являются причиной преждевременного разрушения сварных конструкций. Опасность дефектов обусловливается большим числом конструкционных и технологических факторов. К конструкционным факторам можно отнести свойства материалов и конструкцию соединений. Свойства материалов определяют пластичность шва, склонность к образованию и развитию трещин и т.п. Конструкция соединения определяет вид и нагруженность шва, разностенность, вырезы и другие концентраторы напряжений, а также остаточные напряжения и т.п.

Эксплуатационными факторами считают условия эксплуатации конструкции (вид нагрузки, температуру, агрессивную среду и т.п.).

В зависимости от опасности сварочные дефекты разделяют на две группы: объемные и трещиноподобные. Объемные дефекты не оказывают особого влияния на работоспособность соединений. Эти дефекты (поры, шлаки, включения) можно нормировать по размерам или площади ослабления ими сечения шва. Трещиноподобные дефекты (трещины, непровары, несплавления) довольно опасны.

По значимости дефекты можно условно разделить на три группы: малозначительные, значительные и критические. К малозначительным относят отдельные поры, включения и непровары, к значительным – протяженные дефекты, к критическим – трещиноподобные. Трещиноподобные дефекты, как правило, являются недопустимыми независимо от их размеров. Объемные дефекты допускают до определенных размеров и количества.

При контроле качества сварных соединений и оценке пригодности их к эксплуатации необходимо знать, как влияют наружные и внутренние дефекты на прочность конструкции. В большинстве случаев влияние того или иного вида дефекта на работоспособность конструкции устанавливают путем испытания образцов.

При сдаче сварной конструкции в эксплуатацию прежде всего оценивают допустимость наружных дефектов. Значения допустимости обычно указаны в технических условиях на изготовление конструкции и зависят от условий ее эксплуатации.

Установлено, что выпуклость шва не снижает прочности при статических нагрузках, однако сильно влияет на вибрационную прочность. Чем больше выпуклость шва и, следовательно, меньше угол перехода от основного металла к наплавленному, тем сильнее она снижает предел выносливости.

Опасным наружным дефектом является подрез. Он не допускается в конструкциях, работающих при динамических нагрузках. Подрезы небольшой протяженности, ослабляющие сечение шва не более чем на 5% в конструкциях, работающих под действием статических нагрузок, считают допустимыми.

Наплывы, резко изменяя очертания швов, образуют концентраторы напряжений и тем самым снижают прочность конструкций. Наплывы большой протяженности следует считать недопустимыми дефектами, так как они нередко сопровождаются непроварами. Небольшие местные наплывы являются допустимыми дефектами.

Кратеры, как и прожоги, во всех случаях – недопустимые дефекты и подлежат исправлению. Часто кратер является очагом развития трещин.

Для окончательной оценки качества сварного соединения необходимо знать допустимость внутренних дефектов.

Трещины – наиболее опасный дефект сварных швов. Они являются сильными концетраторами напряжений. Выявленные трещины оставлять без исправления подварки обычно не разрешается. Сварные швы с трещинами исправляют по специальной технологии, гарантирующей надежную работу сварного соединения. Трещины по существующим правилам контроля являются недопустимым дефектом.

Непровары снижают работоспособность сварного соединения за счет ослабления рабочего сечения, создают концентрацию напряжений в шве. В конструкциях, работающих на статическую нагрузку, непровар величиной 10–15% толщины свариваемого металла не оказывает существенного влияния на эксплуатационную прочность. Однако он является опасным дефектом, если конструкция работает при вибрационных нагрузках.

Мелкие непровары при вибрационных нагрузках снижают прочность соединения до 40%. Большие непровары корня шва могут снизить прочность до 75%. Если в швах возможны непровары, то их допустимый размер указывается в технических условиях на изготовление данного изделия.

Несплавления – опасный дефект и, как правило, недопустимый.

Поры и шлаковые включения, если их суммарная площадь в сечении шва составляет 5–10%, практически не влияют на статическую прочность соединения. Для конструкций, работающих в условиях статического нагружения, допускается площадь пор не более 7% расчетного сечения шва, а для конструкций, работающих при вибрационных нагрузках, – не более 4–5%. Поры, расположен-

23. Зак. 717.

ные в виде цепочки в середине или на краях шва, оказывают более значительное влияние на прочность, чем большая пористость, но при беспорядочном расположении пор. Влияние одиночных шлаковых включений на работоспособность конструкций примерно такое же, как и газовых пор.

Крупные одиночные газовые или шлаковые включения, расположенные в глубине шва, в большей мере уменьшают сопротивление швов ударным нагрузкам, чем множество мелких пор и шлаковых включений, сосредоточенных на поверхности шва. Пористость делает шов неплотным и понижает его пластичность.

Изготовить сварную конструкцию без дефектов практически невозможно. Поэтому необходимо, чтобы она имела минимум допустимых дефектов и удовлетворяла требованиям, приведенным в технических условиях.

20.3. Исправление дефектов

При обнаружении недопустимых наружных или внутренних дефектов их обязательно удаляют. Если это невозможно, то изделие бракуют целиком. Для сварных швов обычных металлоконструкций и труб с толщиной металла до 10–20 мм дефектные участки могут быть вырезаны механическим путем или газовым резаком. Затем швы заваривают вновь. В стыках труб малых диаметров при большом числе дефектов по периметру стыка вырезают весь стык и вставляют отрезок трубы.

Наружные дефекты удаляют вышлифовкой с обеспечением плавных переходов в местах выборок. Наружные дефекты исправлять вышлифовкой без последующей заварки мест их выборки можно только при сохранении минимально допустимой толщины стенки детали в месте максимальной глубины выборки. Дефекты с обратной стороны шва удаляют по всей длине шва заподлицо с основным металлом.

В конструкциях из стали в ряде случаев допускается удаление дефектных участков воздушно-дуговой или плазменно-дуговой строжкой с последующей обработкой поверхности выборки абразивными инструментами. При этом поверхности изделий из углеродистых и кремний-

марганцевых сталей должны быть зачищены (зашлифованы) до полного удаления следов резки.

Удаление заглубленных наружных и внутренних дефектов (дефектных участков) в соединениях из алюминия, титана и их сплавов производят только механическим способом – вышлифовкой абразивным инструментом или резанием, а также вырубкой с последующей шлифовкой.

При удалении дефектных мест следует соблюдать определенные правила. Длина удаляемого участка должна равняться длине дефектного участка плюс 10–20 мм с каждой стороны, а ширина разделки выборки быть такой, чтобы ширина шва после заварки не превышала двойной ширины до заварки. Форма и размеры подготовленных под заварку выборок должны обеспечивать возможность надежного провара в любом месте. Поверхность каждой выборки должна иметь плавные очертания без резких выступов, острых углублений и заусенцев. При заварке дефектного участка должно быть обеспечено перекрытие прилегающих участков основного металла.

После заварки участок необходимо зачистить до полного удаления раковин и рыхлости в кратере и создания плавных переходов к основному металлу.

Крупные или сквозные трещины перед заваркой засверливают вблизи (30–50 мм) от их концов. Это позволяет предотвратить их распространение. Затем производят разделку трещин по всей их глубине. Дефектный участок в этом случае проваривают на всю глубину.

Трещины, непровары в корне шва, внутренние непровары, шлаковые включения, свищи и внутренние поры исправляют вышлифовкой, вырубкой или дуговой строжкой.

Поверхностные поры, расположенные на малой глубине, удаляют подваркой.

Подрезы устраняют наплавкой ниточного шва по всей длине дефекта. Однако это ведет к повышению расхода сварочных материалов. В таких случаях целесообразно применять оплавление подреза аргонодуговыми горелками, что позволяет «сгладить» дефекты без дополнительной наплавки.

Наплывы и неравномерности формы шва исправляют механической обработкой дефекта по всей длине. Кратеры швов заваривают. Прожоги в швах зачищают и заваривают.

Заварку дефектного участка производят одним из способов сварки плавлением (ручной дуговой, дуговой в среде инертных газов и т.д.), обеспечивающих качество сварного шва в соответствии с требованиями, предъявляемыми к изделию.

Исправленные швы сварных соединений следует проконтролировать. Если при этом вновь будут обнаружены дефекты, то производят их исправление с соблюдением необходимых требований. Число исправлений одного и того же дефектного участка зависит от категории ответственности конструкции и не должно превышать трех.

Тестовые задания

1. Ржавчина, окалина, масло, краска, влага являются причиной образования дефектов, которые называют:

1) поры; 3) включения;
2) трещины; 4) несплавления.

2. Трещины, непровары, несплавления относят к группе дефектов, которую называют:

1) объемные; 3) случайные;
2) трещиноподобные; 4) аварийные.

3. Трещиноподобные дефекты, как правило, независимо от их размеров являются:

1) недопустимыми; 3) нежелательными;
2) допустимыми; 4) мелкими.

4. Поры, шлаки, включения относят к группе дефектов, которую называют:

1) объемные; 3) случайные;
2) трещиноподобные; 4) аварийные.

5. Самые опасные дефекты в сварных швах:

1) поры; 3) трещины;
2) включения; 4) наплывы.

6. Самые опасные концентраторы напряжений в сварных швах:

1) поры; 3) наплывы;
2) включения; 4) трещины.

7. При удалении дефектных мест длина удаляемого участка должна равняться длине дефектного участка плюс с каждой стороны:

1) 1–2 мм; 3) 10–20 мм;
2) 5–10 мм; 4) 20–40 мм.

8. По сравнению с первоначальным размером ширина шва после заварки дефектных мест не должна превышать:

1) полуторной ширины; 3) тройной ширины;
2) двойной ширины; 4) пятикратной ширины.

9. С целью предотвращения распространения трещин их концы перед сваркой:

1) осматривают; 3) засверливают;
2) зачищают; 4) закрашивают.

10. Число исправлений одного и того же дефектного участка зависит от категории ответственности конструкции и не должно превышать:

1) двух; 3) четырех;
2) трех; 4) семи.

Глава 21

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

21.1. Требования к качеству продукции

От качества соединений во многом зависит работоспособность сварных изделий и конструкций, а следовательно, и их безопасность в процессе эксплуатации для людей и окружающей среды. ***Качество продукции*** – это совокупность ее свойств, удовлетворяющих определенным требованиям. ***Продукцией*** в сварочном производстве считают детали, узлы и изделия, изготовленные с применением сварки на данном предприятии. Для сварных соединений показателями качества служат прочность, отсутствие дефектов, число исправлений и др.

Контроль качества продукции – это проверка соответствия показателей качества установленным требованиям.

Требования к качеству сварных соединений указывают в нормативно-технических документах (НТД): правилах контроля (ПК), технических условиях (ТУ) и т.д. Для строительных конструкций основными НТД служат СНиПы – строительные нормы и правила. При сварке плавлением технические условия, как правило, регламентируют геометрические размеры швов (ширину и выпуклость шва), глубину проплавления и число проходов. Нормы допустимости дефектов регламентируют правила контроля. Качество выпускаемой продукции проверяется или самим изготовителем, или работниками отдела технического контроля (ОТК) предприятия.

Невозможно получить высококачественные сварные соединения, ограничившись проверкой только готовой продукции, поэтому на практике используют системы контроля, предусматривающие комплекс контрольных операций на стадии изготовления, монтажа и ремонта

эксплуатирующегося оборудования. Система контроля включает перечисленные ниже стадии.

- *Предварительный контроль* предусматривает проверку: квалификации сварщиков, термистов, дефектоскопистов; качества сварочных материалов; состояния сварочного и термического оборудования и аппаратуры, сборочно-сварочных приспособлений, аппаратуры, приборов и материалов для дефектоскопии.

Составной частью предварительного контроля является *входной контроль*. Он заключается в дефектоскопии поставленных полуфабрикатов (проката, литья и т.п.). Входной контроль выполняют выборочно или в полном объеме.

- *Пооперационный (технологический) контроль* включает проверку качества подготовки и сборки деталей под сварку, контроль соблюдения режимов подогрева деталей и режимов сварки, порядка выполнения многослойных швов, очистки наплавленного металла от шлака при проведении сварочных операций и контроль выполнения термической обработки (соблюдение режимов нагрева, правильности эксплуатации приборов, точности регистрации параметров термической обработки и т.д.). Затем полученные данные сравнивают с требованиями, указанными в технологических инструкциях.

Пооперационный контроль необходим для своевременной корректировки технологического процесса и оперативного ремонта дефектных зон.

- *Приемочный контроль* производят после завершения всех предусмотренных технологическим процессом операций, его результаты фиксируют в сдаточной документации на изделие.

Для проверки качества сварки в готовом изделии применяют следующие виды контроля: внешний осмотр и обмер сварных соединений, испытание на плотность, просвечивание рентгеновскими или гамма-лучами, ультразвуковую дефектоскопию, магнитные методы контроля, люминесцентный метод контроля, механические испытания, металлографические исследования.

Вид контроля качества сварных швов выбирают в зависимости от назначения изделия и требований, предъявляемых к нему техническими условиями и стандартами.

Приемочный контроль бывает либо сплошным (проверяют все сварные соединения), либо выборочным (проверяют часть соединений).

Результаты выборочного контроля являются основанием для браковки всей контролируемой партии.

Операции контроля принципиально отличаются от технологических операций изготовления. Контроль – это часть технологического процесса, которая не только позволяет оценить пригодность продукции, но и дает информацию о ее качестве. Эта информация может быть использована для управления (регулирования) технологическим процессом на всех его стадиях.

21.2. Контроль качества основных и сварочных материалов

Качество основного металла должно соответствовать требованиям сертификата. В нем указываются завод-изготовитель, марка и химический состав металла, номер плавки, профиль и размер материала, масса металла и номер партии, результаты всех испытаний, предусмотренных стандартами, стандарт на данную марку материала.

При отсутствии сертификата металл запускают в производство лишь после тщательной проверки: проводят наружный осмотр, пробу на свариваемость, определяют механические свойства и химический состав металла.

При сварке конструкций, в чертежах которых указан тип электрода, нельзя применять электроды, не имеющие сертификата. Электроды без сертификации можно использовать только после тщательной проверки. При этом в соответствии со стандартами оценивают прочность покрытия, сварочные свойства электродов, определяют механические свойства металла шва и сварного соединения на образцах, сваренных электродами из проверяемой партии. О пригодности электродов для сварки судят также по качеству наплавленного металла, который не должен иметь пор, трещин и шлаковых включений.

Внешний вид электродов должен удовлетворять требованиям стандарта: покрытие электродов должно быть

прочным, плотным, без пор, трещин, вздутий и комков неразмешанных компонентов. Электроды с отсыревшим покрытием в производство не допускаются.

21.3. Контроль заготовок и сборки изделия

Перед поступлением заготовок на сборку проверяют их габаритные размеры, качество подготовки кромок и углы их скоса, чистоту поверхности металла.

Дефекты заготовок под сварку в значительной степени сказываются на качестве и производительности сварочных работ. Например, увеличение угла скоса кромок приводит к увеличению количества наплавленного металла, времени сварки и излишнему расходу электродов и электроэнергии. Кроме того, соединение после сварки будет сильно деформироваться, так как чем больше наплавленного металла, тем больше его усадка при остывании. Предупреждение дефектов в заготовках избавляет от работы по их исправлению в готовых сварных узлах и конструкциях.

В собранном перед сваркой узле контролируют: относительное положение деталей, правильное наложение прихваток; превышение одной кромки относительно другой в стыковом соединении; зазоры между кромками свариваемых деталей, отсутствие или малая величина которых приводят к непровару корня шва, а большая – к прожогам и увеличению трудоемкости процесса сварки. Для проведения указанных и других контрольных операций используют специальные шаблоны и щупы.

Чем аккуратнее и чище подготовлены свариваемые поверхности, чем точнее выполнена сборка под сварку, тем качественнее будут выполнены сварные соединения.

21.4. Контроль технологического процесса сварки

Перед тем как приступить к сварке, сварщик изучает технологические карты, в которых указаны последовательность операций, диаметр и марка применяемых электродов, режимы сварки и размеры сварных швов. Несоблюдение порядка наложения швов может вызвать значительную деформацию изделия, трудно устранимую впоследствии.

24. Зак. 717.

Для получения качественных сварных швов необходимо соблюдение режимов сварки. Силу сварочного тока и напряжение на дуге контролируют амперметром и вольтметром. Скорость сварки и скорость подачи электродной проволоки определяют по положению регулятора скорости, а также непосредственными замерами.

При ручной дуговой сварке проверяют также технику наложения швов.

После окончания сварки изделия сварные швы зачищают от шлака, а поверхность деталей – от брызг металла. Затем готовое изделие проходит ряд контрольных операций.

21.5. Визуальный контроль

Контрольные операции – операции, выполняемые для проверки соблюдения технологии данного производства и качества его продукции.

Визуальный контроль сварных соединений производят в соответствии с СТБ EN 970-203.

Он служит для выявления наружных дефектов, а также для проверки соответствия размеров швов проектным размерам. Он обязательно предшествует другим видам контроля.

При визуальном контроле обнаруживают трещины в шве и в околошовной зоне, незаваренные кратеры, прожоги, наплывы, непровары в корне шва, подрезы, грубочешуйчатую поверхность сварного шва, несоответствие конструктивных элементов сварного шва заданным в чертеже.

Визуальным контролем выявляют дефекты, обнаруживаемые невооруженным глазом, а также с помощью лупы 10-кратного увеличения. Перед осмотром сварной шов и прилегающую к нему поверхность металла шириной 20 мм очищают от шлака, брызг и загрязнений.

Границы трещин выявляют путем засверливания, подрубки металла зубилом, шлифовки дефектного участка и последующего травления.

Форму и размеры сварных швов контролируют с помощью шаблонов и калибров, а также обычных (универсальных) мерительных инструментов.

21.6. Контроль швов на непроницаемость

Испытания готовых сварных изделий производят на испытательных стендах.

Испытание на непроницаемость (испытание на плотность) – проверка герметичности сварного изделия путем заполнения его водой, воздухом или газом под давлением. В некоторых случаях герметичность оценивается по падению давления газа в течение определенного промежутка времени. Особой точностью отличаются испытания на специальных установках – течеискателях – гелиевом и галоидном.

Непроницаемость (неплотность) сварных швов контролируют керосином, давлением воздуха, гидравлическими испытаниями, вакуумированием и др.

С помощью *керосиновой пробы* определяют плотность сварных швов на металле толщиной до 10 мм. Доступную для осмотра сторону шва покрывают водной суспензией мела или каолина и подсушивают. Противоположную сторону смачивают 2–3 раза керосином. Трещины, сквозные поры и другие несплошности обнаруживают по жирным желтым пятнам на поверхности, покрытой мелом или каолином.

Продолжительность испытания составляет не менее 4 ч при плюсовой температуре и не менее 8 ч – при температуре ниже 0 °С. Если швы нагреть до 50–60 °С, то процесс сократится до 1,5–2 ч. Его можно также ускорить, добавляя в керосин краску «Судан 111» (2,5 г/л) и обдувая швы со стороны керосина сжатым воздухом или создавая вакуум.

Налив воды применяют для испытания на прочность и плотность вертикальных резервуаров, газгольдеров и других сосудов с толщиной стенки не более 10 мм. Воду наливают на полную высоту сосуда и выдерживают не менее 2 ч. При проведении испытаний сварные швы обстукивают молотком массой 0,5–1,5 кг. Дефектные места определяют по наличию капель, струек воды и отпотеваний.

Гидравлическим испытаниям подвергают работающие под давлением сварные сосуды, трубопроводы, емкости. При этом способе испытуемую емкость заполняют водой, а затем с помощью насоса медленно повышают давление в сосуде до заданного значения. Контроль давления ведут с

помощью манометра. При заполнении сосуда жидкостью должен быть обеспечен выход из него воздуха.

Под давлением сосуд выдерживают в течение времени, заданного техническими условиями, сварные швы подвергают тщательному осмотру, а обнаруженные дефекты отмечают для последующего устранения их повторной сваркой.

Пневматическое испытание – это испытание сварного изделия (например, сосуда) на герметичность путем заполнения его воздухом или другим газом под давлением и погружения в воду или обмазывания снаружи мыльным раствором. Сжатый воздух накачивают под избыточным давлением не более 0,01–0,02 МПа. В местах, где герметичность нарушена, появляются пузырьки. Дефектные места отмечают для последующего их устранения повторной сваркой.

Испытание обдувом (воздушной струей) – обдувание сварного шва струей сжатого воздуха под давлением (0,4–0,5 МПа). Расстояние между наконечником шланга и швом не должно превышать 50 мм. При этом наблюдают за обмазанной мыльным раствором обратной стороной шва: 100 г хозяйственного мыла на 1 л воды (зимой 60% воды заменяют спиртом или применяют незамерзающие жидкости). В местах неплотностей появляются мыльные пузырьки.

Сущность вакуумного испытания заключается в создании вакуума и регистрации проникновения воздуха через дефекты на одной, доступной для испытания стороне шва. Этот метод применяют для определения плотности днищ вертикальных резервуаров и других конструкций. В качестве пенного индикатора используют мыльный раствор (250 г хозяйственного мыла на 10 л воды), а в зимнее время – водный раствор хлористой соли (калия или натрия) с концентрированным раствором экстракта лакричного корня (1 кг экстракта на 0,5 л воды).

Для создания вакуума применяют плоские, кольцевые и сегментные камеры. Величина вакуума 5000–6000 Па, длительность испытания 20 с.

При контроле плотности *методом химических реакций* на наружный шов металла толщиной до 16 мм наносят 4%-й раствор фенолфталеина или накладывают марлю, пропитанную 5%-м раствором азотнокислого серебра. В изделие нагнетают воздух в смеси с аммиаком (его получают из баллона со сжатым газом). В местах локальных течей фенолфталеин окрашивается в ярко-красный цвет, а азотнокислое серебро – в серебристо-черный. Перед испытанием требуется тщательная очистка шва от загрязнений и шлака.

21.7. Неразрушающий контроль

Рентгеновский контроль. Рентгеновские лучи обладают свойством проникать через непрозрачные тела. Пронизывая сварной шов и встречая на своем пути дефекты, они изменяют интенсивность, что фиксируется на рентгеновской пленке.

Для просвечивания сварных швов применяют рентгеновские аппараты типа РУП. Так, аппарат РУП-120-5-1 используют для просвечивания сварных соединений из стали толщиной до 25 мм и легких сплавов толщиной до 100 мм.

При контроле источник излучения (рентгеновскую трубку) помещают на определенном расстоянии от шва. С противоположной стороны шва размещают кассету с рентгеновской пленкой и усиливающими экранами.

При просвечивании пленку выдерживают под лучами определенное время, называемое *экспозицией*. Она зависит от толщины металла, фокусного расстояния, интенсивности излучения и чувствительности пленки. Усиливающие экраны служат для уменьшения экспозиции.

Затем пленку вынимают из кассеты и проявляют. На полученном изображении участка шва степень потемнения отдельных мест будет неодинаковой. Лучи, попавшие на пленку через дефект, поглотятся в меньшей степени по сравнению с лучами, прошедшими через плотный металл, поэтому сварочный дефект на пленке будет выглядеть как более темное место.

При просвечивании рядом со швом, со стороны источника излучения, устанавливают дефектометр, который служит для определения величины дефекта и глубины его нахождения в шве. *Дефектометр* – это пластинка, изготовленная из того же материала, что и просвечиваемый

металл. Толщина пластинки должна быть равна усилению шва. На дефектометре имеются канавки различной глубины. По рентгенограмме величину дефекта (по высоте) определяют, сравнивая его потемнение с потемнением канавок дефектометра.

С помощью рентгеновского контроля можно обнаружить большинство внутренних дефектов: непроваров, пор, включений, трещин.

Гамма-контроль. Гамма-лучи, так же как и рентгеновские, представляют собой электромагнитные волны. Некоторые элементы (уран и др.) обладают свойством самопроизвольно испускать лучи. Это явление называется *радиоактивностью.*

Для просвечивания применяют искусственные радиоактивные изотопы кобальт-60, тулий-170, иридий-192 и др. Из-за вредного действия гамма-лучей на организм человека радиоактивные изотопы хранят в специальных контейнерах. Техника просвечивания сварных соединений гамма-лучами аналогична рентгеновскому контролю.

По сравнению с рентгеновским гамма-контроль имеет следующие преимущества: контейнер с радиоактивным изотопом можно установить в таких местах, где не помещается громоздкая рентгеновская установка; с помощью гамма-лучей возможен одновременный контроль нескольких деталей, а также кольцевых швов изделий; этот метод удобен в полевых условиях; затраты на гамма-просвечивание меньше, чем на просвечивание рентгеновскими лучами.

Препарат радиоактивного изотопа кобальт-60 безотказен в работе и может использоваться свыше 5 лет.

Недостаток просвечивания гамма-лучами – более низкая чувствительность к выявлению дефектов в швах толщиной меньше 50 мм, чем при рентгеновском контроле.

Ультразвуковой контроль. Ультразвуковой метод контроля основан на способности ультразвуковых волн отражаться от границы раздела двух сред, обладающих разными акустическими свойствами.

Ультразвук представляет собой упругие колебания материальной среды с частотой колебания более 20 кГц. Для

ультразвукового контроля сварных швов используют более высокие частоты – от 0,5 до 5 мГц.

Существует несколько способов получения ультразвуковых колебаний. Наиболее распространенным является способ, основанный на пьезоэлектрическом эффекте некоторых кристаллов (кварца, сегнетовой соли) или искусственных материалов (титаната бария). Этот эффект заключается в том, что если на противоположные грани пластинки, вырезанной из кристалла, подавать разноименные заряды, то она будет изменять свои размеры в такт изменению знаков зарядов. Изменяя знаки электрических зарядов с частотой более 20 тысяч колебаний в секунду, получают механические колебания пьезоэлектрической пластинки той же частоты, передающиеся в виде ультразвука.

Для ввода ультразвуковых колебаний в сварной шов используют приборы, которые называют пьезоэлектрическими преобразователями. Они могут также принимать ультразвуковые колебания, отраженные от дефекта сварного шва, которые фиксируются соответствующим сигналом на экране дефектоскопа.

При помощи ультразвука можно выявить трещины, непровары, шлаковые включения, поры в сварных швах, а также расслоения в листах металла. Вместе с тем ультразвуковой контроль имеет существенный недостаток, заключающийся в очень сложной расшифровке и оценке обнаруженных дефектов. Эту работу может выполнять только оператор высокой квалификации, обладающий большим опытом.

В настоящее время созданы приборы, в которых информация об обнаруженом дефекте представляется в цифровой форме или на специальной ленте.

Магнитный контроль. Магнитные методы контроля основаны на принципе использования магнитного рассеяния, возникающего над дефектом при намагничивании контролируемого изделия. Если сварной шов не имеет дефектов, магнитные силовые линии по сечению шва распределятся равномерно. При наличии дефекта в шве вследствие меньшей магнитной проницаемости дефекта магнитный силовой поток будет огибать дефект, создавая магнитные потоки рассеяния.

В зависимости от способа фиксирования потоков рассеяния существуют *метод магнитного порошка* и *индукционный метод*. В первом случае неравномерность поля определяют по местам скопления ферромагнитного порошка, нанесенного на поверхность изделия. Во втором случае потоки рассеяния улавливает индукционная катушка. Изделие намагничивают электромагнитом, соленоидом или пропусканием тока непосредственно через сварное соединение.

Магнитопорошковый контроль проводят двумя способами: *сухим* и *мокрым*. В первом случае магнитный порошок находится в сухом виде (сурик, железные опилки и др.), во втором – магнитный порошок находится в жидкости (керосин, вода).

Сухой способ используют для выявления дефектов в глубине и на поверхности, мокрый – преимущественно на поверхности.

Метод магнитного порошка пригоден для контроля только ферромагнитных материалов. Этим методом можно обнаружить поверхностные и внутренние трещины, а также непровары на глубине до 6 мм.

Магнитографический контроль. Магнитографический способ основан на записи полей рассеивания, возникающих над дефектами, на магнитную ленту с последующим воспроизведением на магнитографическом дефектоскопе. Этим способом выявляют в сварных швах дефекты, расположенные на глубине не более 15 мм.

Люминесцентная и цветная дефектоскопии. При этих способах в полость дефекта вводят флюоресцирующий раствор или ярко-красную жидкость, которую затем удаляют с поверхности. Под действием ультрафиолетовых лучей происходит свечение раствора, находящегося в полости дефекта. При цветной дефектоскопии дефекты выявляют с помощью белой проявляющейся краски (на белом фоне появляется красный рисунок, соответствующий форме дефекта).

С помощью этих методов определяют поверхностные дефекты, главным образом трещины в различных сварных соединениях, в том числе из немагнитных сталей, цветных металлов и сплавов. Для цветной дефектоскопии используют готовые комплекты ДАК-2Ц.

21.8. Механические испытания

Сварные конструкции эксплуатируются в различных условиях (при высоких и низких температурах, под значительными нагрузками), поэтому проводят механические испытания сварных соединений с целью определения их характеристик.

Механические свойства материалов определяют в результате механических испытаний специальных образцов.

При определении механических свойств сварных соединений руководствуются стандартами, предусматривающими: испытание на растяжение сварных стыковых соединений с усилением и при снятом усилении; испытание на растяжение металла шва; испытание сварного соединения на изгиб; измерение твердости металла различных участков сварного соединения и наплавленного металла; испытание сварного соединения на ударную вязкость.

Образцы для испытаний вырезают из контролируемой конструкции или из специально сваренных пластин.

Механические испытания металлов позволяют определить механические свойства металлов. По характеру приложения нагрузки различают испытания статические, динамические, а также испытания на усталость.

Статические испытания – экспериментальная проверка воздействия на образцы статической нагрузки. Характеризуются малой скоростью деформации образца.

Динамические испытания – экспериментальная проверка воздействия на сварные образцы нагрузки, которая изменяется с большой скоростью и сопровождается значительными силами инерции движущихся масс.

Испытание на усталость – испытание металла для выявления его способности сопротивляться действию многократно повторяющихся переменных нагрузок, которые изменяются во времени по величине и направлению. Испытания на усталость производят при изгибе, растяжении и кручении в нормальных условиях, а также при повышенных или пониженных температурах, под воздействием коррозии и т.д.

На практике производят механические испытания отдельно металла сварного шва или же металла сварного соединения в целом.

Механические испытания металла шва – это испытания образцов, вырезанных из сварных заготовок так, что их рабочая часть включает только металл шва. Участки околошовной зоны допускаются только в нерабочих частях образца (например, в головке разрывных образцов и др.).

Механические испытания сварного соединения – это испытания вырезанных из сварных заготовок образцов, включающих все характерные участки сварного соединения.

Испытание на растяжение (испытание на разрыв) – определение механических свойств материалов путем растяжения образцов. При таких испытаниях определяют: предел пропорциональности; предел упругости; предел текучести; временное сопротивление (предел прочности); истинное сопротивление разрыву; относительное удлинение после разрыва; относительное сужение после разрыва.

Испытания на разрыв производят на машинах, снабженных, как правило, приборами для автоматической записи диаграммы растяжения в координатах нагрузка – удлинение. Испытывают образцы круглого или прямоугольного сечения. При испытаниях на разрыв металла шва эти образцы вырезают из стыковых и угловых швов как односторонних, так и двусторонних.

Испытания на ударную вязкость заключаются в определении работы разрушения при ударном приложении изгибающей нагрузки. Эти испытания проводятся на надрезанных образцах. Испытания на ударную вязкость сварных соединений предусматривают определение работы разрушения для металла шва и для зоны термического влияния. Соответственно выбирается и место надреза в образце (в металле шва или в зоне термического влияния).

Испытания на твердость – определение способности материала сопротивляться проникновению в него инородного тела, не получающего остаточных деформаций. Твердость материала связана с его прочностью и износоустойчивостью.

Различают следующие основные виды испытаний на твердость: по Бринелю, по Роквеллу, по Виккерсу, по Шору.

Сущность испытания по Бринелю заключается во вдавливании стального шарика в образец (изделие) под действием нагрузки и измерения диаметра отпечатка после снятия испытательной нагрузки.

При испытании по Роквеллу вдавливают алмазный конус или стальной шарик в испытуемый образец под действием последовательно прилагаемой предварительной и основной нагрузок и измеряют остаточное увеличение глубины внедрения наконечника после снятия основной и сохранения предварительной нагрузки. Твердость определяется в условных единицах.

Метод определения твердости по Виккерсу заключается во вдавливании алмазного наконечника, имеющего форму правильной пирамиды, в образец под действием определенной нагрузки и измерении диагонали отпечатка, оставшегося после снятия нагрузки.

Испытание по Шору заключается в том, что на образец с определенной высоты падает стандартный боек и твердость материала измеряется в условных единицах по высоте отскока бойка.

Описанные методы определения твердости характеризуют среднюю твердость металла. Для того чтобы определить твердость отдельных составляющих сплава, надо вдавливать алмазную пирамидку в определенное место, найденное на шлифе при увеличении в 100–400 раз под небольшой нагрузкой (0,049–4,905 Н), с последующим измерением под микроскопом диагонали отпечатка. Полученная характеристика называется *микротвердостью*. Для оценки микротвердости применяют специальные приборы, например микротвердомер ПМТ-3.

При лабораторных испытаниях часто используется *образец-свидетель* – образец шва, выполненного в условиях, соответствующих условиям сварки контролируемого шва.

На практике часто определяют *конструктивную прочность* – прочность материалов и сварных соединений, устанавливаемую при испытании конструкций или их частей.

21.9. Металлографические исследования

Металлографические исследования – это исследования структуры металла на шлифах или изломах, осуществляемое, как правило, с фотографированием исследуемой поверхности.

Металлографическими исследованиями определяют макроскопическую и микроскопическую структуры ме-

талла шва, зоны сплавления, зоны термического влияния в основном металле.

Макроструктура металла – строение металла, видимое невооруженным глазом или через лупу на отшлифованной поверхности металлического образца. Процесс исследования макроструктуры называется *макроструктурным исследованием* (анализом). На макроструктуре четко выявляются зоны сварного соединения (шов, зона термического влияния), слои наплавленного металла, направленность кристаллов, дефекты (трещины, непровары, шлаковые включения, поры) и др.

Макроструктуру металла изучают также и по изломам образцов сварных соединений, оставшихся после механических испытаний, или специально приготовленных образцов для технологической пробы. По внешнему виду излома судят о характере разрушения металла. Крупнозернистый с блестящей поверхностью излом характеризует хрупкий металл. Волокнистый серый излом с матовой поверхностью указывает на хорошую пластичность металла.

Микроструктура металла – строение металла, видимое под микроскопом на отшлифованной, отполированной до зеркального блеска и протравленной специальными растворами поверхности металлического образца. Процесс исследования микроструктуры называется *микроструктурным исследованием* (анализом). Исследованием микроструктуры под оптическим микроскопом (увеличение 50–3000 раз) определяют величину и форму зерен, структурные составляющие (феррит, перлит и др.), неметаллические включения и другие дефекты в отдельных частях сварного соединения.

21.10. Коррозионные испытания

Коррозионные испытания проводят для определения коррозионной стойкости сварных соединений. По механизму различают коррозию химическую и электрохимическую. *Химическая коррозия* – процесс взаимодействия металла с агрессивным компонентом среды (сухими газами, неэлектролитами). Примером химической коррозии является образование окалины при нагреве железа. *Электрохимическая коррозия* – это процесс самопроизвольного

разрушения металла в результате электрохимических реакций, скорость которых определяет скорость коррозии. В большинстве сред процесс коррозии является электрохимическим.

По виду коррозионных разрушений различают общую (сплошную) коррозию (равномерную, неравномерную, избирательную); местную (локализованную в виде точек, под поверхностью, межкристаллитную); растрескивание под действием статических и циклических нагрузок.

Общая (сплошная) электрохимическая коррозия характерна для сварных конструкций из углеродистых и низколегированных сталей в большинстве природных сред (атмосфере, водных средах, почве). Состав испытательных сред зависит от условий эксплуатации сварных соединений. Применяют водные растворы (3–5%) NH_4NO_3, (20–50%) NaOH или $MgCl_2$ и др.

Местные избирательные виды коррозии характерны для сварных соединений высоколегированных сталей и цветных металлов. Кроме перечисленных выше сред используют растворы (65%) HNO_3, (3%) NaCl, морскую воду и др.

Межкристаллитная коррозия, связанная со структурными изменениями в сталях, характерна при нагревании до критических температур 450–900 °С аустенитных и выше 900 °С высокохромистых ферритных сталей. Примером является межкристаллитная коррозия сварных соединений аустенитных хромоникелевых сталей. Разрушение развивается в трех зонах: в основном металле, нагреваемом при сварке до 500–900 °С; в сварном шве; в основном металле вблизи линии сплавления в узкой зоне, нагреваемой свыше 1200–1250 °С (ножевая коррозия).

Точечная коррозия типична для пассивирующихся металлов (хром, алюминий, хромоникелевые стали и др.) и возникает в результате повреждения на отдельных участках пассивной пленки. В сварных соединениях точечной коррозии подвержена преимущественно зона термического влияния.

Коррозионную стойкость швов оценивают по 10-балльной шкале или по отношению к основному металлу.

Тестовые задания

1. Контроль, который предусматривает проверку: квалификации сварщиков, качества сварочных материалов, состояния сварочного оборудования и аппаратуры, сборочно-сварочных приспособлений:

1) предварительный; 3) приемочный;
2) пооперационный; 4) срочный.

2. Контроль, который включает проверку качества подготовки и сборки деталей под сварку, соблюдения режимов сварки, порядка выполнения многослойных швов и т.д.:

1) предварительный; 3) приемочный;
2) пооперационный; 4) срочный.

3. Контроль, производимый после завершения всех предусмотренных технологическим процессом операций, результаты которого фиксируют в сдаточной документации на изделие:

1) предварительный; 3) приемочный;
2) пооперационный; 4) срочный.

4. Приемочный контроль, при котором проверяют все сварные соединения:

1) сплошной; 3) обязательный;
2) выборочный; 4) оперативный.

5. Приемочный контроль, при котором проверяют часть сварных соединений:

1) сплошной; 3) необходимый;
2) выборочный; 4) срочный.

6. Документ, в котором указываются завод-изготовитель основного металла, марка и химический состав металла, номер плавки, профиль и размер материала, масса металла и номер партии, результаты всех испытаний, стандарт на данную марку материала:

1) аттестат; 3) диплом;
2) калькуляция; 4) сертификат.

7. Операции, выполняемые для проверки правильности соблюдения технологии данного производства и качества его продукции:

1) контрольные; 3) регистрирующие;
2) технологические; 4) выпускающие

8. Контроль, при котором выявляют дефекты, обнаруживаемые невооруженным глазом, а также с помощью лупы 10-кратного увеличения:

1) физический; 3) оперативный;
2) визуальный; 4) объективный.

9. Испытания, при которых определяют прочность, твердость, пластичность металла:

1) аналитические; 3) технологические;
2) физические; 4) механические.

10. Исследования структуры металла на шлифах или изломах:

1) физические; 3) механические;
2) металлографические; 4) технологические.

Глава 22

МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

22.1. Сварочные и вспомогательные технологические операции

Операция (технологическая) – часть технологического процесса, выполняемая на определенном рабочем месте одним или несколькими рабочими определенной профессии (например, разметка, резка, разделка кромок, сборка и т.п.). Граница операции определяется переходом рабочих или перемещением изделия с одного места на другое.

Весь комплекс сварочного производства может быть разделен на шесть групп операций: заготовительные, сборочные, сварочные, отделочные, вспомогательные, контрольные.

Заготовительные операции – это операции по изготовлению деталей сварных конструкций. При их выполнении применяют следующие виды обработки металлов: резку – механическую и термическую; строгание на станках; штамповку на прессах; зачистку кромок и поверхностей деталей от окалины, ржавчины, заусенцев; правку и гибку деталей на вальцах, прессах, плитах; механическую обработку крупных деталей – точение, строгание, фрезерование, сверление отверстий в них.

Сборочные операции обеспечивают правильное взаимное расположение и закрепление деталей собираемого и свариваемого изделия на плите, стеллаже, стенде или специальном приспособлении.

Сварочные операции включают перемещение электрода по металлу, а также некоторые вспомогательные операции, например установку изделия под сварку или сварочной головки на начало шва, поворот изделий в процессе сварки, перемещение сварщика и т.п.

К *отделочным операциям* относятся зачистка, удаление металлических брызг и грата, окраска, упаковка, а также термическая и механическая обработка готовых изделий, если последние производятся в сварочном цехе.

Вспомогательные операции – это крановые, транспортно-подъемные и перегрузочные работы; наладочные работы по сварочному и другому оборудованию; комплектование деталей и распределение работ; работы по приему и выдаче материала и инструмента; подготовка сварочных электродов; прочие вспомогательные работы, связанные с основным производством.

Контрольные операции включают комплекс контрольных работ на каждом этапе изготовления сварной конструкции, в том числе контроль исходных свариваемых и сварочных материалов, контроль качества заготовительных, сборочных, сварочных и отделочных операций, контроль сварных соединений и готовой продукции.

22.2. Сварочные приспособления

Назначение сварочных приспособлений. ***Сварочными приспособлениями*** называются дополнительные технологические устройства, используемые для выполнения операций сборки под сварку, сварки, термической резки, наплавки, устранений или уменьшения деформаций и напряжений, а также для контроля.

Применение сварочных приспособлений позволяет уменьшить трудоемкость работ; повысить производительность труда; сократить длительность производственного цикла; улучшить условия труда; повысить качество продукции; расширить технологические возможности сварочного оборудования; способствует комплексной механизации и автоматизации сварочного производства.

Классификация сварочных приспособлений. Сварочные приспособления классифицируют по нескольким признакам следующим образом:

- по выполняемым операциям технологического процесса в сварочном производстве – приспособления для разметки, термической резки, сборки под сварку, сварки, комбинированные (сборочно-сварочные и др.); для контроля качества; термообработки; правки; механические (для установки, поворота, подачи, передачи, съема

изделия или деталей, подъема и перемещения сварщика, установки, поворота и перемещения сварочного автомата или полуавтомата); подъемно-транспортные;

- по виду обработки и методу сварки – приспособления для дуговой сварки (ручной, механизированной и автоматической); наплавки; термической резки и др.;
- по степени специализации – специальные, предназначенные для выполнения одной определенной операции при изготовлении конкретных узлов в условиях серийного и массового производства; переналаживаемые (групповые), служащие для выполнения данной операции применительно к группе однотипных изделий, близких по конструктивно-технологическим параметрам в условиях мелкосерийного производства; универсальные, предназначенные для выполнения сборочно-сварочных операций в условиях единичного и мелкосерийного производства;
- по уровню механизации и автоматизации – ручные; механизированные; автоматические;
- по виду установки – стационарные; передвижные; переносные;
- по необходимости и возможности поворота – неповоротные и поворотные;
- по источнику энергии привода вращения, перемещения, зажатия деталей – пневматические; гидравлические; пневмогидравлические; электромеханические; магнитные; вакуумные; комбинированные.

В условиях серийного производства используют специальные приспособления с быстродействующими механизмами загрузки, установки, зажатия, разгрузки, поворота и т.п. Их встраивают в поточно-механизированные и автоматизированные линии. В единичном производстве и при монтаже применяют простые, универсальные, переносные приспособления с винтовыми, кулачковыми, клиновыми, пружинными и электромагнитными прижимами.

Требования к сварочным приспособлениям. Сварочные приспособления должны обеспечивать:

- удобство в эксплуатации (предполагает доступность к местам установки деталей, зажимным устройствам и устройствам управления, местам наложения прихваток и сварных швов, удобные позы рабочего, минимум его наклонов и хождений и другие требования организации труда);

- заданную последовательность сборки и выполнения швов в соответствии с разработанным технологическим процессом;
- заданную точность размеров и формы сварного изделия (приспособление должно быть достаточно прочным и жестким, а закрепляемые детали должны оставаться в требуемом положении без деформирования при сварке);
- использование при их конструировании и изготовлении типовых, унифицированных, нормализованных и стандартных деталей, узлов и механизмов (это способствует уменьшению сроков проектирования и изготовления приспособлений, снижению их себестоимости и т.п.);
- сборку всей конструкции с одной установки, наименьшее число поворотов при сборке, прихватке и сварке;
- свободную установку, а также удобный съем собранного и сваренного (прихваченного) изделия;
- быстрый отвод теплоты от места сварки для уменьшения деформаций свариваемого изделия;
- свободный доступ для осмотра, наладки и ремонта приспособления;
- технологичность деталей и узлов, а также приспособления в целом;
- использование механизмов для загрузки, подачи и установки деталей, снятия, выталкивания и выгрузки собранного изделия, применения других средств комплексной механизации.

Приспособление должно быть ремонтнопригодным, безопасным в эксплуатации, иметь достаточно высокий срок службы. Для этого предусматривают возможность замены быстро изнашивающихся деталей и восстановления требуемой точности приспособления. Оно должно включать устройства для подрегулировки в процессе эксплуатации.

В приспособлениях изнашивающиеся детали должны иметь упрочненные рабочие поверхности. Нужно избегать применения открытых механизмов и передач; предотвращать проникновение пыли, грязи, влаги, флюса, брызг металла на трущиеся и сопряженные поверхности; предупреждать возможность перегрузки приспособления в эксплуатации. Следует вводить предохранительные и предельные устройства; предусматривать возможность удоб-

ной очистки базовых поверхностей от шлака и флюса, уборки последних после сварки.

Для предупреждения самопроизвольного расжатия прижимов и выпадения изделия необходимо встраивать самотормозящие звенья.

При разработке приспособлений и оборудования следует руководствоваться принципами художественного конструирования, а также учитывать эргономические требования. Надо определять рабочую зону оператора и размеры его рабочего места, хорошо представлять себе конкретные действия человека.

Для регулировки и настройки механизмов их оснащают специальными ручками и другими устройствами, которые должны быть защищены от случайных поворотов. Следует также предусмотреть смазывание деталей без разборки механизмов.

Корпусные детали и кожухи не должны иметь острых кромок и углов, которые могут быть причиной травм.

Установочные элементы. Установочные детали (опоры, упоры, пальцы, призмы, установочные конусы и т.п.) образуют базовые поверхности приспособлений и обеспечивают правильную ориентацию деталей в них в соответствии с правилом шести точек. На рис. 22.1 показаны некоторые установочные детали сборочных приспособлений.

Основными опорами сборочно-сварочных приспособлений могут быть опорные штыри с плоской, сферической и насеченной головками.

Детали больших размеров с обработанными базовыми поверхностями устанавливают на пластины, а детали небольших и средних размеров – на штыри.

Упоры – приспособления, препятствующие перемещению свариваемого элемента по опорной поверхности, фиксирующие положение элемента при сборке. Упоры устанавливаются для фиксирования деталей по боковым поверхностям. В качестве упоров, размещаемых по контуру детали, могут использоваться прямоугольные планки, штыри, ребра.

Упоры могут быть постоянными, поворотными, откидными, отводными или съемными с рифленой, сферической или плоской базовой поверхностью. Постоянные упоры крепятся на корпусе приспособления с помощью винтов или сварки. Для повышения износостойкости рабочие поверхности упоров упрочняют термообработкой или наплавкой. Желательно, чтобы упор одновременно являлся и опорной базой.

Откидные и отводные упоры применяются в тех случаях, когда форма деталей при конструкциях изделия не позволяет свободно снять его после прихватки с приспособления.

Установочные пальцы могут быть постоянными или сменными. Они применяются в сборочно-сварочных приспособлениях для установки на них деталей одним или двумя отверстиями. Установочные пальцы могут быть цилиндрическими и срезанными, длинными и короткими.

Обработанные поверхности платиков, пальцев и втулок отдаляют от мест сварки, а точные и чистые поверхности обрабатывают после сварки.

Торцевые конусы используются для центрирования цилиндрических деталей по их геометрической оси. Конструкции жестких центров могут иметь коническую, срезанную или рифленую поверхность конической фаски.

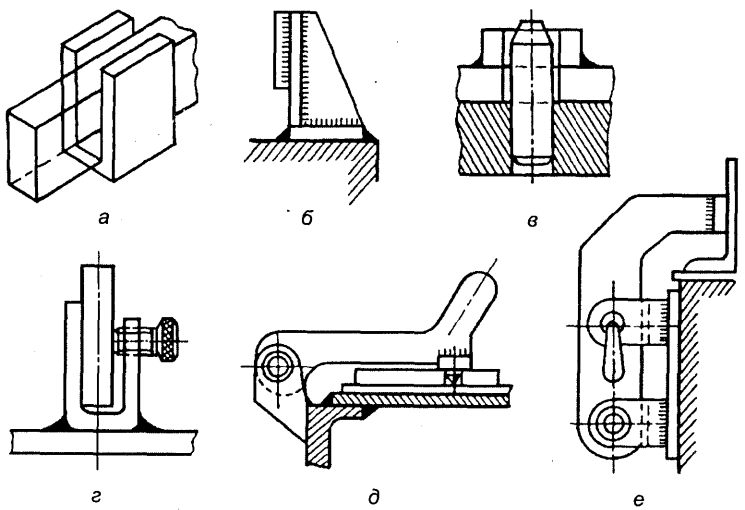


Рис. 22.1. Установочные детали сборочных приспособлений:
а – карман; *б* – упор; *в* – палец жесткий; *г* – зажим; *д* – палец откидной; *е* – упор откидной

В последнем случае такой конус применяется для передачи крутящего момента на деталь.

Прижимные механизмы. Прижимные (зажимные) механизмы предназначаются для закрепления (фиксации) установленных в приспособление деталей, заготовок, сборочных единиц. Эти устройства действуют по принципу винта, рычага, эксцентрика и т.п. Прижимные устройства могут использоваться при сборке и сварке отдельных деталей, а также при изготовлении крупногабаритных узлов и конструкций. Прижимными устройствами могут оснащаться стенды, стеллажи и другие сварочные приспособления, а также сварочные установки.

В сборочно-сварочных приспособлениях чаще всего применяют прижимы с механическим, пневматическим, гидравлическим, магнитным или электромеханическим приводами.

По степени механизации прижимы делят на:

ручные – приводимые в действие мускульной силой рабочего;

механизированные – работающие от силового привода, управляемого вручную;

автоматизированные – осуществляющие зажим и открепление деталей и узлов без участия человека.

Ручные прижимы применяют в единичном и мелкосерийном производстве, а механизированные и автоматизированные – в серийном и массовом.

Различные конструкции прижимов имеют разное время срабатывания для закрепления (открепления) деталей.

Переносные сборочные приспособления. Перекосные приспособления применяют для сборки свариваемых деталей и используют в единичном, мелкосерийном и серийном производствах, а также при монтаже сварных изделий. Переносные сборочные приспособления бывают универсальными и специализированными. *Универсальные* (рис. 22.2) *переносные приспособления* используют для сборки различных конструкций, а *специализированные* – для сборки определенных конструкций.

Применение сборочно-сварочных приспособлений. Клиновый универсальный зажим с планкой – ручное устройство для закрепления и центровки заготовок

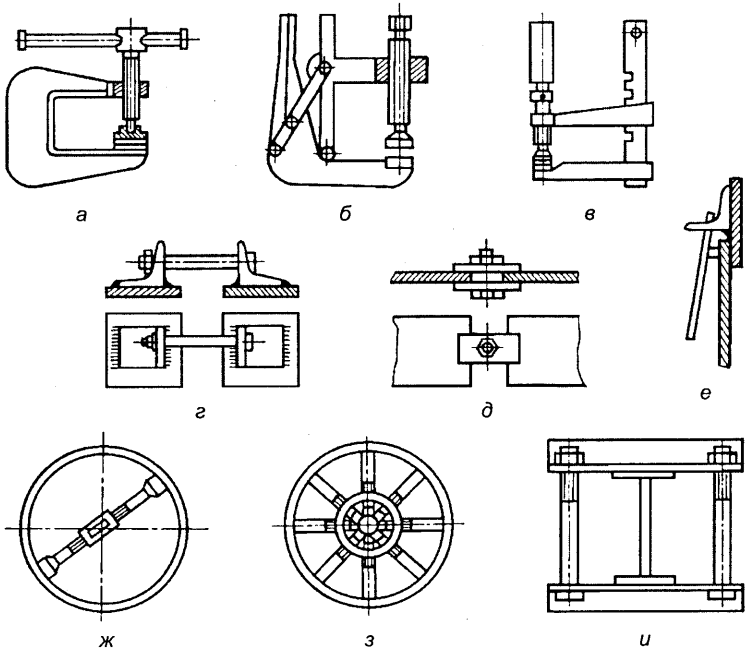


Рис. 22.2. Переносные универсальные приспособления для сборки: *а, б, в* – струбцины; *г, д* – стяжные устройства; *е* – прижим рычажный; *ж, з* – распорки (стяжки) винтовые; *и* – стяжное приспособление (хомут)

(рис. 22.3, *а*). Он эффективен при монтажной сборке листовых конструкций, цилиндрических и конических резервуаров. Клиновая ручная скоба из толстолистового металла (рис. 22.3, *б*) используется для сборки заготовок из листового и профильного металла. Струбцины (рис. 22.3, *в*) облегчают сборку заготовок круглого профиля и труб. Зажимная скоба с клиньями (рис. 22.3, *г*) применяется при сборке листовых конструкций. Винтовая откидная струбцина (рис. 22.3, *д*) может быть использована при сборке любых профилей. Винтовой поворотный зажим (рис. 22.3, *е*) применяется при сборке и креплении заготовок в условиях массового производства.

Винтовой ручной распор (рис. 22.4, *а*) широко используется при сборке цилиндрических обечаек, цистерн и

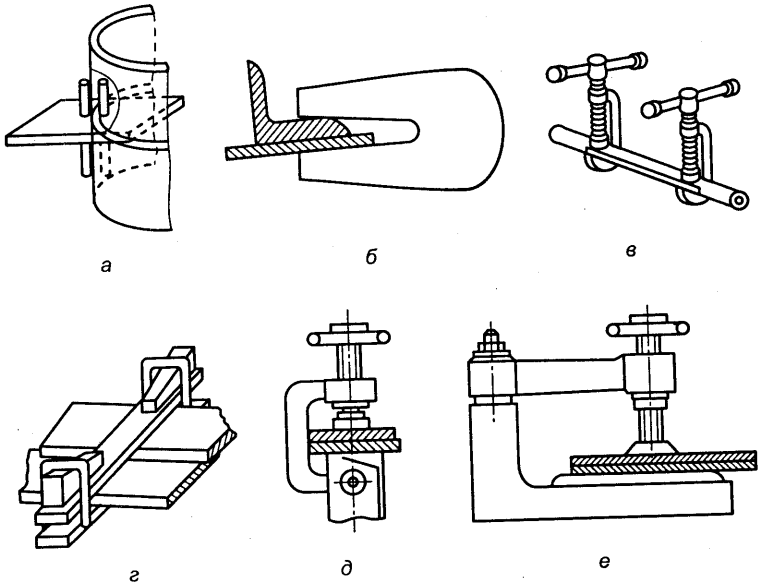


Рис. 22.3. Зажимные приспособления

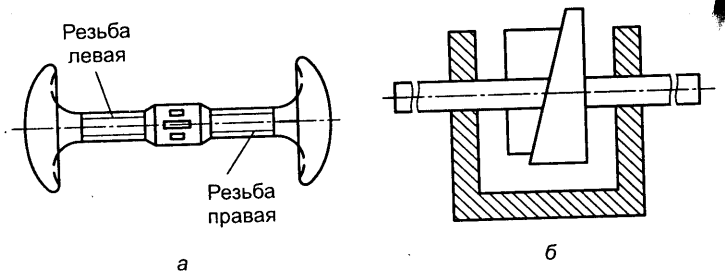


Рис. 22.4. Распорные приспособления

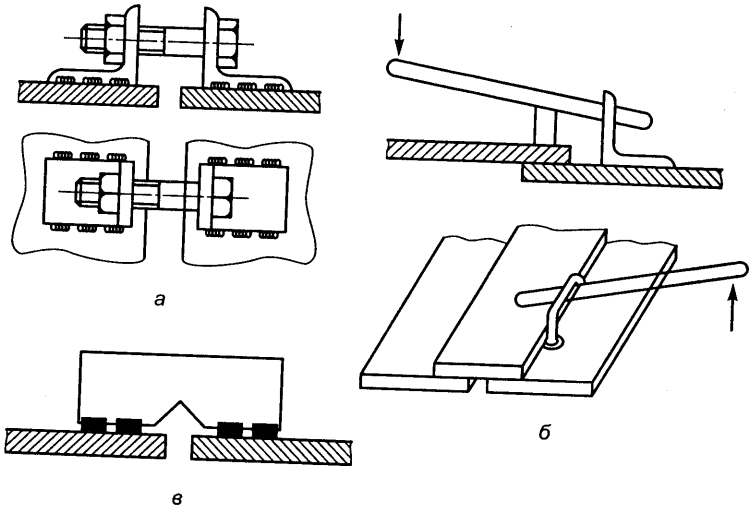


Рис. 22.5. Прихватные приспособления

других изделий. Клиновой распор (рис. 22.4, *б*) применяют при сборке деталей различных конструкций.

Прихватные приспособления в виде угольника с болтом (рис. 22.5, *а*) позволяют осуществлять сборку крупногабаритных конструкций из листового материала. Прихватная скоба с ломиком (рис. 22.5, *б*) облегчает сборку конструкций в монтажных условиях с применением нахлесточного соединения. Гребенка на прихватках (рис. 22.5, *в*) используется на монтаже крупных листовых конструкций.

Винтовые и ручные стяжки для сближения кромок (рис. 22.6, *а*) используют для сборки конструкций и заготовок из листового, полосового и профильного металла. Гибкий хомут с эксцентриковым зажимом (рис. 22.6, *б*) предназначен для сборки по продольным швам цилиндров, обечаек, сосудов (натяжное устройство может быть в виде ленты, троса и цепи). Распорно-стяжное винтовое ручное устройство (рис. 22.6, *в*) находит применение для сборки цилиндрических и плоскостенных листовых конструкций, резервуаров, трубопроводов большого диаметра.

25. Зак. 717.

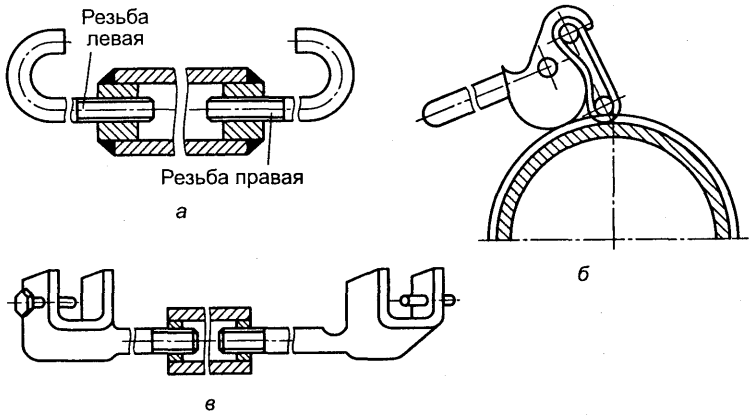


Рис. 22.6. Стяжные приспособления

Стяжные приспособления – приспособления, позволяющие стянуть, сблизить пружинящие элементы, уменьшить расстояние между ними, отрегулировать величину зазора между ними и величину зазора между стыкуемыми кромками. В качестве стяжных приспособлений используются хомуты, стяжные кольца, стяжки, стяжные ленты, цепи и т.п.

22.3. Универсально-сборные приспособления для сварки

Универсально-сборные приспособления (УСП) применяют при сборке сварных конструкций различных типов (рис. 22.7).

Универсально-сборные приспособления для сварки (УСПС) эффективны как при сборке изделий, так и при их сварке. Комплект УСПС содержит следующие элементы:

- базовые (плиты, планшайбы и др.);
- корпусные и опорные (призмы, угольники, подкладки и др.);
- установочные (пальцы, втулки, шпонки, центры и др.);
- направляющие (втулки, колонки, планки и др.);

- прижимные (прижимы различных типов);
- крепежные (винты, болты, гайки);
- узлы (самоустанавливающиеся опоры, поворотные головки и др.);
- вспомогательные (рукоятки, пружины и др.).

Обычно комплект элементов УСПС включает 2200–3400 деталей и узлов, из которых одновременно может быть собрано несколько десятков приспособлений. Благодаря универсальности и взаимозаменяемости элементов УСПС продолжительность сборки и разборки при-

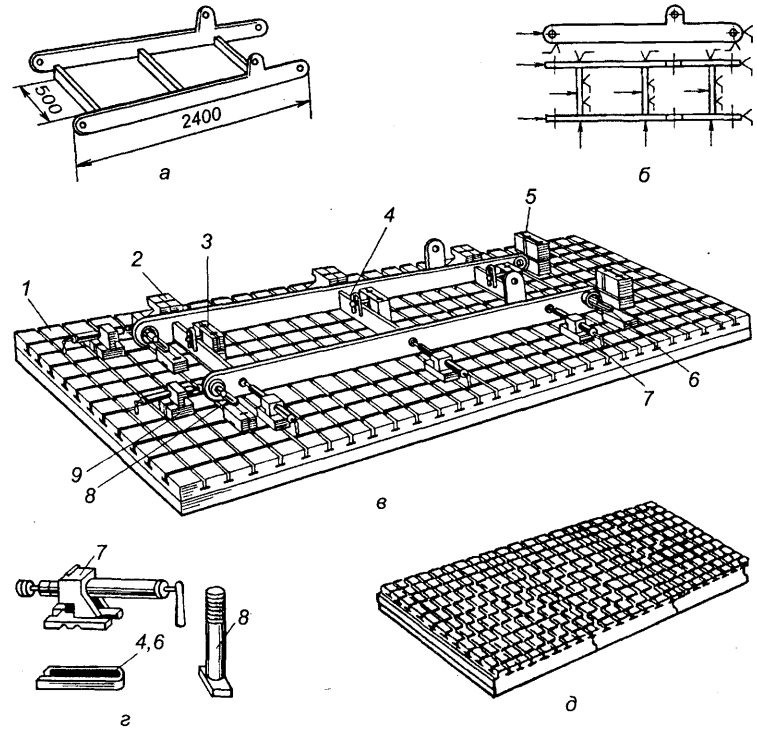


Рис. 22.7. Универсальное сборное приспособление для сварки:
а – изделие (рама); *б* – схема базирования деталей при сборке рамы; *в* – компоновка УСПС при сборке рамы; *г* – детали УСПС, используемые для сборки; *д* – плита; *1* – плита; *2* – упор; *3* – корпус прижима; *4, 6* – скобы; *5* – стойка; *7* – прижим; *8* – штырь; *9* – основание прижима

способления не превышает 1–8 ч в зависимости от его сложности.

Применение УСПС значительно сокращает и удешевляет технологическую подготовку производства, повышает его техническую оснащенность. Это достигается благодаря тому, что комплекты нормализованных и стандартных деталей и механизмов взаимозаменяемы и могут использоваться многократно.

Проектирование УСПС сводится лишь к разработке принципиальной компоновочной схемы приспособления, а изготовление – к сборке приспособления из готовых элементов и наладке. После сборки (сварки) партии изделий УСПС разбирают на составляющие их элементы, которые в дальнейшем используются для компоновки новых приспособлений.

УСПС применяют на предприятиях с индивидуальным и мелкосерийным производством, а также на предприятиях с серийным и крупносерийным производством в период освоения новой продукции.

УСПС целесообразно использовать на ремонтных предприятиях и для сборки приспособлений-дублеров при ремонте основной технологической оснастки.

Опорные приспособления (сборочно-сварочные) – это плиты, столы, стеллажи. На рис. 22.7, *д* показана чугунная опорная плита, которая используется для сборки и сварки тяжелых изделий, требующих высокой точности исполнения. Плиты имеют взаимно перпендикулярные пазы для крепления болтов, часто дополнительные отверстия для упоров.

22.4. Механизированные приспособления для сборки и сварки

Средства механизации. *Сборочно-сварочным кондуктором* называют приспособление с упорами, гнездами и другими фиксирующими элементами, а также зажимными устройствами, служащими для сборки и сварки изделий типа кронштейнов, рам, ферм, балок и др. Для удобства сборки, прихватки и сварки кондукторы часто устанавливают на планшайбы манипулятора или двухстоечного цапфового кантователя.

Поворотные приспособления предназначены для быстрого и удобного поворота изделия при сборке и сварке и установки его в наиболее удобное для работы положение. К поворотным приспособлениям относятся роликовые опоры, различные типы кантователей, поворотные столы, манипуляторы, поворотные стенды и т.п. На рис. 22.8 приведены примеры поворотных приспособлений.

Вращатель (рис. 22.8, *а–в*) – устройство для закрепления изделия в заданном положении и вращения его со скоростью сварки.

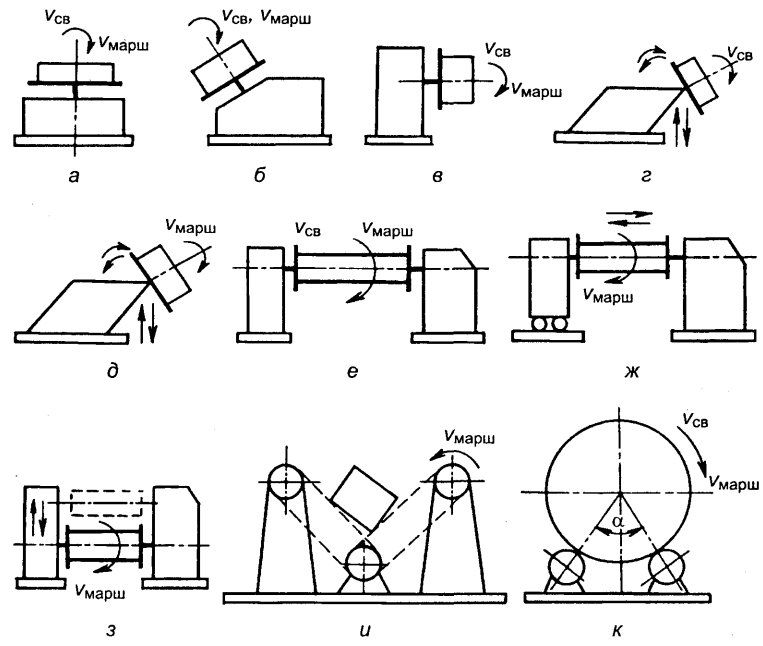


Рис. 22.8. Схемы поворотных приспособлений:
а – вращатель с вертикальной осью; *б* – то же, с наклонной осью; *в* – то же, с горизонтальной осью; *г* – манипулятор; *д* – позиционер; *е* – двухстоечный кантователь с горизонтальной осью; *ж* – то же, с подвижной стойкой; *з* – то же, с подъемными центрами; *и* – цепной кантователь; *к* – роликовый стенд; $v_{св}$ – скорость сварки; $v_{марш}$ – маршевая скорость

Манипулятор (рис. 22.8, *г*) – приспособление для вращения изделия в процессе сварки при различных углах наклона оси вращения.

Позиционер (рис. 22.8, *д*) предназначен для установки изделия в удобное для сборки положение. В отличие от манипулятора позиционер не вращает изделие со скоростью сварки, а только поворачивает и удерживает его в нужном положении.

Кантователь сборочно-сварочный (рис. 22.8, *е–и*) – приспособление для поворота тяжелых цилиндрических крупногабаритных изделий вокруг одной или нескольких фиксированных осей вращения. Он позволяет устанавливать изделие в удобное для работы положение. Обычно используются роликовые, цепочные, цапфовые и цепные кантователи.

Сборочно-сварочный стенд предназначен для размещения деталей собираемых и свариваемых крупногабаритных изделий и фиксации их в нужном положении. Примерами являются электромагнитные стенды, используемые при изготовлении резервуаров, вагонов, плоскостных секций судовых корпусов и других листовых конструкций. Эти стенды представляют собой плоскую или лекальную постель со встроенными электромагнитами, между которыми расположены флюсо-медные подушки с пневматическим прижимом.

Электромагниты плотно притягивают собираемые кромки к стенду и воспринимают реакцию от давления флюсовых подушек. Сборочно-сварочные стенды фиксируют собираемые листы в таком положении, чтобы кромки были параллельны, удерживают листы от деформации при сварке, предохраняют от протекания жидкого металла в зазор, способствуя правильному формированию обратного валика.

Существуют также сборочно-сварочные стенды для вращения свариваемых изделий, например *роликовые стенды* (рис. 22.8, *к*), рабочая поверхность которых образуется роликами.

Промышленные роботы. Промышленный робот является автоматическим манипулятором с программным управлением. Он может быть сравнительно легко и быстро переналажен и обучен на выполнение

заданного технологического процесса путем перепрограммирования и замены (переналадки) приспособлений.

Роботы могут устанавливаться стационарно (напольные и подвесные) по отношению к обслуживающему оборудованию, обеспечивая подачу к нему заготовок, деталей и изделий, или перемещаться от одного станка к другому (по рельсам, на катках по балкам, подвесным рельсам).

Наиболее эффективным средством автоматизации являются роботы в составе роботизированных технологических комплексов (РТК) или роботизированных линий и участков сборки-сварки. Выбор типа и модели промышленного робота и компоновка РТК зависят от конструкции изделия и серийности его выпуска.

Вариант РТК представлен на рис. 22.9. РТК оснащен поворотно-наклоняющимися вращателями *6* с пневматическими зажимными приспособлениями 9 для крепления изделия *4*. Робот *3* и вращатели закреплены на общем основании 8 так, чтобы изделие находилось в рабочей зоне

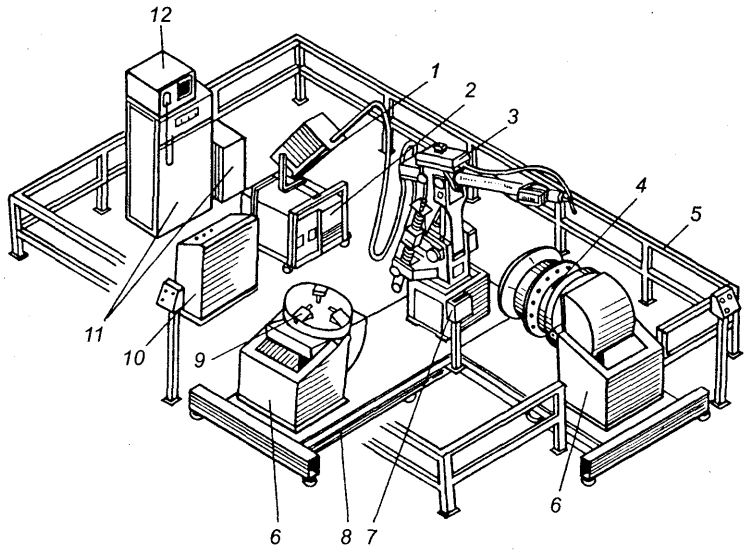


Рис. 22.9. Роботизированный технологический комплекс с наклоняющимися вращателями

робота. Механизм *1* подачи проволоки сварочного полуавтомата закреплен на консоли. Имеется сварочный источник питания *2* и устройство *7* для очистки горелки от брызг. Стойки (шкафы) управления *11* с видеотерминалом *12* и пульт *10* управления РТК и вращателей расположены в зоне, недоступной для робота. РТК имеет защитное ограждение *5*.

При применении РТК необходимо соблюдение мер, которые бы обеспечили безопасность обслуживающего персонала. Аварийные ситуации РТК могут возникнуть из-за непредусмотренных движений робота во время обучения или автоматической работы. Основной целью мероприятий по технике безопасности является исключение возможности одновременного нахождения человека и механизмов робота в одном месте рабочего пространства. Это достигается остановкой робота при входе человека в рабочее пространство. Отключение робота выполняется устройствами защиты, использующими контактные, силовые, ультразвуковые, индукционные, светолокационные и другие датчики.

Тестовые задания

1. Операции резки, гибки, правки, штамповки, зачистки и другие по изготовлению деталей сварных конструкций:

1) вспомогательные; 3) заготовительные;
2) сборочные; 4) отделочные.

2. Операции, обеспечивающие правильное взаимное расположение и закрепление деталей собираемого и свариваемого изделия на плите, стеллаже, стенде или специальном приспособлении:

1) вспомогательные; 3) заготовительные;
2) сборочные; 4) отделочные.

3. Операции, при которых производятся зачистка, удаление металлических брызг и грата, окраска, упаковка:

1) вспомогательные; 3) заготовительные;
2) сборочные; 4) отделочные.

4. Операции транспортно-подъемные, наладочные, по приему и выдаче материала и инструмента, подготовке сварочных электродов и другие:

1) вспомогательные; 3) заготовительные;
2) сборочные; 4) отделочные.

5. Детали (опоры, упоры, пальцы, призмы, установочные конусы), обеспечивающие правильную ориентацию свариваемых деталей в приспособлениях:

1) вспомогательные; 3) запасные;
2) установочные; 4) временные.

6. Сборочно-сварочное приспособление с упорами, гнездами и другими фиксирующими элементами, а также зажимными устройствами, служащими для сборки и сварки изделий типа кронштейнов, рам, ферм, балок и др.:

1) позиционер; 3) стенд;
2) кондуктор; 4) манипулятор.

7. Приспособление, предназначеное для установки изделия в удобное для сборки положение:

1) позиционер; 3) стенд;
2) кондуктор; 4) манипулятор.

8. Приспособление для вращения изделия в процессе сварки при различных углах наклона оси вращения:

1) позиционер; 3) стенд;
2) кондуктор; 4) манипулятор.

9. Устройство для закрепления изделия в заданном положении и вращения его со скоростью сварки:

1) кондуктор; 3) манипулятор;
2) позиционер; 4) вращатель.

10. Сборочно-сварочное приспособление, предназначенное для размещения деталей собираемых и свариваемых крупногабаритных изделий и фиксации их в нужном положении:

1) позиционер; 3) стенд;
2) кондуктор; 4) манипулятор.

26. Зак. 717.

Глава 23

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

23.1. Охрана труда при сварочных работах

Опасные и вредные производственные факторы. ***Опасный производственный фактор*** – это фактор, воздействие которого на сварщика может привести к травме.

Вредный производственный фактор – это фактор, воздействие которого на сварщика может привести к заболеванию.

Основными опасными и вредными производственными факторами при ручной дуговой сварке покрытыми электродами являются:

- сварочные аэрозоли;
- повышенный уровень оптического излучения в ультрафиолетовом, видимом и инфракрасном (тепловом) диапазонах;
- искры, брызги и выбросы расплавленного металла и шлака;
- повышенная температура шлаковой ванны, материалов, оборудования и воздуха рабочей зоны;
- высокое напряжение в электрической цепи;
- физические и нервно-психические перегрузки.

Особо характерным вредным фактором является присутствие в воздухе рабочей зоны сварочных аэрозолей, содержащих токсические вещества. Длительное их воздействие на организм сварщика может привести к возникновению профессиональных заболеваний (пневмокониоз, пылевой бронхит и др.).

Наиболее вредные аэрозоли образуются при сварке высоколегированными электродами, содержащими соединения хрома и никеля. Это необходимо учитывать при выборе средств нейтрализации вредных веществ в системах промышленной вентиляции и индивидуальной защиты органов дыхания сварщиков.

При использовании электродов следует руководствоваться техническими условиями, которые содержат требования по безопасности и защите окружающей среды с перечнем вредных и опасных факторов, а также средств защиты сварщиков и окружающей среды.

При сварке и резке медно-цинковых сплавов и оцинкованных сталей выделяется оксид цинка, действие которого на организм вызывает потерю аппетита, жажду, повышенную утомляемость и сухой кашель, что приводит к приступам лихорадки (озноб, повышение температуры, тошнота, рвота).

При сварке и резке свинца и металла, покрытого свинцовыми красками, происходит выделение оксида свинца, воздействие которого на организм работающего проявляется в виде металлического привкуса во рту, отрыжки, потери аппетита и упадка сил. Через 2,5–3,5 мес. появляются лилово-серая кайма вокруг десен и сильные головные боли.

Ручная дуговая сварка сопровождается излучением в ультрафиолетовом, видимом и инфракрасном диапазонах, многократно превышающем физиологически переносимую глазом человека величину. Интенсивность излучения сварочной дуги и его спектральные характеристики зависят от мощности дуги, способа сварки, вида сварочных материалов.

Электрическая дуга является мощным источником яркого света, ультрафиолетовых и инфракрасных лучей, воздействие которых на незащищенные глаза в течение 10–20 с в радиусе до 1 м вызывает сильные боли, слезоточивость и светобоязнь.

Воздействие электрической дуги на кожные покровы в течение 60–180 с вызывает ожог (аналогично продолжительному воздействию солнца), а длительное воздействие на органы зрения приводит к электроофтальмии и катаракте.

Интенсивность инфракрасного (теплового) излучения от свариваемых изделий и сварочной ванны определяется температурой изделий, их габаритами и конструкцией, а также температурой и размерами сварочной ванны. При отсутствии средств индивидуальной защиты воздействие теплового излучения, превышающего допустимый

уровень, приводит к нарушениям терморегуляции, тепловому удару. Контакт с нагретым металлом может вызвать ожоги.

Напряженность электромагнитных полей зависит от конструкции и мощности сварочного оборудования, конфигурации свариваемых изделий. Характер их влияния на организм определяется уровнем и длительностью воздействия. Как правило, при ручной дуговой сварке напряженность магнитного поля незначительна (до 300 А/м) и не превышает предельно допустимых уровней.

Источниками шума при дуговой сварке являются сварочная дуга, источники питания, пневмоприводы и др. Уровень шума от сварочной дуги определяется стабильностью ее горения. Поэтому при сварке покрытыми электродами и другими сварочными материалами, в составе которых присутствуют элементы–стабилизаторы дуги, уровень шума не превышает допустимого.

Разбрызгивание металла при сварке – также следствие нестабильного горения дуги. При использовании покрытых электродов оно незначительно. Брызги, искры и выбросы расплавленного металла и шлака при отсутствии средств защиты могут быть причиной ожогов кожных покровов, травмирования органов зрения, а также возникновения пожаров.

Опасным для жизни человека считается ***электрическое напряжение*** более 42 В переменного и 110 В постоянного тока при работе в сварочных цехах и 12 В – в сырых помещениях, замкнутых металлических объемах и т.п. Однако эти напряжения являются условными, поскольку опасность поражения электрическим током существенно зависит от индивидуальных особенностей организма и окружающих условий. Наличие даже малых количеств алкоголя в крови резко снижает электрическое сопротивление тела человека. Мокрая или потная кожа обладает гораздо большей электропроводностью, чем сухая.

Статические и динамические физические нагрузки при ручной сварке вызывают перенапряжение нервной и костно-мышечной систем организма. Статические нагрузки зависят от массы сварочного инструмента (электрододержателя, шлангового держателя полуавтомата), гибкости шлангов и проводов, длительности непрерывной работы и рабочей позы (стоя, сидя, полусидя, стоя на коленях, лежа на спине). Наибольшие физические нагрузки ощущаются при выполнении сварочных работ полусидя и стоя при сварке в потолочном положении или лежа на спине в труднодоступных местах.

Динамическое перенапряжение связано с выполнением тяжелых вспомогательных работ: доставка на рабочее место заготовок, сварочных материалов, подъем и переноска приспособлений, поворот свариваемых узлов. Такие нагрузки вызывают утомляемость сварщиков и как следствие ухудшение качества выполнения сварных швов.

Кроме указанных опасных и вредных факторов при ручной дуговой сварке происходит ***ионизация воздуха*** рабочей зоны с образованием ионов обеих полярностей. Причиной этого являются электрическая и термическая ионизация в результате электродугового процесса, а также воздействие ультрафиолетового излучения дуги на воздух. Повышенная или пониженная концентрация отрицательно или положительно заряженных ионов в воздухе рабочей зоны также может оказывать неблагоприятное действие на здоровье работающих.

Общие требования. Электросварщик должен иметь квалификационную группу по электробезопасности не ниже второй. Вновь поступающий на работу независимо от квалификации обязан пройти вводный инструктаж по технике безопасности, а также инструктаж на рабочем месте, предварительный медицинский осмотр, а в последующем в установленном порядке проходить периодические медицинские осмотры. Инструктаж по безопасности труда проводят не реже одного раза в три месяца. При переводе на работу с использованием нового оборудования сварщик должен ознакомиться с его конструкцией и пройти дополнительный инструктаж по технике безопасности.

Администрация предприятий и организаций обязана выдавать рабочим спецодежду, спецобувь и защитные средства, отвечающие стандартам или техническим условиям в соответствии с нормами выдачи.

Перед началом сварочных работ электросварщик обязан проверить защитные приспособления, шлем, щиток, диэлектрический коврик или диэлектрические боты, надеть спецодежду – брезентовый костюм с огнестойкой

пропиткой, ботинки, головной убор, диэлектрические перчатки или брезентовые рукавицы.

Изолирующие защитные средства проверяют при приемке в эксплуатацию, а затем периодически в следующие сроки: диэлектрические перчатки раз в 6 мес., диэлектрические боты раз в 3 года, диэлектрические сапоги, галоши и инструмент с изолирующими рукоятками раз в год, диэлектрические коврики раз в 2 года.

Все защитные средства, кроме инструмента с изолирующими рукоятками, должны иметь штамп с указанием срока следующих испытаний и наибольшего номинального напряжения аппаратов, для которых предназначено защитное средство.

Для защиты работающих вблизи, а также подсобных рабочих от лучистой энергии сварочных дуг в постоянных местах сварки для каждого электросварщика устраивают кабину. Свободная площадь на один сварочный пост в кабине должна быть не менее 3 м^2. Высота стен кабины 1,8–2 м. Для лучшей вентиляции стены устанавливают на высоте 50 мм от пола, при сварке в среде защитных газов – на высоте 300 мм.

Температура нагретой поверхности оборудования не должна превышать 45 °С. Требования к оборудованию, используемому для ручной дуговой сварки покрытыми электродами, изложены в ГОСТ 12.2.003, ГОСТ 12.2.049, ГОСТ 12.2.007.8, «Правилах устройства электроустановок», «Правилах техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правилах технической эксплуатации установок потребителей».

Источники тока должны быть надежно заземлены (ГОСТ 12.2.007.0). В процессе эксплуатации напряжение холостого хода источников питания не должно превышать 80 В для источников переменного тока и 100 В – постоянного. Источники питания должны быть оборудованы вольтметром и сигнальной лампочкой, указывающими наличие или отсутствие напряжения в сварочной цепи, блоками ограничения холостого хода.

Защита органов зрения. При ручной дуговой сварке сварочная дуга и расплавляемый металл могут быть источником травмирования электросварщика. Для защиты сварщика от излучения и брызг металла, а также от

воздействия выделяемых при сварке паров металла, шлака и аэрозолей предназначены щитки. Они бывают двух видов: наголовные и ручные. Наголовный щиток более удобен, так как освобождает сварщика от необходимости удерживать его. Щитки закрывают все открытые части головы и шеи сварщика. При необходимости не обязательно откидывать щиток назад, достаточно поднять крышку рамки со светофильтром и осмотреть конструкцию через прозрачное защитное стекло, подготовить стык к сварке, зачистить кромки, удалить шлак и выполнить другие операции.

Для защиты от вредного излучения дуги в щитки вставляют стеклянные светофильтры темно-зеленого цвета, которые позволяют видеть дугу, расплавляемый металл и манипулировать электродом. Применяют 13 классов светофильтров типа С для сварки током от 13 до 900 А (табл. 23.1).

Табл. 23.1. **Светофильтры для дуговой сварки**

Ток, А	15–30	30–60	60–150	150–275	275–350
Тип светофильтра	С-3	С-4	С-5	С-6	С-7

Ток, А	350–600	600–700	700–9000	Свыше 900
Тип светофильтра	С-8	С-9	С-10	С-11

Наиболее удобны щитки с автоматическим затемнением светофильтра, освобождающие руки сварщика и исключающие сварку «вслепую».

Необходимо иметь в виду, что излучение сварочной дуги может травмировать глаза людей, находящихся недалеко от сварщика. Поэтому рабочих, присутствующих в зоне сварки, следует снабдить очками и светофильтрами. Излучение дуги опасно для зрения на расстоянии до 20 м.

Зачистку поверхности металла выполняют в защитных предохранительных очках с прозрачными небьющимися стеклами или в защитных щитках.

Защита тела. Для защиты тела от искр и брызг расплавленного металла и шлака, повышенных температур материалов и оборудования предназначена спецодежда

всесезонная и летняя из брезента с термостойкой, искростойкой и огнестойкой пропиткой. Руки защищают рукавицами (ГОСТ 12.4.010).

Спецодежда (куртки и брюки) изготовляется из материала, защищающего сварщика от излучения дуги. При работе на стационарных постах сварщик использует фартук, защищающий от брызг металла, особенно опасных при дуговой резке. Обувь должна быть с нескользящей подметкой.

Во время работы куртка должна быть застегнута, обшлага рукавов подвязаны или застегнуты, карманы закрыты клапанами, ботинки плотно зашнурованы, брюки должны закрывать ботинки во избежание попадания брызг металла на ноги. Спецодежда, спецобувь и рукавицы должны быть сухими, без следов масла.

К средствам индивидуальной защиты относятся также резиновый коврик, резиновые перчатки и галоши, применяемые при особо опасных работах.

При сварочных работах на открытом воздухе в холодное время года спецодежда дополняется теплозащитными подстежками в соответствии с климатическими зонами.

Вентиляция. Вентиляция может быть общей и местной. Общую делают приточно-вытяжной. Она служит для удаления загрязненного воздуха из всего помещения и подачи свежего. Общая вытяжная вентиляция на постоянных рабочих местах недостаточно эффективна: поток загрязненного воздуха, поднимаясь вверх от дуги или пламени, вредно влияет на электросварщика. Поэтому загрязненный поток с рабочего места удаляют местными вытяжными устройствами.

Эффективны местные вентиляционные устройства, отклоняющие сварочный факел от лица рабочего и удаляющие загрязненный воздух, – вытяжные панели. Выбор типа панели зависит от объема удаляемого воздуха, длины сварочного стола и размеров свариваемых изделий. Вытяжные панели особенно эффективны при сварке относительно небольших деталей. При сварочных работах на больших листах и конструкциях у дуги или панели целесообразно ставить местные отсосы передвижного типа, соединенные с вытяжной вентиляцией телескопическими трубами и поворотными фланцами.

Работа в особо опасных условиях. При ручной дуговой сварке переменным током в особо опасных условиях (внутри металлической емкости, на открытом воздухе, а также в помещении с повышенной опасностью) при смене электродов применяют блокировочные устройства. Они позволяют менять электроды при отключенном напряжении сварочной цепи или понижении его до безопасной величины (12–14 В). Выполняют работу в брезентовых рукавицах. Во время перерывов сварки электрододержатель подвешивают на штатив или крючок.

Особого внимания требует организация рабочего места при работе внутри цистерн, котлов, колодцев и в других замкнутых или тесных пространствах, так как при этом возникает опасность отравления газом и поражения электрическим током.

Электросварщика, работающего в закрытых сосудах, обеспечивают шланговым противогазом ПШ-2 или ПШ-1, спасательным поясом с прикрепленной к нему прочной веревкой, резиновыми изолирующими матами на войлочной или другой подкладке, плохо проводящей теплоту, шлемом из диэлектрического материала и спецодеждой с резиновыми подлокотниками и наколенниками.

Прежде чем приступить к работе в опасной зоне, берут пробу воздуха. В процессе работы воздуходувкой подают в рабочую зону чистый воздух.

Подлежащие сварке емкости, которые были заполнены нефтепродуктами и другими легковоспламеняющимися и горючими жидкостями, обязательно промывают и пропаривают.

При выполнении сварочных работ на высоте рабочий должен иметь предохранительный пояс и сумку для инструмента. Если сварщики одновременно работают на различной высоте по одной вертикали, должны быть предусмотрены средства, защищающие людей, находящихся внизу, от падающих капель расплавленного металла и шлака. Под местом сварки оборудуют плотный помост, покрытый листами кровельного железа или асбестом.

Сварщики, работающие на строительных площадках, обязаны носить каски, защищающие голову от падающих предметов, поражения электрическим током и атмосферных воздействий. Под каску надевается подшлемник.

23.2. Электробезопасность

Основные понятия. ***Электробезопасность*** – система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электрического поля и статического электричества.

Электротравма – травма, вызванная электрическим током или электрической дугой.

Электротравматизм – явление, характеризующееся совокупностью электротравм.

Электрическое замыкание на корпус – случайное электрическое соединение токоведущей части с металлическими нетоковедущими частями электроустановки.

Электрическое замыкание на землю – случайное электрическое соединение токоведущей части непосредственно с землей или нетоковедущими проводящими конструкциями, или предметами, не изолированными от земли.

Основными причинами поражения электрическим током являются: соприкосновение с открытыми токоведущими частями и проводами (случайное, не вызванное производственной необходимостью, или вследствие ошибочной подачи напряжения во время ремонтов и осмотров); прикосновение к токоведущим частям, изоляция которых повреждена; касание токоведущих частей через предметы с низким сопротивлением изоляции; прикосновение к металлическим частям оборудования, случайно оказавшимся под напряжением (в результате отсутствия или повреждения защитных устройств); соприкосновение со строительными деталями конструкций, случайно оказавшимися под напряжением, и др.

Опасность поражения электрическим током создают источники сварочного тока, электрический привод (включая пускорегулирующую аппаратуру), электрооборудование подъемно-транспортных устройств, электрифицированный транспорт, высокочастотные и осветительные установки, электрические ручные машины и т.д.

Виды электротравм. Действие электрического тока на организм человека может вызвать различные травмы (электрический ожог, металлизацию кожи, электрический знак) и электрический удар.

Электрический ожог может причинить электрическая дуга (дуговой ожог) или контакт с токоведущей частью (токовый ожог) в результате преобразования энергии электрического тока в тепловую.

Металлизация кожи – это результат механического и химического воздействия тока, когда металлические частицы проникают в глубь кожи и пораженный участок становится жестким.

Электрический знак – следствие теплового воздействия при прохождении тока большой величины через малую поверхность с относительно большим сопротивлением при температуре 50–115 °С. В результате происходит повреждение кожи, а также возникает отпечаток от прикосновения к токоведущей части.

Электрический удар сопровождается непроизвольными судорожными сокращениями мышц при прохождении через тело человека электрического тока.

Электрический ток воздействует также на нервную систему. Существенное влияние он оказывает и на скелетную мускулатуру (судороги) и особенно на сердце, вызывая его фибрилляцию (отдельные «подергивания» волокон сердечной мышцы). При этом может наступить смерть.

Степень тяжести поражения человека электрическим током зависит от величины, длительности действия, рода и частоты тока, сопротивления тела, пути тока в организме, состояния организма.

Электроофтальмия возникает в результате мощного потока ультрафиолетовых лучей электрической дуги и приводит к воспалению наружных оболочек глаз.

Технические средства защиты. В процессе эксплуатации электросварочных установок применяются специальные средства защиты, которые делятся на изолирующие, ограждающие и вспомогательные.

Изолирующие средства защиты бывают основные и дополнительные.

Основные изолирующие средства способны длительное время выдерживать рабочее напряжение электроустановки, поэтому ими можно касаться токоведущих частей, находящихся под напряжением. Это диэлектрические резиновые перчатки, инструмент с изолированными рукоятками и токоискателями.

Дополнительные изолирующие средства обладают недостаточной электрической прочностью и поэтому не могут защитить человека от поражения током. К таким средствам относятся: резиновая обувь, коврики и изолирующие подставки.

Резиновую обувь и коврики применяют при технологических операциях, выполняемых с помощью основных защитных средств.

Ограждающие средства защиты предназначены для временного ограждения токоведущих частей (переносные ограждения-щиты, ограждения-клетки, изолирующие накладки, изолирующие колпаки), предотвращения ошибочных операций (предупредительные плакаты), временного заземления отключенных токоведущих частей с целью устранения опасности поражения током при случайном появлении напряжения (временные защитные заземления).

Вспомогательные средства защиты предназначены для индивидуальной защиты от световых, тепловых и механических воздействий (защитные очки, специальные рукавицы и т.п.).

Электрические провода. Перед началом работы внимательно осматривают и проверяют надежность контакта и крепление заземляющих проводников с корпусами сварочных трансформаторов и сварочных машин, сварочных столов, исправность пусковых и отключающих устройств – рубильников, магнитных пускателей, выключателей, изоляцию токоведущих проводников, наличие необходимого исправного инструмента, стеллажей, а также освещенность.

Переносный светильник должен иметь защитную сетку, изолированные рукоятку и провод.

При одновременном применении сварочных трансформаторов или аппаратов их располагают так, чтобы расстояние между ними было не менее 35–40 см. Сварочный провод можно прокладывать через дверные или оконные проемы. При этом провод заключают в металлическую трубу.

Ширина проходов между оборудованием, движущимися механизмами и перемещающимися деталями, а также между стационарными многопостовыми источниками питания должна быть не менее 1,5 м; расстояние между автоматическими сварочными установками – не менее 2 м.

Сечение питающих проводов должно строго соответствовать силе тока в сварочной цепи. Провода от чрезмерного превышения тока защищают предохранителями с плавкими вставками. Необходимо следить за их исправностью и не допускать применения самодельных вставок. Предохранители с такими вставками не защищают установку, а могут быть причиной аварии, повреждения изоляции сварочного кабеля и пожара.

Все металлические части оборудования, питающиеся от электрической сети, а также зажим вторичной обмотки трансформатора, который идет к изделию, следует надежно заземлять. Это обеспечивает электробезопасность сварщика и подсобных рабочих в случае пробоя изоляции первичной обмотки трансформатора и перехода напряжения во вторичную обмотку.

Существенное значение имеют правильная разводка проводов к сварочным постам, сварочным машинам, трансформаторам и особенно к передвижным сварочным установкам. Провода подвешивают на высоте более 2,5 м. Рекомендуется применять шланговый провод или специальный кабель. Спуск к трансформатору или сварочной машине выполняют у стен и столбов так, чтобы исключить механическое воздействие на изоляцию проводов. Не рекомендуется применять провод длиной более 30 м, так как это вызывает значительное падение напряжения в сварочной цепи.

Желательно, чтобы длина кабеля, к которому прикрепили электрододержатель, была не более 2–3 м. Соединять гибкий провод электрододержателя со сварочными токопроводящими проводами следует с помощью медных кабельных наконечников.

Опасность поражения электрическим током возникает при соприкосновении с металлическими частями установки, случайно оказавшимися под напряжением из-за повреждения изоляции.

Прежде чем перенести сварочную аппаратуру, ее отключают от питающей электросети. Провода следует переносить свернутыми в бухты, чтобы не повредить изоляцию.

Безопасным напряжением в сухих помещениях при нормальных условиях работы, сухой одежде и обуви является напряжение 36 В, а в сырых помещениях – 12 В.

23.3. Пожарная безопасность

Источниками пожара при проведении сварочных работ являются: открытый огонь (сварочная дуга, пламя газовой сварки и резки); искры и частицы расплавленного металла; повышенная температура изделий, которые подвергаются сварке и резке. Могут воспламеняться горючие материалы, находящиеся вблизи мест производства сварочных и газорезательных работ, а также происходить взрывы при неправильном обращении с ацетиленовыми генераторами, карбидом кальция, баллонами для сжатых газов, при ремонте (с применением сварки) тары, используемой для хранения горючих жидкостей, и сосудов, находящихся под давлением.

Причинами пожаров технического характера являются: неисправность электрооборудования (короткое замыкание, перегрузки и большие переходные сопротивления); несоблюдение графика планового ремонта; износ и коррозия оборудования и т.д.

Причины пожаров организационного характера – небрежное обращение с открытыми источниками огня, неправильное хранение пожароопасных веществ, несоблюдение правил пожарной безопасности и т.д.

Все цеха, участки и рабочие места электросварщиков обеспечивают противопожарным инвентарем в зависимости от установленных норм. Для ликвидации очага загорания в электропроводке, электрических машинах и трансформаторах применяют углекислотные огнетушители, предварительно обесточив эти очаги. Помещение, в котором был использован углекислотный огнетушитель, тщательно проветривают. В случае возникновения пожара надо немедленно принять меры к его ликвидации имеющимися средствами и при необходимости вызвать пожарную команду.

Использовать инвентарь пожаротушения для других целей запрещается.

Правильный выбор сечения проводов в зависимости от силы тока и рабочего напряжения, а также плавких вставок (предохранителей) на предельно допустимый ток позволяет предотвратить загорание проводов и сварочного оборудования.

Пожарная опасность от раскаленных электродов (огарков) возникает часто при сварке на высоте. Удаляемые из электрододержателя огарки, попадая на перекрытия или леса, могут вызвать загорание строительных отходов и других горючих материалов. Особенно опасны огарки при строительно-монтажных и ремонтных работах.

Сварочные работы разрешается производить на расстоянии не менее 5 м от горючих материалов и не ближе 10 м от емкостей с легковоспламеняющимися жидкостями. При этом места сварочных работ должны быть обеспечены средствами пожаротушения.

Запрещаются сварочные работы на трубопроводах и емкостях, заполненных горючими веществами или находящихся под давлением, на свежеокрашенных конструкциях.

Не разрешается производить сварку в спецодежде и рукавицах со следами масел, жиров и горючих жидкостей.

23.4. Оказание первой помощи пострадавшим

Все рабочие должны иметь при себе индивидуальный перевязочный пакет (это стерильная повязка, состоящая из ватных подушек, бинта и булавки, завернутая в непромокаемую ткань). На производственных участках организуются санитарные посты, которые обеспечиваются аптечкой.

При поражении человека электрическим током (рис. 23.1) прикасаться к нему опасно. Прежде всего нужно быстро отключить установку, которой касается пострадавший. Если рабочий находится на высоте, следует принять меры, обеспечивающие безопасность падения (например, натянуть сетку).

Освобождение пострадавшего от токоведущих элементов можно осуществить следующим образом: отключить соответствующие части электроустановки, перерубить провода топором с деревянной рукояткой или оттянуть пострадавшего от токоведущей части, взявшись за одежду, если она сухая, отбросить от него провод с помощью деревянной палки и т.п.

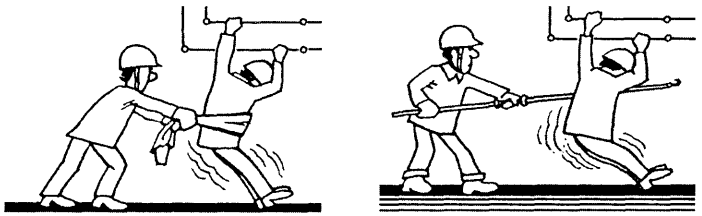


Рис. 23.1. Отделение пострадавшего от токоведущих частей

При поражении током низкого напряжения пострадавшего отделяют от токоведущих частей, используя сухую одежду, канат, деревянную доску или палку, а при поражении током высокого напряжения – изолирующие защитные средства: штангу или клещи, диэлектрические перчатки и боты.

Пострадавшему оказывают помощь: укладывают на спину на твердую поверхность, проверяют дыхание, пульс, состояние зрачков. При необходимости ему делают искусственное дыхание и массаж сердца.

Если пострадавший в сознании, но до этого был в обмороке или продолжительное время находился под током, ему необходимо обеспечить полный покой до прибытия врача или срочно доставить его в лечебное учреждение.

Если человек без сознания, его нужно уложить на мягкую подстилку, расстегнуть одежду, обеспечить приток свежего воздуха, дать понюхать нашатырный спирт, растереть и согреть тело.

Тестовые задания

1. Производственный фактор, воздействие которого на сварщика может привести к травме:

1) случайный; 3) опасный;
2) вредный; 4) закономерный.

2. Производственный фактор, воздействие которого на сварщика может привести к заболеванию:

1) случайный; 3) опасный;
2) вредный; 4) закономерный.

3. Наиболее вредные сварочные аэрозоли образуются при сварке высоколегированными электродами, содержащими соединения:

1) кремния; 3) меди;
2) хрома и никеля; 4) ванадия и ниобия.

4. Нарушение безопасной технологии вызывает у сварщика приступы лихорадки (озноб, повышение температуры, тошнота, рвота) при сварке и резке сплавов:

1) алюминиевых; 3) титановых;
2) медно-цинковых; 4) магниевых.

5. При нарушении безопасной технологии через 2,5–3,5 мес. у сварщика появляются лилово-серая кайма вокруг десен и сильные головные боли после сварки и резки металла, который называется:

1) алюминий; 3) свинец;
2) медь; 4) титан.

6. Ручная дуговая сварка сопровождается излучением в ультрафиолетовом, видимом и инфракрасном диапазонах, превышающим физиологически переносимую глазом человека величину:

1) однократно; 3) трехкратно;
2) двукратно; 4) многократно.

7. При работе в сварочных цехах опасным для жизни человека считается электрическое напряжение переменного тока, превышающее:

1) 12 В; 2) 36 В; 3) 42 В; 4) 110 В.

8. При работе в сварочных цехах опасным для жизни человека считается электрическое напряжение постоянного тока, превышающее:

1) 12 В; 2) 36 В; 3) 42 В; 4) 110 В.

9. При работе в сырых помещениях, замкнутых металлических объемах и т.п. опасным для жизни человека считается электрическое напряжение, превышающее:

1) 12 В; 2) 36 В; 3) 42 В; 4) 110 В.

10. Плотность светофильтра маски сварщика определяют:

1) род тока; 3) напряжение на дуге;
2) сила сварочного тока; 4) возраст сварщика.

КЛЮЧИ К ТЕСТОВЫМ ЗАДАНИЯМ

Глава 1

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	1	1	3	3	2	4	3	4	1	2

Глава 2

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	4	1	2	2	2	2	3	4	3	3

Глава 3

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	3	3	2	4	1	3	1	1	3	4

Глава 4

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	2	2	3	2	1	3	3	2	1	4

Глава 5

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	4	3	4	1	1	4	3	2	2	1

Глава 6

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	3	1	4	3	3	2	2	4	1	1

Глава 7

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	1	1	2	3	1	1	2	2	1	4

Глава 8

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	2	3	1	1	3	1	4	1	4	2

Глава 9

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	2	1	1	2	4	2	3	4	4	3

Глава 10

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	2	1	2	2	4	1	3	2	3	1

Глава 11

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	3	2	2	2	1	4	3	4	4	2

Глава 12

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	4	3	3	1	1	4	1	3	3	2

Глава 13

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	2	1	2	3	1	2	3	4	4	1

Глава 14

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	3	3	2	2	3	2	4	1	2	4

Глава 15

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1

Глава 16

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	2	3	2	4	2	3	2	1	3	1

Глава 17

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	1	4	3	4	1	2	1	1	4	3

Глава 18

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	1	4	1	3	2	2	2	3	2	3

Глава 19

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	1	1	3	3	1	4	1	2	2	2

Глава 20

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	1	2	1	1	3	4	3	2	3	2

Глава 21

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	1	2	3	1	2	4	1	2	4	2

Глава 22

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	3	2	4	1	2	2	1	4	4	3

Глава 23

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	3	2	2	2	3	4	3	4	1	2

ЛИТЕРАТУРА

Жизняков, С.Н. Ручная дуговая сварка покрытыми электродами строительных конструкций / С.Н. Жизняков, З.А. Сидлин. М., 2001.

Калганов, Л.А. Сварочное производство / Л.А. Калганов. Ростов н/Д, 2002.

Калганов, Л.А. Сварочные работы. Сварка, резка, пайка, наплавка / Л.А. Калганов. М, 2003.

Куликов, В.П. Контроль сварочных работ: спец. технология / В.П. Куликов, В.Г. Лупачев. Мн., 2001.

Куликов, О.Н. Охрана труда при производстве сварочных работ / О.Н. Куликов, Е.И. Ролин. М., 2001.

Левадный, И.С. Сварочные работы / И.С. Левадный, А.П. Бурлака. М, 2004.

Лосев, В.А. Иллюстрированное пособие сварщика / В.А. Лосев, Н.А. Юхин. М., 2002.

Лупачев, В.Г. Ручная дуговая сварка / В.Г. Лупачев. Мн., 2000.

Лупачев, В.Г. Производственное обучение сварщиков / В.Г. Лупачев. Мн., 2001.

Маслов, В.И. Сварочные работы / В.И. Маслов. М., 2000.

Николаев, А.А. Электрогазосварщик / А.А. Николаев, А.И. Герасименко. Ростов н/Д, 2003.

Покровский, В.С. Основы технологии сварочных работ / В.С. Покровский. М., 2004.

Сварка и резка материалов / М.Д. Банов [и др.]. М., 2002.

Хромченко, Ф.А. Справочное пособие электросварщика / Ф.А. Хромченко. М., 2003.

Чернышов, Г.Г. Сварочное дело: сварка и резка металлов / Г.Г. Чернышов. М., 2002.

Чернышов, Г.Г. Справочник электрогазосварщика и газорезчика / Г.Г. Чернышов, Г.В. Полевой, А.П. Выборнов. М., 2004.

Юхин, Н.А. Выбор сварочного электрода / Н.А. Юхин. М., 2001.

Юхин, Н.А. Ручная сварка при сооружении и ремонте трубопроводов пара и горячей воды / Н.А. Юхин. М., 2003.

ОГЛАВЛЕНИЕ

От автора 3
Введение 5

Глава 1. Общие сведения о сварке 11

1.1. Сущность процесса сварки 11
1.2. Классификация видов сварки 12
1.3. Виды дуговой сварки плавлением 13
Тестовые задания 15

Глава 2. Сварочные посты для ручной дуговой сварки 17

2.1. Стационарные и передвижные сварочные посты 17
2.2. Оборудование сварочного поста 20
2.3. Инструмент и принадлежности сварщика 21
Тестовые задания 31

Глава 3. Сварные соединения и швы 33

3.1. Типы сварных соединений 33
3.2. Классификация сварных швов 39
3.3. Геометрические параметры сварного шва 44
3.4. Конструктивные элементы разделки кромок 46
3.5. Обозначения сварных швов 49
3.6. Расчет сварных соединений 54
Тестовые задания 57

Глава 4. Электроды для сварки сталей и чугуна 59

4.1. Назначение покрытых электродов 59
4.2. Сварочные проволоки 60
4.3. Покрытия электродов 62
4.4. Типы электродов 73
Тестовые задания 76

Глава 5. Сварочная дуга 78

5.1. Возникновение и строение сварочной дуги 78
5.2. Классификация сварочной дуги 85
5.3. Магнитное дутье 87
5.4. Вольт-амперная характеристика сварочной дуги 89
5.5. Перенос электродного металла 90
Тестовые задания 93

Глава 6. Металлургические процессы при сварке 95

6.1. Особенности сварочных металлургических процессов 95
6.2. Взаимодействие расплавленного металла с газами 97

6.3. Взаимодействие металла со шлаками и газами 102
6.4. Образование пор 105
6.5. Кристаллизация металла шва 106
6.6. Строение сварного соединения 113
6.7. Образование трещин при сварке 118
Тестовые задания 121

Глава 7. Напряжения и деформации при сварке 123

7.1. Причины возникновения напряжений и деформаций 123
7.2. Предотвращение напряжений и деформаций 128
7.3. Устранение напряжений и деформаций 130
7.4. Термическая обработка сварных соединений 132
Тестовые задания 133

Глава 8. Технология и техника сварки покрытыми электродами 135

8.1. Подготовка металла под сварку 135
8.2. Режим сварки 138
8.3. Технологические особенности дуговой сварки 141
8.4. Техника сварки 146
8.5. Выполнение швов в различных положениях 154
Тестовые задания 163

Глава 9. Сварка углеродистых сталей 165

9.1. Классификация сталей 165
9.2. Углеродистые стали 166
9.3. Сварка низкоуглеродистых сталей 169
9.4. Сварка среднеуглеродистых и высокоуглеродистых сталей 172
Тестовые задания 173

Глава 10. Сварка легированных сталей 175

10.1. Классификация легированных сталей 175
10.2. Сварка низколегированных сталей 178
10.3. Сварка среднелегированных сталей 180
10.4. Сварка высоколегированных сталей и сплавов 185
Тестовые задания 189

Глава 11. Сварка чугуна 191

11.1. Классификация чугунов 191
11.2. Свариваемость чугуна 192
11.3. Способы сварки чугуна 193
11.4. Горячая сварка чугуна 195
11.5. Холодная сварка чугуна 197
Тестовые задания 202

Глава 12. Сварка цветных металлов и их сплавов 204

12.1. Цветные металлы и сплавы 204
12.2. Особенности сварки цветных металлов 206

12.3. Сварка алюминия и его сплавов 207
12.4. Сварка меди и ее сплавов 212
12.5. Сварка никеля и его сплавов 216
Тестовые задания 219

Глава 13. Источники питания сварочной дуги 221

13.1. Требования к источникам питания 221
13.2. Сварочные трансформаторы 226
13.3. Сварочные выпрямители 235
13.4. Сварочные генераторы и преобразователи 242
13.5. Инверторные источники питания 246
13.6. Многопостовые источники питания 252
Тестовые задания 254

Глава 14. Высокопроизводительные способы сварки 256

14.1. Методы, повышающие производительность труда 256
14.2. Способы сварки, повышающие производительность труда 258
Тестовые задания 266

Глава 15. Ручная дуговая наплавка 268

15.1. Назначение и способы наплавки 268
15.2. Особенности техники наплавки 270
15.3. Выбор химического состава наплавляемого металла 274
Тестовые задания 277

Глава 16. Области использования сварочной дуги 279

16.1. Сварка в инертных газах 279
16.2. Сварка плазменной дугой 290
16.3. Сварка угольным электродом 293
16.4. Сварка под водой 294
Тестовые задания 295

Глава 17. Ручная дуговая резка 297

17.1. Дуговая резка покрытыми электродами 297
17.2. Воздушно-дуговая и кислородно-дуговая резка 302
17.3. Резка плазменной струей 306
17.4. Дуговая подводная резка 307
Тестовые задания 308

Глава 18. Материалы для сварных конструкций 311

18.1. Металлы и их основные свойства 311
18.2. Свариваемость материалов 316
Тестовые задания 323

Глава 19. Сварка металлических конструкций 325

19.1. Требования к сварным конструкциям 325
19.2. Классификация сварных конструкций 327
19.3. Технологичность сварных конструкций 328
19.4. Технологическая документация 329
19.5. Сборка и прихватка деталей 330
19.6. Особенности сварки некоторых конструкций 336
Тестовые задания 344

Глава 20. Дефекты сварных соединений 346

20.1. Классификация дефектов 346
20.2. Влияние дефектов на прочность сварных соединений ... 351
20.3. Исправление дефектов 354
Тестовые задания 356

Глава 21. Контроль качества сварных соединений 358

21.1. Требования к качеству продукции 358
21.2. Контроль качества основных и сварочных материалов 360
21.3. Контроль заготовок и сборки изделия 361
21.4. Контроль технологического процесса сварки 361
21.5. Визуальный контроль 362
21.6. Контроль швов на непроницаемость 363
21.7. Неразрушающий контроль 365
21.8. Механические испытания 369
21.9. Металлографические исследования 371
21.10. Коррозионные испытания 372
Тестовые задания 374

Глава 22. Механизация и автоматизация производства сварных конструкций 376

22.1. Сварочные и вспомогательные технологические операции 376
22.2. Сварочные приспособления 377
22.3. Универсально-сборные приспособления для сварки 386
22.4. Механизированные приспособления для сборки и сварки 388
Тестовые задания 392

Глава 23. Техника безопасности 394

23.1. Охрана труда при сварочных работах 394
23.2. Электробезопасность 402
23.3. Пожарная безопасность 406
23.4. Оказание первой помощи пострадавшим 407
Тестовые задания 408

Ключи к тестовым заданиям 410
Литература 412

Рассматриваются

- сварные соединения и швы
- технология и техника сварки
- особенности сварки сталей, чугуна, цветных металлов
- сварка металлических конструкций
- дуговая наплавка и резка
- дефекты и контроль качества швов
- техника безопасности

Предназначена

- учащимся профессионально-технических учебных заведений
- рабочим при профессиональном обучении на производстве
- сварщикам при подготовке к аттестации и сертификации

«ВЫШЭЙШАЯ ШКОЛА»

ISBN 985-06-1189-8

9 799850 611894